

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Alexander Opazo Vega.



**EVALUACIÓN IN SITU DE PROPIEDADES
DINÁMICAS EN SISTEMAS DE PISOS
PREFABRICADOS.**

Proyecto de título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el Título de
Ingeniero Civil

CATHERINA NICOLE LEIVA ROBLES

Concepción, Junio 2013

NOMENCLATURA

AISC	American Institute of Steel Construction. EE.UU.
CCIP	The Concrete Centre.
EPS	Poliestireno Expandido.
EUR	Comisión Europea.
f_n	Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental del modo de Vibrar.
f_1	Menor frecuencia de $T_{\max}/\sqrt{2}$.
f_2	Mayor frecuencia de $T_{\max}/\sqrt{2}$.
FFT	Transformada Rápida de Fourier.
FRF	Función de Respuesta en Frecuencia.
Hz	Hertz.
ISO	Organization for Standardization.
SCI	The Steel Construction Institute.
T_{\max}	Amplitud máxima.
ξ	Razón de Amortiguamiento.
ω :	Frecuencia circular, $\omega = 2 * \Pi * f_n$

ÍNDICE GENERAL

NOMENCLATURA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	v
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 Justificación.....	4
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Alcances de la Investigación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 Test de Heel Drop.....	6
2.2 Razón de Amortiguamiento.....	6
2.3 Frecuencia vertical fundamental.....	7
2.4 Métodos de Determinación de Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental.....	7
2.4.1 Método del peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT).....	7
2.4.2 Método del peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia.....	8
2.5 Determinación de los Valores de Razón de Amortiguamiento.....	8
2.5.1 Método de Decaimiento de Curva.....	8
2.5.2 Método de Ancho de Banda.....	9
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	11
3.1 Componentes de la Losa Prefabricada.....	11
3.2 Determinación de la Vibración Vertical de las Losas.....	12
3.2.1 Modelos de Casas.....	12
3.2.2 Criterios para la Medición de Vibraciones.....	12
3.2.3 Procesamiento de los Datos Registrados.....	14

3.3 Criterios para la Determinación de las Propiedades Dinámicas.....	15
3.3.1 Método del peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT).....	15
3.3.2 Método del peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia.....	15
3.3.3 Método de Decaimiento de Curva.....	15
3.3.4 Método de Ancho de Banda.....	16
3.4 Criterios de Evaluación de Propiedades Dinámicas.....	16
3.5 Análisis Estadístico de Resultados.....	19
CAPÍTULO 4: RESULTADOS	20
4.1 Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental.....	20
4.2 Razón de Amortiguamiento del Sistema.....	21
4.3 Análisis de Resultados.....	21
4.3.1 Análisis de Resultados Frecuencia Vertical Fundamental.....	22
4.3.2 Análisis de Resultados Razón de Amortiguamiento.....	23
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	26
5.1 Conclusiones.....	26
5.2 Recomendaciones.....	27
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
ANEXOS.....	30
ANEXO A: Código Matlab.....	46
ANEXO B: Gráficas de los Acelerogramas.....	51
ANEXO C: Análisis Estadístico.....	68
ANEXO D: Métodos de determinación de f_n	75
ANEXO E: Métodos de determinación de ξ	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Test de Heel Drop.....	6
Figura 2. Gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	7
Figura 3. Gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia.....	8
Figura 4. Parte superior del acelerograma con ajuste y calidad de regresión de un 98%.....	9
Figura 5. Función de transferencia para la determinación de amortiguamiento.....	10
Figura 6. Detalle del panel de poliestireno expandido.....	11
Figura 7. Unión del sistema EPS.....	12
Figura 8. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo A.....	13
Figura 9. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo B.....	14
Figura 10. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo C.....	14
Figura 11. Acelerograma.....	15
Figura 12. Gráfica de Caja y Bigote para valores de frecuencia vertical fundamental.....	22
Figura 13. Gráfica de Caja y Bigote para valores de razón de amortiguamiento.....	24

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de amortiguamiento para el modo fundamental de pisos en edificaciones.....	17
Tabla 2. Valores de Amortiguamiento para diferentes Estructuras.....	18
Tabla 3. Frecuencia Fundamental Mediante ambos Métodos.....	20
Tabla 4. Razón de Amortiguamiento Mediante ambos Métodos.....	21

EVALUACIÓN IN SITU DE PROPIEDADES DINÁMICAS EN SISTEMAS DE PISOS PREFABRICADOS.

Autor: Catherina Nicole Leiva Robles

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: catleiva@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ing. Alexander Opazo Vega.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: aopazov@ubiobio.cl

RESUMEN

Los sistemas de losas prefabricados son cada vez más utilizados en la construcción de viviendas unifamiliares, por lo que es de vital importancia determinar las propiedades dinámicas asociadas a estos sistemas, que nos permitan conocer si se encuentran dentro de los rangos de valores aceptables de diseño y que métodos son más efectivos para su obtención.

En el presente estudio se busca evaluar las propiedades dinámicas de frecuencia vertical fundamental y de la razón de amortiguamiento, en tres modelos de viviendas de diferentes dimensiones con sistemas prefabricados de losas compuestas de hormigón, acero y poliestireno expandido, a través, de dos métodos de determinación para cada caso, para su posterior comparación. A demás, de realizar un análisis estadístico para determinar el método más eficaz y confiable en sus resultados.

Finalmente se obtienen resultados de frecuencia vertical fundamental superiores a los 10 Hz correspondientes a losas de alta frecuencia, en el caso de la razón de amortiguamiento se obtiene una mayor dispersión de datos en un modelo particular de viviendas, sin embargo, se tiene que no existen diferencias estadísticamente significativas entre utilizar uno u otro método de determinación de propiedades dinámicas.

Palabras Claves: Losas prefabricadas, Frecuencia fundamental, Razón de amortiguamiento

Número de Palabras: 4.578 Palabras Texto + 17 Figuras/Tablas * 250 = 8.828.-

IN SITU EVALUATION OF DYNAMIC PROPERTIES OF ENGINEERED FLOORING SYSTEMS.

Author: Catherina Nicole Leiva Robles

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: catleiva@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Ing. Alexander Opazo Vega.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of the Bío-Bío

Email: aopazov@ubiobio.cl

ABSTRACT

Precast slab systems are increasingly used in building houses, so it is vital to determine the dynamic properties associated with these systems, which allow us to know if they are within the range of acceptable values of design and which methods are most effective for obtaining.

In the present study is to evaluate the dynamic properties of key vertical frequency and damping reason, in three models of homes of different sizes with compound systems prefabricated concrete slabs, steel and expanded polystyrene, through, two methods of determination in each case, for subsequent comparison. To others, to conduct a statistical analysis to determine the most effective method and conservative in its results.

Finally obtained results of critical vertical frequency above 10 Hz slabs corresponding to high frequency in the case of the damping ratio results in greater dispersion of data on a particular model of housing, however, is that no statistically significant difference between using one or the other method of determining dynamic properties.

Keywords: prefabricated slab, Fundamental frequency, Damping ratio.

1 INTRODUCCIÓN.

En los últimos años se ha masificado la utilización de sistemas prefabricados en el diseño estructural, debido a que éstos ayudan a disminuir el tiempo de construcción, aumentando la productividad de la obra. Sin embargo, actualmente no existen normativas que aseguren que estos sistemas constructivos cumplan con los requerimientos fundamentales de diseño, lo que tiene directa relación con las propiedades dinámicas de la estructura según sea su materialidad.

Todas las estructuras reales cuando se hacen vibrar por alguna acción externa no entran en vibración continua, sino que vibran con una amplitud que decae progresivamente a cero una vez que la acción ha terminado. Este decaimiento es un resultado de la disipación de energía y se produce a una velocidad que depende de la amortiguación de la estructura (CCIP, 2006).

De las propiedades dinámicas comúnmente utilizadas, destacan la razón de amortiguamiento fundamental (ξ) y la frecuencia de vibración vertical fundamental (f_n). Ambas definen el comportamiento dinámico del sistema estructural frente a excitaciones producidas por cargas solicitantes externas.

Hoy en día, existen diferentes métodos para estimar el valor de estas propiedades, utilizando los registros de vibraciones in situ, mediante el empleo de un equipo de medición de aceleraciones y una carga externa conocida.

El presente trabajo, consiste en la evaluación de la razón de amortiguamiento fundamental y la frecuencia de vibración vertical fundamental, para tres diseños de losas prefabricadas, mediante el empleo de dos métodos de estimación para cada una de las propiedades dinámicas de manera independiente.

1.1 Justificación.

El mercado de la construcción presenta una inversión proyectada para el año 2013 de 687 millones de unidades de fomento, con un crecimiento de 6,7% mayor al registrado el año anterior según estudios realizados por la cámara chilena de la construcción (2012).

En relación a este crecimiento, los sistemas de estructuras prefabricadas han resultado ser una solución constructiva rentable en el mercado inmobiliario privado, por lo que su utilización es cada vez más común.

A través de esto, se hace relevante determinar el valor de las propiedades dinámicas, las cuales influyen directamente en el diseño de los elementos prefabricados y su comportamiento dinámico una vez construida la estructura.

1.2 Antecedentes.

La medición de las vibraciones se realizó en tres diseños distintos de losas prefabricadas, correspondientes a tres tipos de viviendas unifamiliares construidas en la ciudad de Concepción, Región del Bío-Bío. La materialidad de las losas prefabricadas consiste en hormigón, acero y paneles de poliestireno expandido.

1.3 Alcances de la Investigación.

Esta investigación contempla la medición de las vibraciones verticales de tres diseños de losas, correspondientes a tres modelos de casas diferentes, empleando un acelerómetro como equipo.

Las vibraciones registradas serán utilizadas para determinar los valores de la frecuencia de vibración vertical fundamental y la razón de amortiguamiento fundamental, mediante dos métodos diferentes para cada una de las propiedades dinámicas de manera independiente, como criterio de comparación de los resultados.

Cabe destacar que los valores obtenidos de las propiedades dinámicas en este trabajo, sólo pueden ser utilizados para los sistemas prefabricados correspondientes a esta investigación, es decir conformados en base a hormigón, acero y paneles de poliestireno expandido.

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar las Propiedades Dinámicas en Sistemas de Losas Prefabricadas en Viviendas Unifamiliares Innovativas.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Implementar un método de medición de vibraciones in situ, para el sistema de losas prefabricadas.
- ✓ Determinar la frecuencia de vibración vertical fundamental, aplicando dos métodos diferentes.
- ✓ Determinar el valor de la razón de amortiguamiento, aplicando dos métodos diferentes.
- ✓ Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos por los métodos aplicados, para cada una de las propiedades dinámicas.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En el presente capítulo, se entrega información relevante sobre el ensayo realizado para la medición de las vibraciones verticales de las losas, en los tres modelos de viviendas. Además, contiene la descripción de los métodos utilizados para la obtención de las propiedades dinámicas.

2.1 Test de Heel Drop.

Este ensayo consiste en una forma de pulso que se provoca en el suelo donde un adulto levanta los talones y luego los deja caer, generando una carga vertical que hará vibrar el sistema en la frecuencia natural de la estructura, que tiene una tasa de decaimiento asociado con la amortiguación de ésta (V. Racic et al., 2009).

El rango de frecuencia ideal en el test de Heel Drop es de 0-300 Hz. Cada test aplicado posee un período de duración aproximado de entre 4 a 8 segundos, dependiendo de la atenuación de la vibración (EUR, 2006; Sepúlveda, 2012; Briceño, 2012).



Figura 1. Test de Heel Drop.

2.2 Razón de Amortiguamiento

La razón de amortiguamiento se considera a la pérdida de energía en el sistema de piso durante el movimiento. Además, la amortiguación tiene una importante influencia en el comportamiento de vibración de este.

Las propiedades de amortiguación no dependen sólo de la estructura, sino también en los acabados y el uso de las instalaciones. Así, los paneles de separación, entre techos, pisos flotantes libres, etc., afectan a las propiedades de amortiguación de manera significativa.

(EUR, 2008; ArcelorMittal, 2008, C.J. Middleton, 2008)

2.3 Frecuencia vertical fundamental

La frecuencia fundamental es la frecuencia de oscilación libre sin estar excitado continuamente por un agente excitador.

Cada estructura tiene tantas frecuencias fundamentales y modos asociados de vibración como grados de libertad. Estos modos se clasifican por la cantidad de energía que se active en la oscilación. Por lo tanto, la primera frecuencia fundamental es la que requiere un nivel inferior de energía y por tanto es la que se activa con mayor probabilidad. (ArcelorMittal, 2008)

2.4 Métodos de Determinación de Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental

Para la determinación de valores se utilizaron dos métodos con la finalidad de generar una base de datos comparativa. Para esto fue necesario realizar el traspaso de la respuesta del impulso al dominio de la frecuencia de dos maneras diferentes. Ambos métodos se presentan a continuación.

2.4.1 Método del peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT)

Este método consiste en traspasar los datos registrados en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada rápida de Fourier (FFT), en donde el sistema computacional entrega una gráfica (figura 2) a través de la cual se obtiene el peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier correspondiente a la frecuencia de vibración vertical fundamental. (Montiel, 2007)

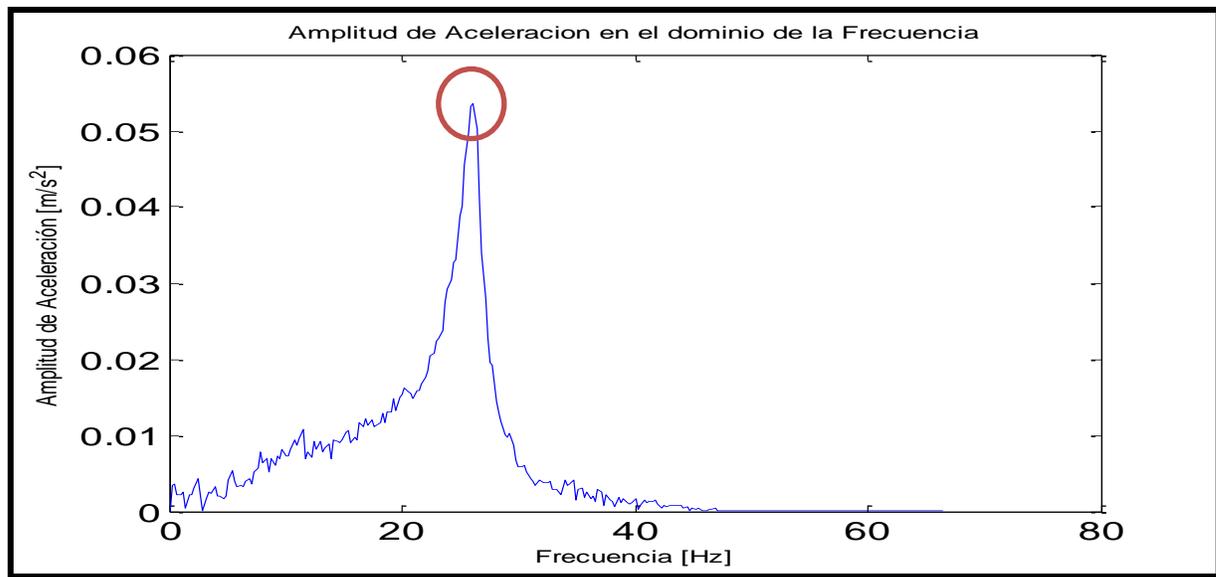


Figura 2. Gráfica de la transformada rápida de Fourier

2.4.2 Método del peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

En este método se utiliza la transformada de Fourier para traspasar la respuesta del impulso al dominio de la frecuencia, obteniendo la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia (FRF). Luego se ubica el peak máximo superior e inferior, como se muestra en la figura 3 y se procede a promediar los valores obtenidos del peak superior e inferior, para así determinar el valor final de frecuencia de vibración vertical fundamental, (Anders Brandt, 2011).

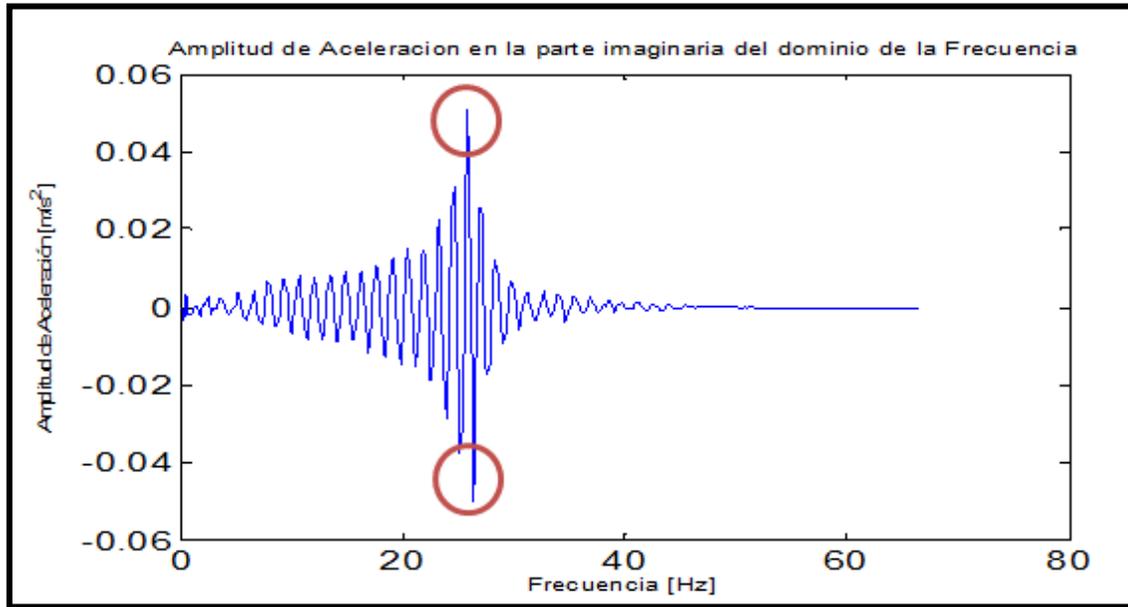


Figura 3. Gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

2.5 Determinación de los Valores de Razón de Amortiguamiento

Para la determinación de los valores asociados a los sistemas de piso, se presentan dos métodos con la finalidad de generar una base de datos comparativa.

2.5.1 Método de Decaimiento de Curva

Para la determinación del valor de ξ mediante este método, se utiliza la gráfica del acelerograma, en donde se consideran los valores de aceleración peak de cada cresta.

El decaimiento de curva queda caracterizado por la siguiente fórmula de tipo exponencial ($f(x) = a e^{bx}$), expresado por la siguiente ecuación:

$$A_i(t) = K * e^{\xi\omega t} \quad \text{Ec.1}$$

Dado que el sistema vibra con una sola frecuencia ω , el valor de razón de amortiguamiento se calcula usando los coeficientes $b = \xi * \omega$, de la ecuación del gráfico.

Además a los datos obtenidos en el gráfico se le realiza un ajuste del tipo de regresión exponencial y la precisión del ajuste de regresión el cual indica la calidad de esta se encuentra representado como R^2 , mediante el uso del programa Excel, como muestra la figura 4, (EUR, 2006).

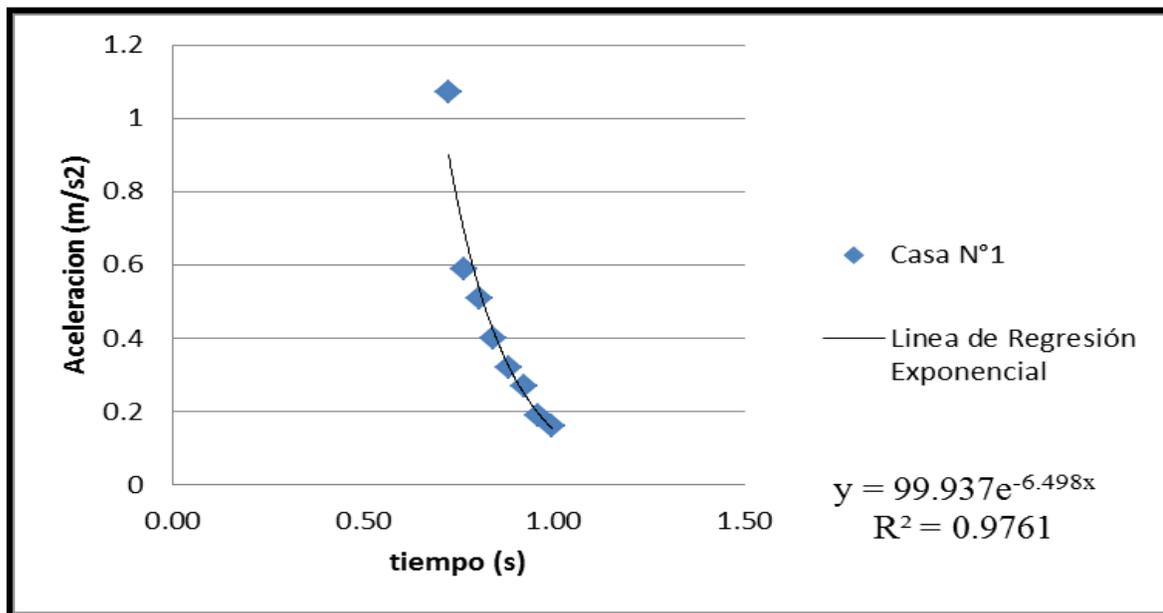


Figura 4. Parte superior del acelerograma con ajuste y calidad de regresión de un 98%

2.5.2 Método de Ancho de Banda

Para la determinación de razón amortiguamiento mediante este método se debe obtener la frecuencia fundamental (f_n), y las frecuencias de $T_{\max}/\sqrt{2}$, es posible calcular el valor de amortiguamiento con la siguiente ecuación, (EUR, 2006).

$$\xi = \frac{f_2 - f_1}{f_2 + f_1} \quad \text{Ec.2}$$

Gráficamente queda expresado en la Figura 5:

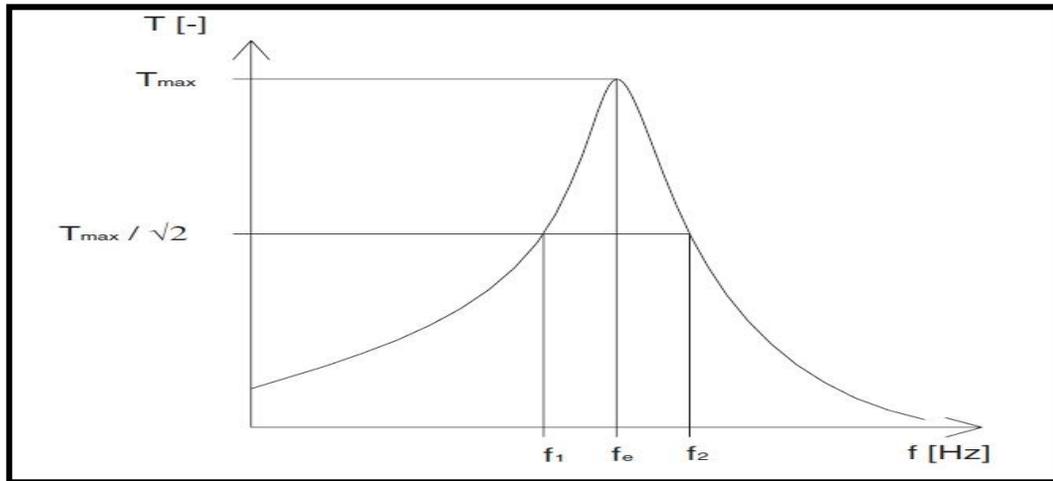


Figura 5. Función de transferencia para la determinación de amortiguamiento
(Fuente: EUR, 2006).

3 METODOLOGÍA

En este capítulo, se detallan las consideraciones utilizadas para la medición de las vibraciones verticales de las losas en los tres modelos de viviendas. Además, de los criterios empleados en el desarrollo de los métodos de obtención de las propiedades dinámicas y el método comparativo de los resultados entre los modelos aplicados.

3.1 Componentes de la Losa Prefabricada.

El sistema de losa consta de paneles de entrepiso aislante a base a espuma de poliestireno expandido (EPS) y vigas conformadas in situ.

Los paneles de entrepiso aislante cuentan con dos canales “C” de acero galvanizado en su interior, con el fin de servir como soporte del sistema para recibir el peso del hormigón al ser puestos en terreno. Además, éstos tienen orificios para el paso de instalaciones hidráulicas y eléctricas.

Los paneles EPS tienen 15 cm de peralte y 60 cm de ancho en su parte baja, los canales “C” se encuentran distanciados a 30 cm y con una altura de 13 cm. (Nova Chemicals, 2012; Syntheon, 2012), tal como se muestra en la figura 6.

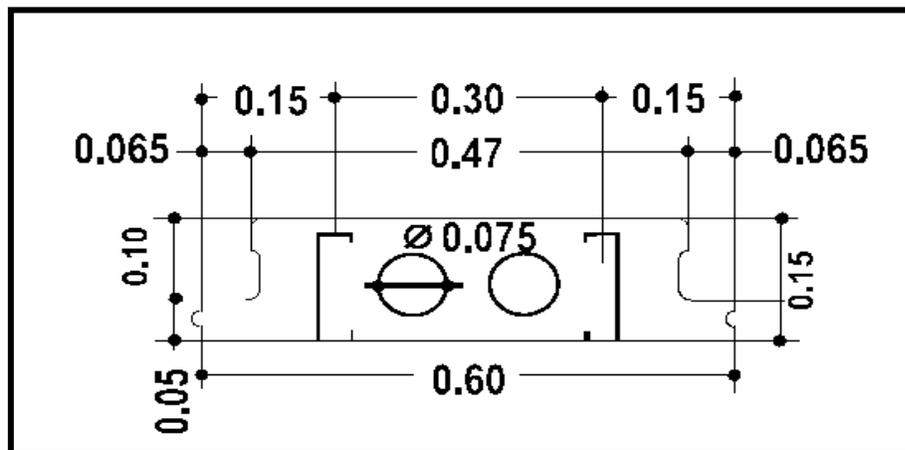


Figura 6. Detalle del panel de poliestireno expandido (Fuente: Nova Chemicals, 2012).

Luego de instalar los paneles EPS, se coloca entre ellos refuerzos de acero para posteriormente realizar el hormigonado (hormigón H-20), condicionando que este sistema trabaje en forma monolítica (Figura 7).

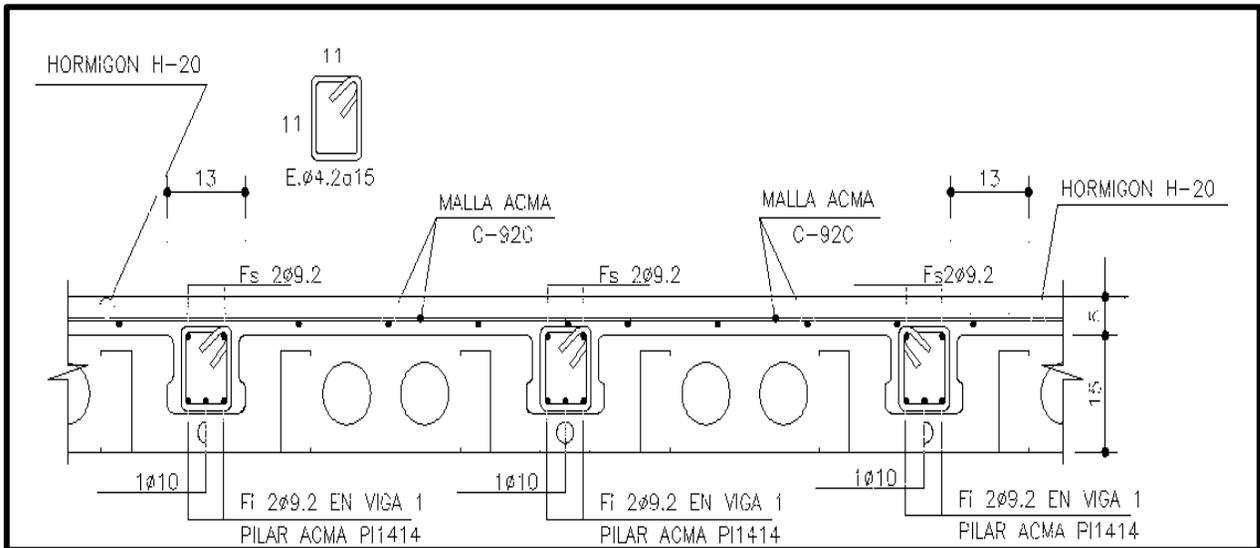


Figura 7. Unión del sistema EPS.

3.2 Determinación de la Vibración Vertical de las Losas.

Para determinar la vibración vertical en los tres tipos de losas contempladas en este estudio, fue importante identificar los modelos de casas correspondientes, y con esto, definir la ubicación fija del acelerómetro para efectuar las mediciones.

3.2.1 Modelos de Casas.

Los modelos considerados para la medición de vibraciones, corresponden a tres diseños de casas con diferentes dimensiones de losas prefabricadas. A modo de clasificar cada uno de ellos, se definen de manera simplificada como Modelo A, Modelo B y Modelo C.

Las muestras de casas representativas para las mediciones son 15 para el modelo A, 20 para el modelo B y 12 para el modelo C. El número de casas para cada modelo, fue definido de acuerdo a la disponibilidad de éstas en terreno.

3.2.2 Criterios para la Medición de Vibraciones.

Para la medición de las vibraciones se utilizó una idealización del sistema de piso, que consiste en considerar sólo las cargas verticales inducidas en éste (Briceño, 2012). De lo cual, se presentan las siguientes consideraciones:

- **Carga Vertical Solicitante:** La excitación o carga externa utilizada es de tipo impulsiva, la cual fue aplicada a través del Test de Heel Drop. En este caso particular, la carga vertical se midió a través de un sensor de aceleración con una frecuencia de muestreo de 1000 Hz ubicado en el centro de la losa.

Considerando que las frecuencias de vibración vertical de los pisos poseen un rango de variación de entre los 20 a los 30 Hz aproximadamente, un sensor que posea una tasa de muestreo de 100 Hz es suficiente para la toma de los datos in situ, donde se pudo utilizar un acelerómetro portátil y con esto realizar las mediciones en las 47 casas de manera mucho más rápida e igual de efectiva.

- **Ubicación del Acelerómetro en las Losas:** El acelerómetro fue posicionado al centro de la losa en donde se encuentra el vano de luz mayor de la estructura, asumiendo esta ubicación como el punto más desfavorable para ésta, donde ocurrirá el mayor desplazamiento vertical. La ubicación del acelerómetro en cada modelo de casa, es indicada en las figuras 8, 9 y 10.

Modelo A: Como se puede apreciar en la figura 4, el acelerómetro es ubicado al centro de la losa de mayor vano, siendo esta la más desfavorable según el diseño de esta estructura.

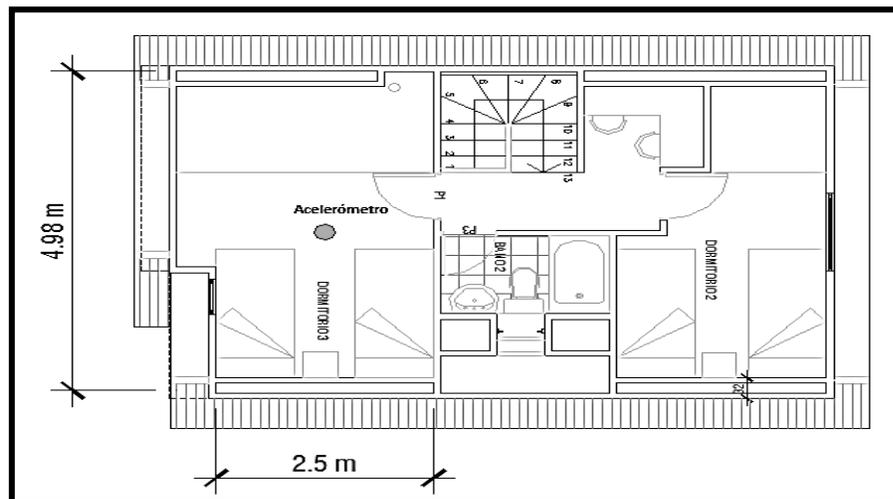


Figura 8. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo A.

Modelo B: al igual que en la situación anterior (figura 8), el acelerómetro se encuentra ubicado en la posición más desfavorable para la losa señalada en la figura 9.

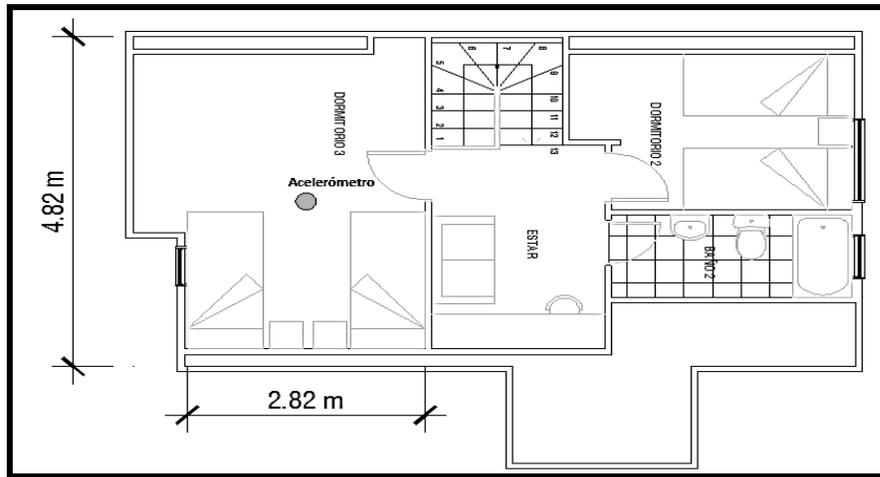


Figura 9. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo B.

Modelo C: al igual que en los modelos anteriores, en la figura 10 se presenta la posición del acelerómetro en donde se produce la mayor vibración de la losa, manteniendo este criterio para todas las mediciones efectuadas en la investigación.

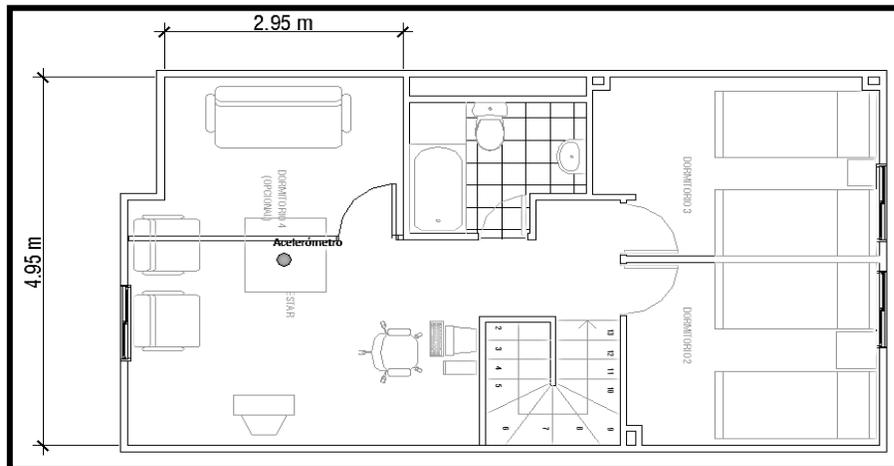


Figura 10. Posicionamiento del acelerómetro en casa modelo C.

3.2.3 Procesamiento de los Datos Registrados.

Luego de aplicar el test, las vibraciones verticales o variaciones de la amplitud de aceleración del piso generadas con respecto al tiempo, se grafican a través de un acelerograma (Figura 11), al que se le realiza un filtrado de la señal para así evitar que ruidos o cualquier otra interferencia que se presente en el registro de ésta, puedan dañar la fidelidad de los resultados. Con esta finalidad se utilizó un filtro de primer orden de Butterworth (Sepúlveda, 2012), descrito en el Anexo A.

Esto permite la realización del posterior análisis de diversos parámetros dinámicos como lo son la frecuencia vertical fundamental y la razón de amortiguamiento fundamental.

Además, se debe considerar que para la obtención de resultados mediante algunos métodos es necesario traspasar los valores generados por el acelerograma al dominio de la frecuencia.

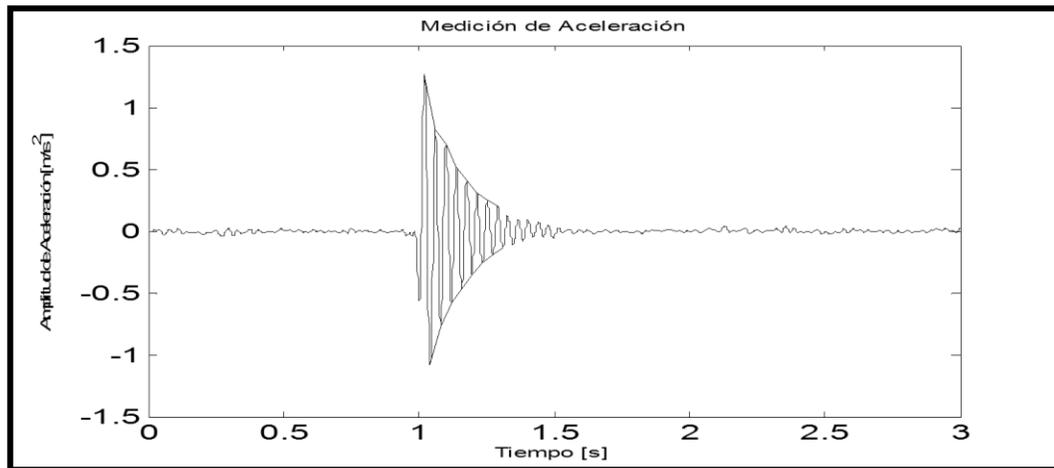


Figura 11. Acelerograma, Amplitud de Aceleración vs tiempo.

3.3 Criterios para la Determinación de las Propiedades Dinámicas

Para la obtención de valores de frecuencia fundamental y de razón de amortiguamiento se utilizaron dos métodos diferentes, respectivamente, en donde fue necesaria la consideración de diversos criterios, los que se exponen a continuación.

3.3.1 Método del peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT)

Este método se aplica como se describe en el punto 2.2.1, y se encuentra desarrollado en el Anexo D

3.3.2 Método del peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Este método se aplica como se describe en el punto 2.2.2, y se encuentra desarrollado en el Anexo D.

3.3.3 Método de Decaimiento de Curva

Se consideró el valor de cada f_n vinculado a su respectivo ξ , al valor de frecuencia vertical fundamental obtenido de la transformada rápida de Fourier (FFT).

Además, para los modelos de casas en estudio se decidió la utilización de ocho peaks superiores e inferiores generados por la vibración del piso con sus respectivos tiempos de realización.

Lo demás se aplica como se describe en el punto 2.3.1, y se encuentra desarrollado en el Anexo E

3.3.4 Método de Ancho de Banda

Se consideró el valor de cada f_n vinculado a su respectivo ξ , al valor de frecuencia vertical fundamental obtenido de la transformada rápida de Fourier (FFT).

Este método se aplica como se describe en el punto 2.3.2, y se encuentra desarrollado en el Anexo E.

3.1 Criterios de Evaluación de Propiedades Dinámicas

Con los resultados obtenidos de los métodos de determinación de frecuencia vertical fundamental y de la razón de amortiguamiento se describe la situación a trabajar para efectuar la posterior comparación y evaluación de las propiedades dinámicas para los diferentes tipos de losas.

Para la frecuencia vertical fundamental se considera que al ser aplicada sobre el sistema de piso una carga del tipo impulsiva, puede entrar en resonancia bajo un modelo de vibración continua al estar en presencia de losas de baja frecuencia, es decir con valores inferiores a los 9-10 Hz. (Toratti y Talja, 2006; AISC, 2003; SCI, 2009).

De lo contrario, las losas de alta frecuencia no entran en resonancia, debido a que su frecuencia fundamental es suficientemente alta en comparación a la correspondiente a la realizada por la actividad humana por lo cual el sistema de piso responderá con una vibración del tipo transitoria al existir actividad.

En cuanto a los criterios de evaluación de los valores de razón de amortiguamiento obtenidos a través de los métodos de determinación, se describen según la norma ISO (2007) y Willford and Young (2006) en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Valores de amortiguamiento para el modo fundamental de pisos en edificaciones.

Tipos de Pisos	Intervalos de vanos de relación de Amortiguamiento (m)	% de Coeficiente de Amortiguamiento Crítico		
		Rango típico	Rango extremo	Valores para el diseño preliminar de pisos desnudos
Viga de acero/ Losa de hormigón simplemente apoyada	9 a 15	0,8 a 3	0,6 a 7,4	1,3
Viga de acero/Losa de hormigón, losa continua construida a través de muros	4 a 8	1 a 5	0,8 a 8,6	1,5
Completo con vigas de acero compuestos por conectores de corte a la losa de hormigón	6 a 20	1,5 a 5	0,5 a 8	1,8
Hormigón pretensado, prefabricado	2 a 15	0,8 a 3	0,5 a 6,5	1,3
Pisos de hormigón armado, monolítico	5 a 15	1 a 3	0,6 a 5	1,5
Pisos con vigas de madera	2 a 9	1,5 a 4	1 a 5,5	2

Fuente: ISO 2007.

Para determinar los criterios de aceptación para un rango normal de amortiguamiento para viviendas residenciales, se consideró el tipo de piso con las características constructivas más parecidas a la losa prefabricada en estudio y que incluyera el largo de los vanos de la misma. Con esto, se determinó la utilización de un % de razón de amortiguamiento con un rango típico correspondiente entre 1% – 5% y un rango extremo entre 0,8% – 8,6%.

Tabla 2. Valores de Amortiguamiento para diferentes Estructuras.

Tipo de Estructura	ξ
Puentes de acero soldados con poco o nada de accesorios o instalaciones	0,3% a 0,5%
Acero atornillado, puentes de hormigón pretensados y compuestos con poco o nada de servicios, accesorios o instalaciones	0,5% a 1%
Puentes de hormigón reforzados	0,7% a 1,2%
Pisos de hormigón con acero desnudo compuesto o post tensado con poco o nada que equipar	0,8% a 1,5%
Pisos de hormigón armado	1% a 2%
Pisos de hormigón completo de acero compuesto o post tensado con poco equipamiento	1,5% a 2,5%
Pisos de hormigón completo de acero compuesto o post tensado con típico equipamiento	2% a 3%
Pisos de hormigón reforzado completado con típico equipamiento	2,2% a 3,5%
Pisos de hormigón completo de acero compuesto, pos tensado o reforzado con equipamiento extensivo y particiones de altura completa	3% a 4,5%

Fuente: Willford and Young (2006)

Para determinar el rango de valores aceptables de razón de amortiguamiento en la tabla 2, se consideró el tipo de piso que tuviera características cercanas a las de los sistemas de piso en estudio, por lo que se determinó el rango de valores entre 0,8% a 4,5% de razón de amortiguamiento.

3.2 Análisis Estadístico de Resultados

La comparación de los resultados de frecuencias y razón de amortiguamiento, obtenidos mediante la aplicación de los dos métodos para cada propiedad dinámica de manera independiente, se realizó utilizando la prueba estadística t de Student para dos muestras relacionadas.

La hipótesis nula ($H_0 = 0$) indica que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los resultados al aplicar cualquiera de los métodos, ya sea en el cálculo de la frecuencia fundamental o los métodos aplicados en el cálculo de la razón de amortiguamiento.

En cambio, la hipótesis alternativa ($H_0 \neq 0$) plantea que sí existen diferencias significativas entre los métodos aplicados, en la obtención de cada una de las propiedades dinámicas de esta investigación.

La selección de la prueba estadística a utilizar para la comparación de resultados, depende si las diferencias de los valores entre métodos tienen una tendencia a la distribución normal, lo cual será corroborado mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. El detalle de ambos métodos está contemplado en el Anexo C.

4 RESULTADOS

Los resultados presentados en este capítulo, corresponden a los valores de las propiedades dinámicas en evaluación, las cuales fueron determinadas de acuerdo a la metodología especificada en el capítulo 3, la cual fue seguida rigurosamente mediante el trabajo de campo empleado.

4.1 Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental

Luego de Analizar los datos obtenidos del test de Heel Drop, los resultados de la frecuencia vertical fundamental se presentan en la tabla 3, para cada modelo de casa y método aplicado respectivamente.

Tabla 3. Frecuencia Fundamental Mediante ambos Métodos.

Casas	Modelo A (Hz)		Modelo B (Hz)		Modelo C (Hz)	
	Peak FFT	Imag FRF	Peak FFT	Imag FRF	Peak FFT	Imag FRF
1	28,08	28,44	26,12	26,12	24,41	24,29
2	29,30	29,30	26,12	25,88	24,17	24,05
3	26,86	26,61	31,25	31,37	24,66	24,66
4	26,12	25,51	26,61	26,37	24,90	24,78
5	25,39	25,27	26,12	25,88	24,90	24,90
6	23,44	23,68	25,88	25,76	25,15	25,15
7	28,08	27,95	24,66	24,90	23,44	22,95
8	27,10	27,47	26,37	26,37	24,41	24,54
9	28,56	28,56	25,88	24,78	23,19	23,68
10	28,81	29,05	25,88	26,00	25,15	25,15
11	29,05	29,66	26,37	26,37	23,19	22,71
12	28,81	28,32	25,39	25,63	23,68	23,68
13	28,56	28,32	24,41	24,17	-	-
14	31,01	30,88	25,39	25,51	-	-
15	27,34	27,10	24,90	25,15	-	-
16	-	-	25,88	25,88	-	-
17	-	-	24,9	24,9	-	-
18	-	-	26,37	25,88	-	-
19	-	-	25,88	25,76	-	-
20	-	-	24,41	24,17	-	-
Media (Hz)	27,77	27,74	25,94	25,84	24,27	24,21
Desv. Est (Hz)	1,83	1,87	1,42	1,46	0,73	0,82

4.2 Razón de Amortiguamiento del Sistema.

La tabla 4 representa los valores de la razón de amortiguamiento obtenidos para cada modelo de casa, utilizando ambos métodos descritos en el capítulo anterior.

Tabla 4. Razón de Amortiguamiento Mediante ambos Métodos.

Casas	Modelo A		Modelo B		Modelo C	
	Dec. Curva	A. de Banda	Dec. Curva	A. de Banda	Dec. Curva	A. de Banda
1	5,03%	5,42%	3,77%	3,61%	3,30%	3,41%
2	4,11%	4,81%	4,18%	4,91%	3,94%	4,07%
3	4,38%	4,46%	4,00%	4,22%	3,22%	3,37%
4	5,33%	5,47%	3,20%	3,92%	3,37%	3,62%
5	5,88%	5,39%	3,16%	3,09%	3,77%	3,71%
6	8,76%	10,37%	3,53%	3,63%	3,45%	3,10%
7	4,17%	5,04%	3,46%	4,28%	4,19%	4,47%
8	4,27%	4,95%	2,86%	2,82%	5,95%	4,28%
9	4,29%	4,56%	3,00%	2,75%	4,10%	3,95%
10	4,42%	3,37%	2,93%	2,90%	3,93%	4,55%
11	7,28%	9,22%	3,41%	3,62%	4,19%	4,28%
12	5,74%	5,42%	2,96%	3,13%	3,92%	4,22%
13	5,41%	5,45%	2,60%	2,98%	-	-
14	4,94%	5,34%	2,99%	3,11%	-	-
15	7,08%	5,40%	3,28%	3,23%	-	-
16	-	-	2,87%	2,95%	-	-
17	-	-	3,32%	3,58%	-	-
18	-	-	2,97%	3,57%	-	-
19	-	-	3,15%	3,22%	-	-
20	-	-	4,27%	3,45%	-	-
Media	5,41%	5,78%	3,30%	3,45%	3,94%	3,92%
Desv. Est	1,36%	1,84%	0,46%	0,56%	0,72%	0,47%

4.3 Análisis de Resultados

Para llevar a cabo el análisis de resultados se realizaron gráficas de caja y bigote, para la interpretación de los valores de amortiguamiento obtenidos de los métodos de decaimiento de curva denominado con un (1) y el método ancho de banda denominado con un (2).

Además de los métodos de determinación de frecuencia vertical fundamental a través de los métodos del peak de la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT) y el peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia (FRF).

4.3.1 Análisis de Resultados Frecuencia Vertical Fundamental.

Con los valores de frecuencia vertical fundamental obtenidos se realizó la representación gráfica que se ilustra a continuación, de donde se obtienen algunas observaciones:

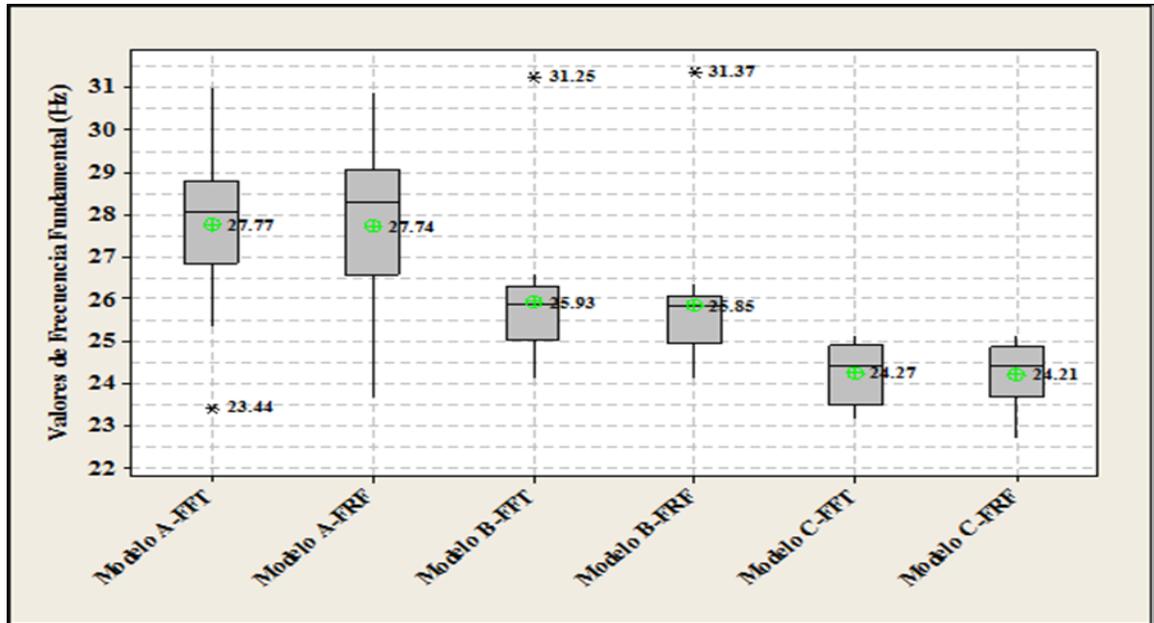


Figura12. Gráfica de Caja y Bigote para valores de frecuencia vertical fundamental

- Para los tres modelos de casas se observa que el método del peak de la transformada rápida de Fourier se encuentra sobre el peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia, con diferencia mínimas entre ambos métodos de 0.03, 0.08 y 0.06.
- Todos los datos corresponden a losas de alta frecuencia con valores cercanos a los 30 Hz por lo que no presentan resonancia.
- Se observa una mayor dispersión de valores en los métodos utilizados en el modelo A.
- Se observan valores bastante similares tanto para el método de la amplitud del peak de la transformada rápida de Fourier como para el peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia.
- Sólo en el caso del modelo B se observan para ambos métodos un valor alejado del resto.
- Al utilizar el método del peak de la amplitud de FFT la obtención de datos se genera de forma mucho más rápida y simple.

❖ **Análisis Estadístico de las diferencias de resultados entre ambos métodos aplicados.**

Para comprobar si la diferencia entre los resultados de la frecuencia fundamental aplicando ambos métodos es estadísticamente significativa, se emplea un análisis para muestras relacionadas, utilizando la prueba t de Student mencionado en el capítulo anterior.

- Modelo A: En este modelo de vivienda, las diferencias de los resultados entre los métodos aplicados presentan normalidad. De acuerdo a lo anterior, se utilizó la prueba t de Student cuyo p-valor obtenido es $0,77 > 0,05$.
- Modelo B: Al igual que en el modelo anterior la diferencia de los valores entre métodos presenta normalidad, por lo que se utilizó la prueba t de Student cuyo p-valor corresponde a $0,18 > 0,05$.
- Modelo C: Para este modelo al igual que en los casos anteriores, se aplica una prueba de estadística paramétrica, utilizando t de Student con un p-valor de $0,44 > 0,05$.

Se acepta la hipótesis nula, por lo que se comprueba que la diferencia entre los resultados no es estadísticamente significativa en la aplicación de un método u otro.

4.3.2 Análisis de Resultados Razón de Amortiguamiento.

Con los valores de razón de amortiguamiento obtenidos se realizó la representación gráfica que se ilustra en la figura 13, de donde se obtienen algunas observaciones:

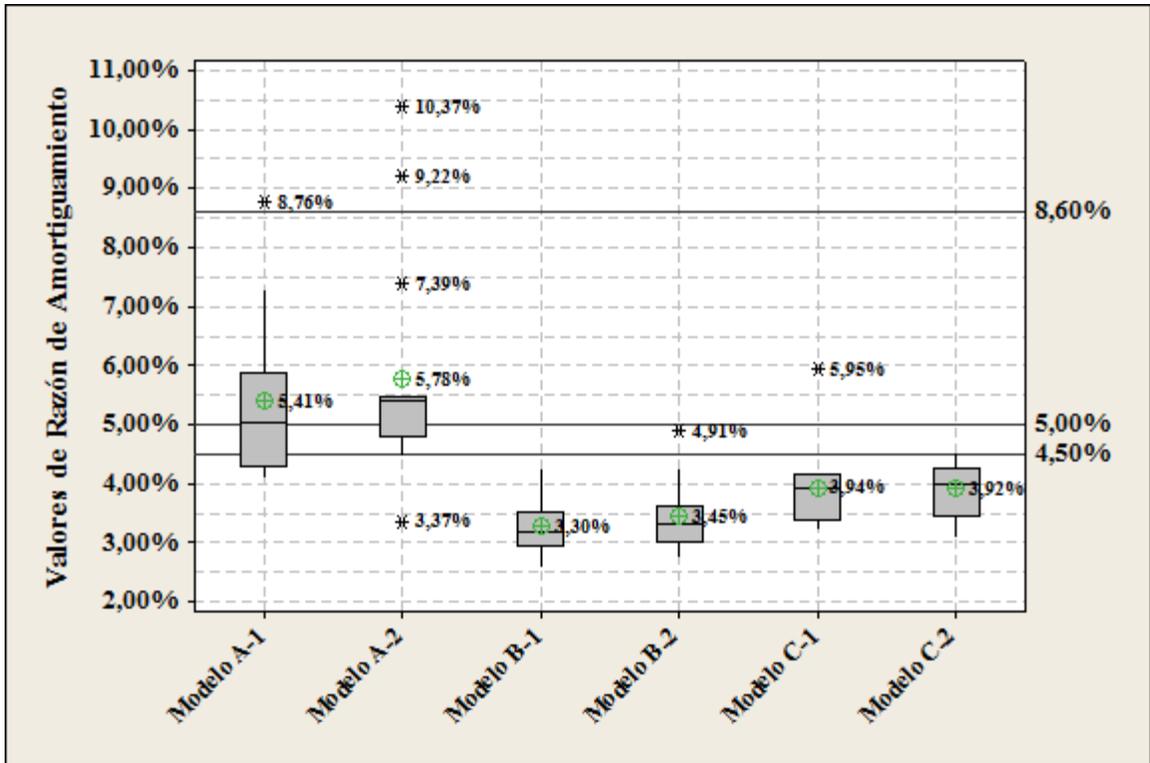


Figura 13. Gráfica de Caja y Bigote para valores de razón de amortiguamiento

- En los modelos de casas B y C la media de las casas se encuentran entre 3.30% - 4.00%, por debajo del modelo A.
- Pese a que todos los ensayos los realizo la misma persona existen valores en el caso del modelo A-2 con variaciones de un 4.59% con respecto a la media de los datos.
- Los valores obtenidos del modelo de casas A se encuentran por sobre los otros modelos de casas, en cambio el modelo B se encuentra por debajo de estos, para ambos métodos.
- Para las consideraciones descritas en la tabla 2 (Willford and Young) el único que no sobrepasa el 4.5% es el modelo B-1 correspondiente al método de Decaimiento de Curva, por esto, se considera esta tabla no representativa debido a que solo se cumple para este caso.
- Para las consideraciones descritas en la tabla 1 (ISO, 2007) se encuentran dentro del rango de valores típicos: el 46.7% de los valores del modelo A-1 y un 33.3% de los correspondientes al modelo A-2, todos los valores del modelo B independiente del método y el 91.6% de los valores del modelo C-1 y el 100% del modelo C-2.

- Para las consideraciones extremas de la ISO descritas anteriormente se observan que existe un total de 3 valores que sobrepasan el rango y estos se encuentran dentro de las casas modelo A.
- Las diferencias existentes en los valores obtenidos pueden ser causa de la fabricación en obra de la losa, como de la variabilidad y capacitación de la mano de obra.

❖ **Análisis Estadístico de las diferencias de resultados entre ambos métodos aplicados.**

Para comprobar si la diferencia entre los resultados de la razón de amortiguamiento aplicando ambos métodos es estadísticamente significativa, se emplea un análisis para muestras relacionadas, utilizando la prueba t de Student mencionado en el capítulo anterior.

- Modelo A: En este modelo de vivienda, las diferencias de los resultados entre los métodos aplicados presentan normalidad. De acuerdo a lo anterior, se utilizó la prueba t de Student cuyo p-valor obtenido es $0,15 > 0,05$.
- Modelo B: Al igual que en el modelo anterior la diferencia de los valores entre métodos presenta normalidad, por lo que se utilizó la prueba t de Student cuyo p-valor corresponde a $0,08 > 0,05$.
- Modelo C: Para este modelo al igual que en los casos anteriores, se aplica una prueba de estadística paramétrica, utilizando t de Student con un p-valor de $0,88 > 0,05$.

Se acepta la hipótesis nula, por lo que se comprueba que la diferencia entre los resultados no es estadísticamente significativa en la aplicación de un método u otro.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados y análisis comparativos presentados en el capítulo anterior, y además, basándose en los objetivos propuestos dentro del marco investigativo de este proyecto, se determinan las siguientes conclusiones.

5.1 Conclusiones

- ❖ El test de Heel Drop es recomendado para el cálculo de la frecuencia vertical fundamental ya que su valor es independiente de la ubicación y de la carga aplicada. No así para el valor de amortiguamiento el cual se ve influenciada por la carga aplicada.
- ❖ En los modelos de casas analizados, los valores de los métodos de determinación de frecuencia vertical fundamental que se obtuvieron fueron superiores a los 10 Hz correspondientes a losas de alta frecuencia según bibliografía.
- ❖ Los modelos A, B y C presentan diferencias en sus medias de 0,03 Hz, 0,08 Hz y 0,06 Hz respectivamente. Además, de diferencias estadísticas por debajo del 5%, en el caso de la frecuencia vertical fundamental. Por lo que se concluye que ambos métodos de determinación son representativos y que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la utilización de uno u otro método.
- ❖ En el caso de los resultados obtenidos de los métodos de determinación de razón de amortiguamiento se tiene que si se consideran los valores descritos por Willford and Young 2006, en donde el máximo amortiguamiento sugerido corresponde al 4.5%, solo los valores encontrados para el modelo de casas B y utilizando el método de decaimiento de curva cumplen con esto, por lo que no es un criterio representativo para los modelos de casas analizados.

- ❖ Para los valores de amortiguamiento descritos por la norma ISO (2007) el cual nos presenta un rango de valores típicos en donde el valor de amortiguamiento máximo corresponde al 5% y un rango de valores extremos con un máximo de 8.6%, se obtiene que de un total de 47 casas analizadas con el método de decaimiento de curva se encuentran dentro del rango típico el 80.85% de las casas y dentro del rango extremo el 17.02% de las casas. Para el caso de las viviendas analizadas con el método de ancho de banda se tiene que un 78.72% se encuentran dentro del rango típico de valores y el 17.02% de los valores dentro del rango extremo, por lo que el método de decaimiento de curva posee valores más cercanos a los obtenidos por paneles de losas convencionales de hormigón.

- ❖ Al evaluar los valores de razón de amortiguamiento por los métodos de decaimiento de curva y ancho de banda en los modelos A, B y C, presentan diferencias en sus medias de 0,37%, 0,15% y 0,02%, respectivamente. Además, de diferencias estadísticas por debajo del 5%. Por lo que se concluye que ambos métodos de determinación son representativos y que no existen diferencias estadísticamente significativas entre la utilización de uno u otro método.

5.2 Recomendaciones

Según lo desarrollado en esta investigación, se plantean las siguientes recomendaciones con la finalidad de abordar temáticas que contribuyan a complementar el desarrollo de este estudio.

- ❖ Analizar propiedades dinámicas en un muestreo de viviendas mayor, en un mismo modelo, para la comparación en los resultados.

- ❖ Realizar mediciones en diferentes partes de la losa para comprobar la variabilidad de los resultados.

- ❖ Analizar resultados con otros métodos de determinación y evaluar las propiedades dinámicas.

REFERENCIAS

- [1] AISC (2003) “Floor Vibration: Due to Human Activity. AISC 11”. American Institute of Steel Construction. EE.UU.
- [2] Arcelor Mittal (2008) “Design Guide for Floor Vibrations.” ArcelorMittal. Luxemburgo.
- [3] Racic, V., A. Pavic, and J.M.W. Brownjohn. (2009). Experimental identification and analytical modelling of human walking force: Literature Review. *Journal of Sound and Vibration*, 326 (2009): 1 – 49.
- [4] European Communities (2008). Advanced Load models for synchronous pedestrian excitation and optimized design guidelines for Steel footbridges. Publications of the European Communities 2008. Luxemburgo.
- [5] SCI (2009). Design of floors for Vibration: A New Approach, SCI publication P 354, The Steel Construction Institute. EEUU.
- [6] CCIP (2006) “A Design Guide for Footfall Induced Vibrations of Structures. CCIP 016.” The Concrete Centre. Inglaterra. Realizado por The Concrete Society.
- [7] European Communities (2006) “Generalization of Criteria for Floor Vibration for Industrial, Office, Residential and Public Buildings and Gymnastic Hall.” Publications of the European Communities 2006. Luxemburgo.
- [8] ISO (2003) “Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration- Part 2: Vibration in Buildings (1 Hz to 80 Hz). ISO 2631-2.” International Organization for Standardization. Suiza.
- [9] ISO (2007) “Bases for design of structures – Serviceability of buildings and walkways against vibration. ISO 10137.” International Organization for Standardization. Suiza.

- [10] Brandt, A. (2001). Noise and vibration analysis: Signal analysis and experimental procedures. John Wiley and Sons., United Kingdom.
- [11] Pavic, A., M. Lovell, S. Prichard y P. Reynolds, (2003) "Evaluation of mathematical models for predicting walking- induced vibrations of high-frequency floors." International Journal of Structural Stability and Dynamics. 3(1). 107-130.
- [12] SCI (2009)" Design of Floors for Vibration: A New Approach. SCI P354." The Steel Construction Institute. Inglaterra.
- [13] Montiel, A.L. (2007). Vibraciones en Sistemas de piso mediante los Criterios AISC/CISC y del SCI. Tesis, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, México.
- [14] Toratti, T. y S. Talja (2006) "Classification of human induced floor vibrations." Building Acoustics. 13(3). 211-221.
- [15] Willford M. y P. Young (2005) "Improved methodologies for the prediction of footfall induced vibration." Proceedings of 6th European Conference on Structural Dynamic. Paris. Francia. Septiembre.
- [16] Sepúlveda, E.E. (2012). Evaluación in situ de vibraciones verticales inducidas por peatones en sistemas de pisos. Tesis, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Chile.
- [17] Briceño, M.V. (2012). Vibraciones ocasionadas por las personas en estructuras y sus formas de mitigación. Tesis, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile.

ANEXOS

ÍNDICE GENERAL ANEXOS

ANEXO A: CÓDIGO MATLAB.....	46
1. Proceso de filtrado de la señal.....	47
2. Determinación de f_n y ξ	48
ANEXO B: GRÁFICAS DE LOS ACELEROGRAMAS.....	51
ANEXO C: ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	68
1. Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental.....	69
2. Valor de Razón de Amortiguamiento.....	72
ANEXO D: MÉTODOS DE OBTENCION DE f_n.....	75
1. Método de obtención a través del peak FFT.....	76
2. Método de obtención a través del peak de la parte imaginaria de FRF.....	92
ANEXO E: MÉTODOS DE DETERMINACIÓN DE ξ.....	110
1. Método de Decaimiento de Curva.....	111
2. Método de Ancho de Banda.....	157

INDICE DE FIGURAS

Figura B1: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	47
Figura B2: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	47
Figura B3: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	47
Figura B4: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	48
Figura B5: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	48
Figura B6: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	48
Figura B7: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	49
Figura B8: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	49
Figura B9: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	49
Figura B10: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	50
Figura B11: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	50
Figura B12: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	50
Figura B13: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	51
Figura B14: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	51
Figura B15: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	51
Figura B16: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	52
Figura B17: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	52
Figura B18: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	52
Figura B19: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	53
Figura B20: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	53
Figura B21: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	53
Figura B22: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	54
Figura B23: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	54
Figura B24: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	54
Figura B25: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	55
Figura B26: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	55
Figura B27: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	55
Figura B28: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	56
Figura B29: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	56
Figura B30: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	56
Figura B31: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	57

Figura B32: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	57
Figura B33: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	57
Figura B34: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	58
Figura B35: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	58
Figura B36: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	58
Figura B37: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	59
Figura B38: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	59
Figura B39: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	59
Figura B40: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	60
Figura B41: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	60
Figura B42: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	60
Figura B43: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	61
Figura B44: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	61
Figura B45: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	61
Figura B46: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	62
Figura B47: Datos obtenidos en el dominio del tiempo.....	62
Figura D1: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	71
Figura D2: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	71
Figura D3: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	72
Figura D4: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	72
Figura D5: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	72
Figura D6: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	73
Figura D7: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	73
Figura D8: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	73
Figura D9: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	74
Figura D10: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	74
Figura D11: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	74
Figura D12: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	75
Figura D13: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	75
Figura D14: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	75
Figura D15: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	76

Figura D16: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	76
Figura D17: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	76
Figura D18: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	77
Figura D19: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	77
Figura D20: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	77
Figura D21: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	78
Figura D22: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	78
Figura D23: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	78
Figura D24: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	79
Figura D25: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	79
Figura D26: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	79
Figura D27: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	80
Figura D28: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	80
Figura D29: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	80
Figura D30: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	81
Figura D31: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	81
Figura D32: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	81
Figura D33: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	82
Figura D34: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	82
Figura D35: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	82
Figura D36: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	83
Figura D37: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	83
Figura D38: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	83
Figura D39: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	84
Figura D40: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	84
Figura D41: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	84
Figura D42: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	85
Figura D43: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	85
Figura D44: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	85
Figura D45: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	86
Figura D46: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	86

Figura D47: gráfica de la transformada rápida de Fourier.....	86
Figura D48: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	87
Figura D49: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	87
Figura D50: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	87
Figura D51: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	88
Figura D52: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	88
Figura D53: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	88
Figura D54: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	89
Figura D55: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	89
Figura D56: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	89
Figura D57: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	90
Figura D58: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	90
Figura D59: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	90
Figura D60: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	91
Figura D61: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	91
Figura D62: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	91
Figura D63: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	92
Figura D64: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	93
Figura D65: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	93
Figura D66: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	93
Figura D67: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	94
Figura D68: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	94
Figura D69: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	94
Figura D70: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	95
Figura D71: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	95
Figura D72: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	95
Figura D73: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	96
Figura D74: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	96
Figura D75: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	96
Figura D76: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	97
Figura D77: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	97

Figura D78: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	97
Figura D79: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	98
Figura D80: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	98
Figura D81: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	98
Figura D82: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	99
Figura D83: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	100
Figura D84: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	100
Figura D85: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	100
Figura D86: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	101
Figura D87: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	101
Figura D88: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	101
Figura D89: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	102
Figura D90: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	102
Figura D91: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	102
Figura D92: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	103
Figura D93: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	103
Figura D94: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia....	103
Figura E1. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.35%.....	106
Figura E2. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.26%.....	106
Figura E3. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 91.5%.....	107
Figura E4. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.68%.....	107
Figura E5. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 88.48%.....	108
Figura E6. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 87.72%.....	108
Figura E7. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 91.19%.....	109
Figura E8. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.44%.....	109
Figura E9. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.93%.....	110
Figura E10. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.93%.....	110
Figura E11. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 84.72%.....	111
Figura E12. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 85.31%.....	111
Figura E13. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 94.17%.....	112
Figura E14. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.9%.....	112

Figura E15. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.81%.....	113
Figura E16. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.15%.....	113
Figura E17. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.35%.....	114
Figura E18. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.42%.....	114
Figura E19. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.46%.....	115
Figura E20. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.25%.....	115
Figura E21. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.8%.....	116
Figura E22. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.25%.....	116
Figura E23. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.09%.....	117
Figura E24. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.01%.....	117
Figura E25. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.77%.....	118
Figura E26. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.87%.....	118
Figura E27. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.9%.....	119
Figura E28. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.17%.....	119
Figura E29. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.09%.....	120
Figura E30. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.87%.....	120
Figura E31. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.61%.....	122
Figura E32. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.05%.....	122
Figura E33. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.09%.....	123
Figura E34. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.28%.....	123
Figura E35. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 85.29%.....	124
Figura E36. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.29%.....	124
Figura E37. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 86.34%.....	125
Figura E38. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.94%.....	125
Figura E39. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.89%.....	126
Figura E40. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.06%.....	126
Figura E41. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 84.91%.....	127
Figura E42. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.41%.....	127
Figura E43. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.21%.....	128
Figura E44. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.25%.....	128
Figura E45. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.18%.....	129

Figura E46. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.94%.....	129
Figura E47. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.33%.....	130
Figura E48. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.31%.....	130
Figura E49. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.38%.....	131
Figura E50. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.12%.....	131
Figura E51. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.89%.....	132
Figura E52. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.31%.....	132
Figura E53. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.57%.....	133
Figura E54. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.58%.....	133
Figura E55. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.61%.....	134
Figura E56. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.82%.....	134
Figura E57. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.1%.....	135
Figura E58. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.82%.....	135
Figura E59. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.57%.....	136
Figura E60. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.09%.....	136
Figura E61. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.25%.....	137
Figura E62. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.04%.....	137
Figura E63. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98%.....	138
Figura E64. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.75%.....	138
Figura E65. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.1%.....	139
Figura E66. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.86%.....	139
Figura E67. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.12%.....	140
Figura E68. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.16%.....	140
Figura E69. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 95.22%.....	141
Figura E70. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 94.16%.....	141
Figura E71. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.99%.....	143
Figura E72. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.37%.....	143
Figura E73. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.67%.....	144
Figura E74. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.46%.....	144
Figura E75. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.93%.....	145
Figura E76. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.75%.....	145

Figura E77. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.62%.....	146
Figura E78. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.93%.....	146
Figura E79. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.77%.....	147
Figura E80. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.88%.....	147
Figura E81. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.48%.....	148
Figura E82. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.48%.....	148
Figura E83. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.92%.....	149
Figura E84. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.23%.....	149
Figura E85. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 90.97%.....	150
Figura E86. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 95.58%.....	150
Figura E87. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.68%.....	151
Figura E88. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.06%.....	151
Figura E89. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.97%.....	152
Figura E90. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.3%.....	152
Figura E91. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.9%.....	153
Figura E92. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.33%.....	153
Figura E93. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.88%.....	154
Figura E94. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.62%.....	154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla C1: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	64
Tabla C2: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	64
Tabla C3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	65
Tabla C4: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	65
Tabla C5: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	66
Tabla C6: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	66
Tabla C7: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	67
Tabla C8: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	67
Tabla C9: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	68
Tabla C10: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	68
Tabla C11: Prueba de Kolmogorov-Smirnov.....	69
Tabla C12: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas.....	69
Tabla D1. Resumen de valores de la parte imaginaria de FRF.....	92
Tabla D2. Resumen de Valores de la Parte Imaginaria de FRF.....	99
Tabla D3. Resumen de Valores de la Parte Imaginaria de FRF.....	104
Tabla E1. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva.....	121
Tabla E2. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva.....	142
Tabla E3. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva.	155
Tabla E4. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier.....	156
Tabla E5. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier.....	157
Tabla E6. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier.....	158

ANEXO A: CODIGO MATLAB

1. Proceso de filtrado de la señal

```

clear
clc
close all

%Intento de lectura y generación base de datos
n_aceler=15;    %nro de acelerogramas
factor_g=1;    %colocar 1 si el acelerograma está en (m/s2), colocar el valor de "g" si la medición esta
                en fracción de g
a_brut=factor_g*xlsread('Heel_dropc60.xls','resumen');
fs1=1000;
dt1=1/fs1;
np1=length(a_brut);
t1=dt1*[0:np1-1]';
%plot(t,a_brut)
for i=1:n_aceler

%Centrado de señal
a0(i)=mean(a_brut(:,i));
a_brut_cent(:,i)=a_brut(:,i)-a0(i)*ones(np1,1);
%plot(t,[a_brut,a_brut_cent])

%Filtrado de señal
Fnyquist1=(1/dt1)/2;
Wp1=40/Fnyquist1;Ws1=50/Fnyquist1;
Rp1=0.4;Rs1=15;
[Nn1,Wn1]=buttord(Wp1,Ws1,Rp1,Rs1);
[b1,a1]=butter(Nn1,Wn1);
% figure
% freqz(b1,a1,512,fs1)
%Señal filtrada
a_cent_filt(:,i)=filtfilt(b1,a1,a_brut_cent(:,i));
% figure
% plot(t1,[a_brut1,a_brut_cent1,a_cent_filt1])

```

```

end
figure
plot(t1,[a_cent_filt])
grid on

```

2. Determinación de f_n y ξ

```

%Determinación de frecuencia natural de vibración vertical y razón de
%amortiguamiento
for j=1:n_aceler
N1=2^ceil(log(length(a_cent_filt(:,j)))/log(2));
ff1=1/dt1*(0:N1-1)/N1;
Amp1=2*fft(a_cent_filt(:,j),N1)/length(a_cent_filt(:,j));
paso1=ff1(1:length(ff1)/15);
paso2=abs(Amp1(1:length(ff1)/15));
paso2_imag=imag(Amp1(1:length(ff1)/15));
paso2_real=real(Amp1(1:length(ff1)/15));
figure
plot(paso1,paso2);
% grid on
title('Amplitud de Aceleración en el dominio de la Frecuencia') ;
xlabel('Frecuencia [Hz]');
ylabel('Amplitud de Aceleración [m/s^2]'); % Grafica Registro Aceleración vs Frecuencia
set(gca,'fontsize',14)
figure
plot(paso1,paso2_imag);
% grid on
title('Amplitud de Aceleración en la parte imaginaria del dominio de la Frecuencia') ;
xlabel('Frecuencia [Hz]');
ylabel('Amplitud de Aceleración [m/s^2]'); % Grafica Registro Aceleración vs Frecuencia Imaginaria
set(gca,'fontsize',14)
%Frecuencias naturales con valor peak de FRF
fn(1,j)=ff1(find(paso2==max(paso2))); % en la fila 1 de fn están las frecuencias asociadas al
máximo de la amplitud de la FRF del Heel Drop

```

```

fn(2,j)=ff1(find(paso2_imag==max(paso2_imag))); %en la fila 2 de fn están las frecuencias asociadas
                                                al máximo de la parte imaginaria de FRF del
                                                Heel Drop
fn(3,j)=ff1(find(paso2_imag==min(paso2_imag))); %en la fila 3 de fn están las frecuencias asociadas
                                                al mínimo de la parte imaginaria de FRF del Heel
                                                Drop
fn(4,j)=(fn(2,j)+fn(3,j))/2; %en la fila 4 de fn están el promedio de la fila 2 y 3

%Razones de amortiguamiento
%Metodo de decaimiento logaritmico
paso3=a_cent_filt(:,j);
indice1=find(paso3==max(paso3));
indice2=find(paso3==min(paso3));
delta_ind=floor((1/fn(1,j))/(dt1));
indice_fin_sup=indice1+7*delta_ind;
indice_fin_inf=indice2+7*delta_ind;
%comienza rama superior
l=1;
rango=10;
for k=indice1:delta_ind:indice_fin_sup
peaks_sup(l,j)=max(paso3(k-rango:k+rango));
ln_peaks_sup(l,j)=log(peaks_sup(l,j));
tiempos_sup(l,j)=t1(find(paso3==max(paso3(k-rango:k+rango))));
l=l+1;
end
paso4=polyfit(tiempos_sup(:,j),ln_peaks_sup(:,j),1);
chi(1,j)=-1*paso4(1)/(2*pi()*fn(1,j));
%comienza rama inferior
m=1;
for n=indice2:delta_ind:indice_fin_inf
peaks_inf(m,j)=min(paso3(n-rango:n+rango));
ln_peaks_inf(m,j)=log(-1*peaks_inf(m,j));
tiempos_inf(m,j)=t1(find(paso3==min(paso3(n-rango:n+rango))));
m=m+1;
end

```

```
paso5=polyfit(tiempos_inf(:,j),ln_peaks_inf(:,j),1);
chi(2,j)=-1*paso5(1)/(2*pi()*fn(1,j));
chi(3,j)=(chi(1,j)+chi(2,j))/2;

figure
plot(t1,a_cent_filt(:,j));
title('Medición de Aceleración') ;
xlabel('Tiempo [s]');
ylabel('Amplitud de Aceleración [m/s^2]');    % Grafica Registro Aceleración vs tiempo
set(gca,'fontsize',14)
hold on
plot(tiempos_sup(:,j),peaks_sup(:,j));
hold on
plot(tiempos_inf(:,j),peaks_inf(:,j));
end
```

ANEXO B: GRÁFICAS DE LOS ACELEROGRAMAS

En este anexo se muestran las gráficas de los acelerogramas obtenidas de las mediciones del test de Heel Drop para los diferentes modelos de viviendas unifamiliares.

- Viviendas Modelo A

Casa 1

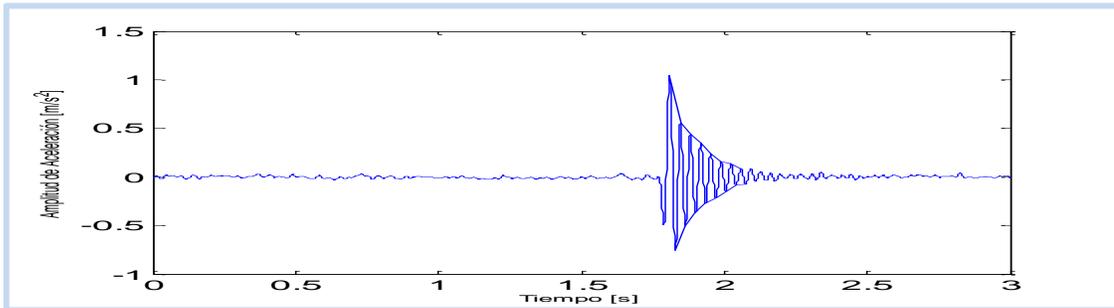


Figura B1: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 2

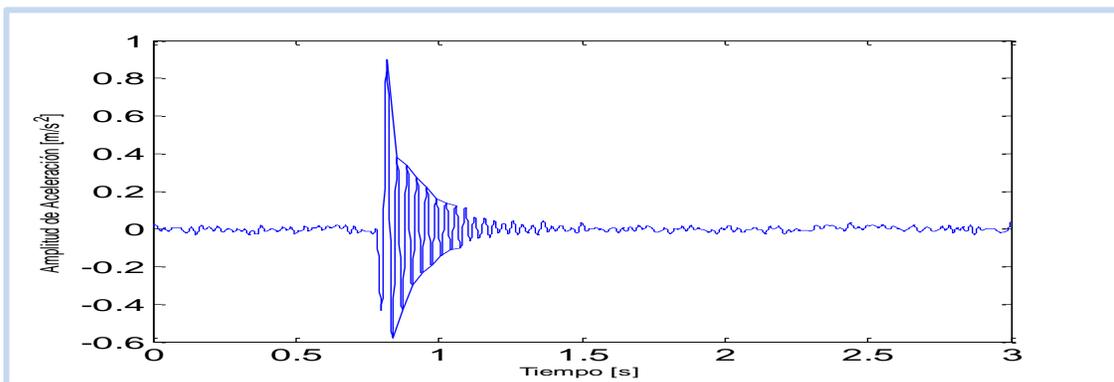


Figura B2: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 3

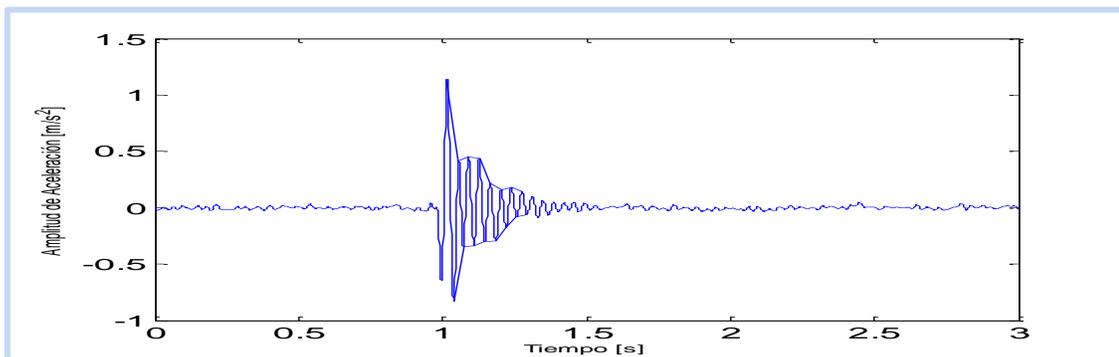


Figura B3: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 4

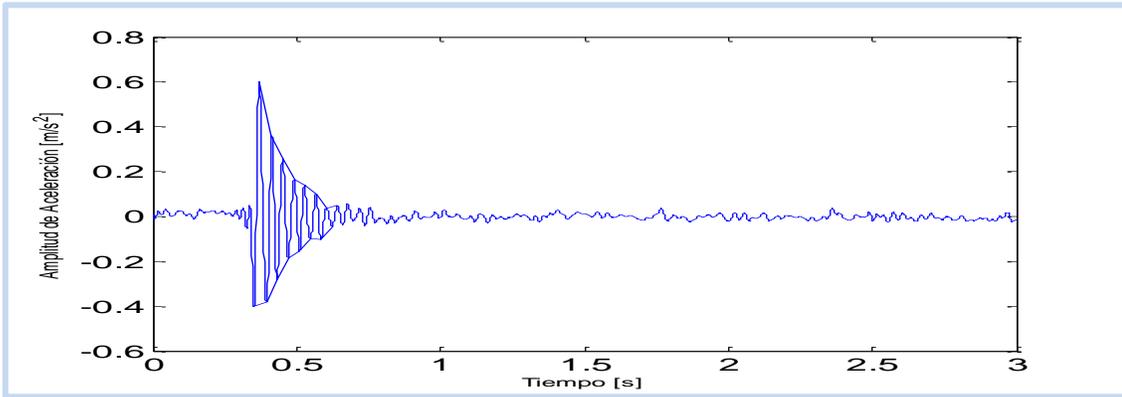


Figura B4: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 5

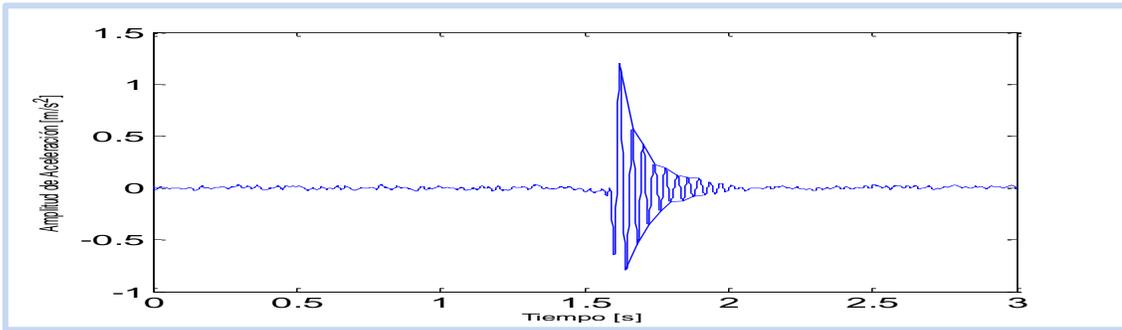


Figura B5: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 6

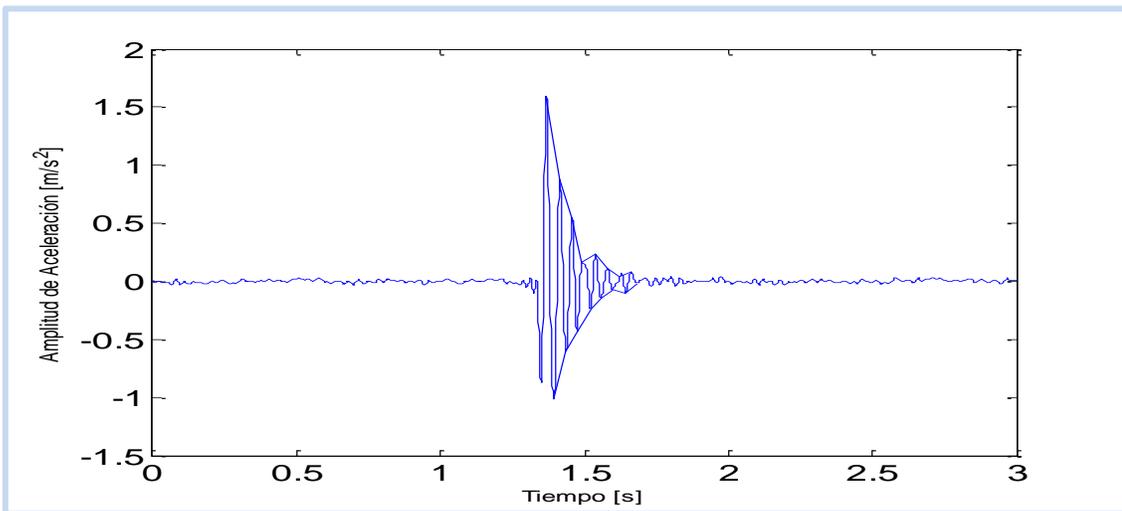


Figura B6: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 7

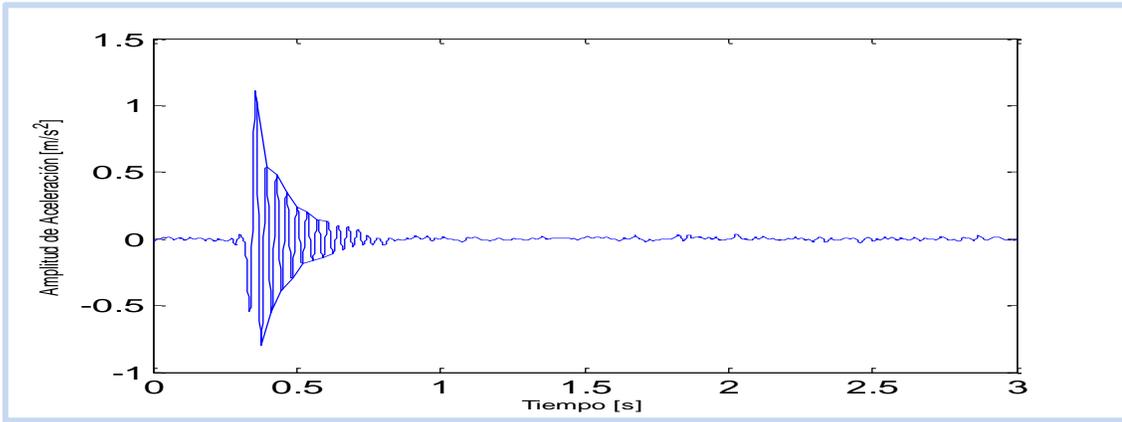


Figura B7: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 8

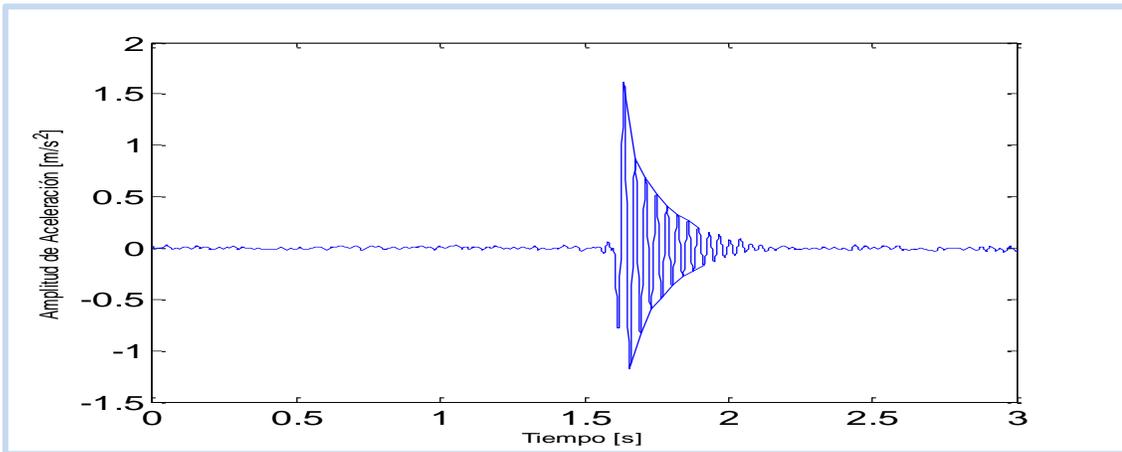


Figura B8: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 9

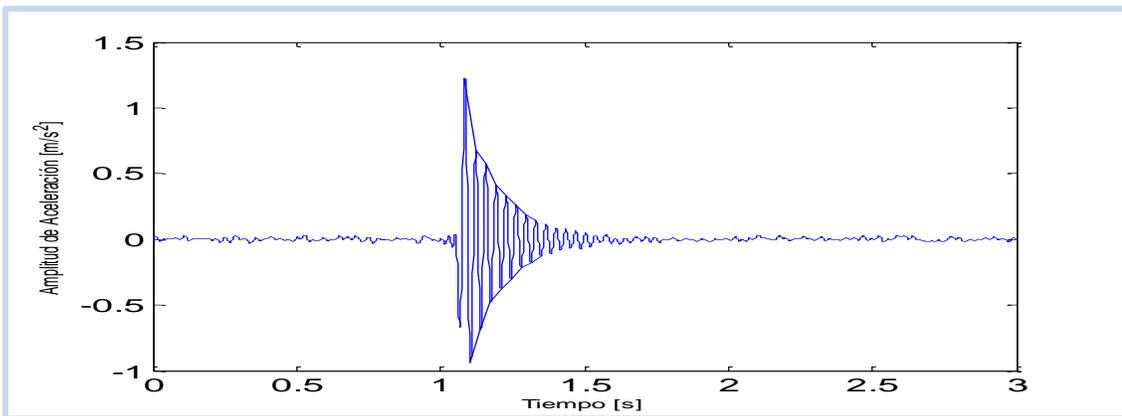


Figura B9: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 10

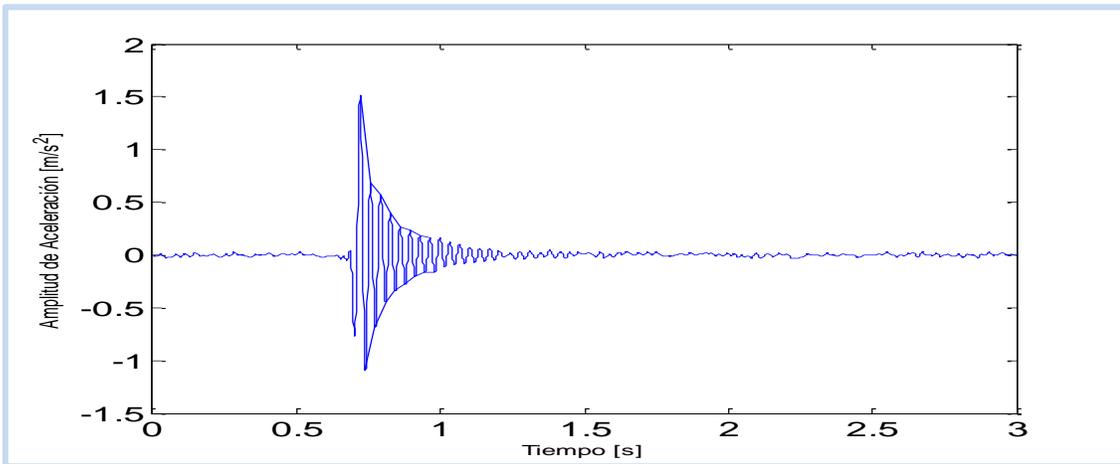


Figura B10: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 11

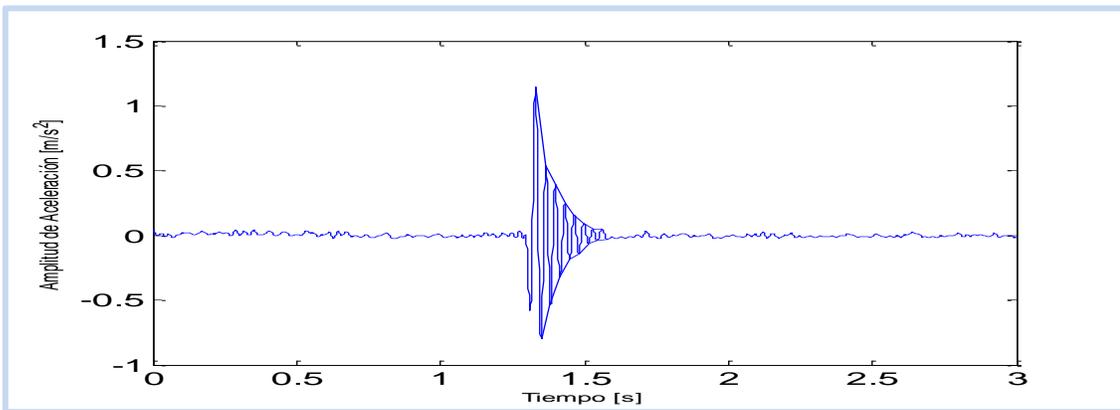


Figura B11: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 12

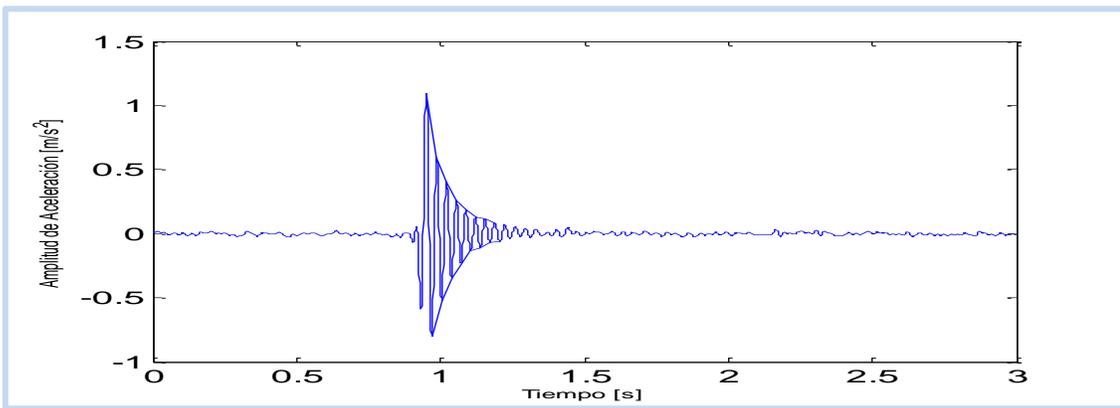


Figura B12: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 13

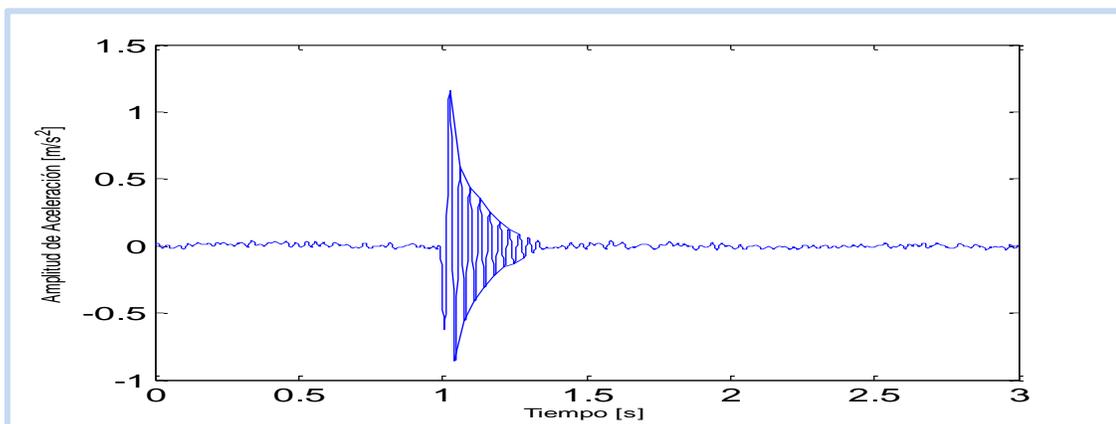


Figura B13: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 14

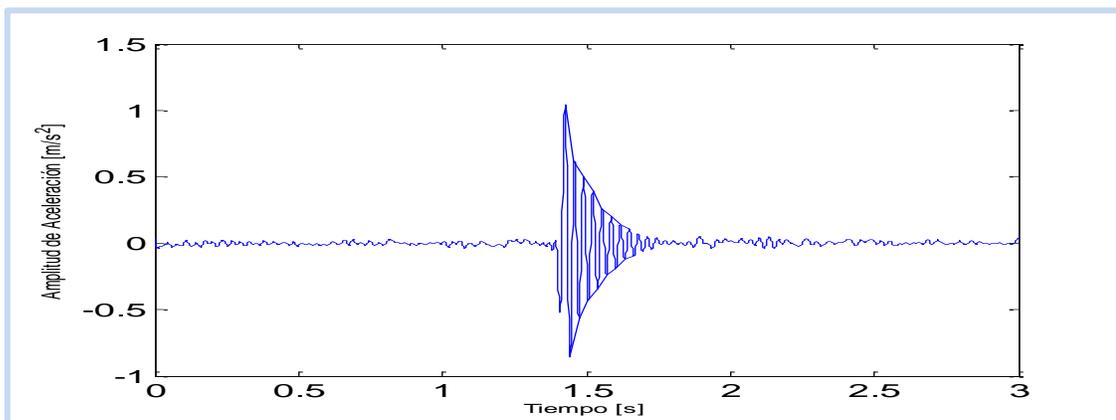


Figura B14: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 15

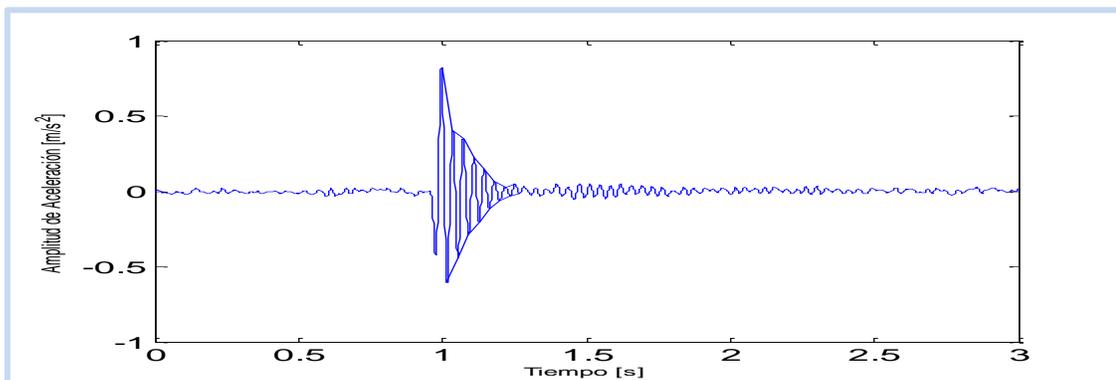


Figura B15: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

- Viviendas Modelo B

Casa 1

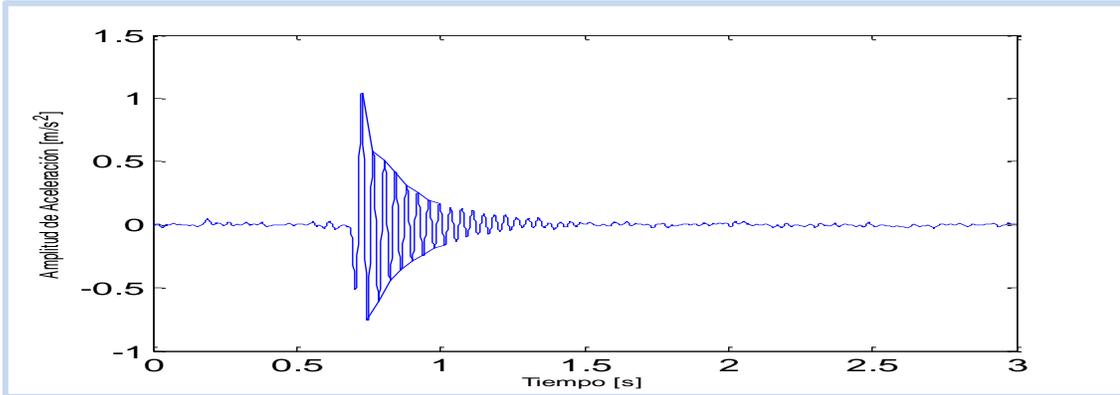


Figura B16: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 2

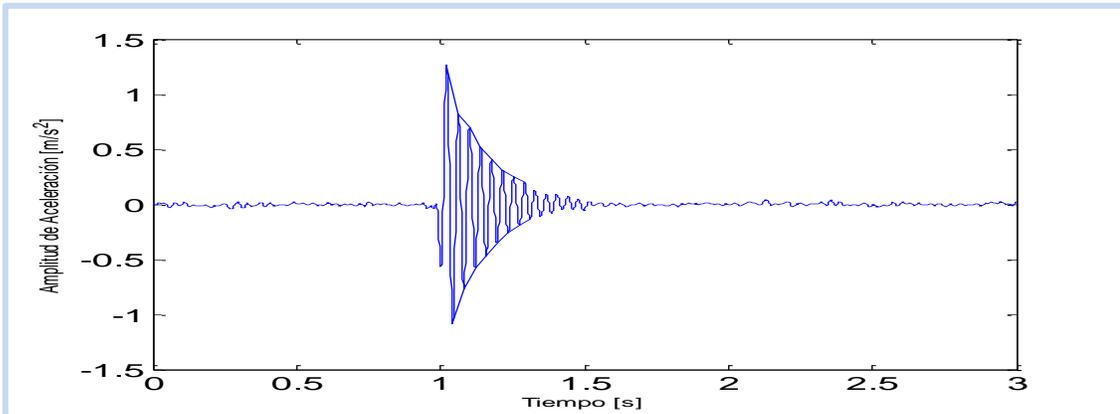


Figura B17: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 3

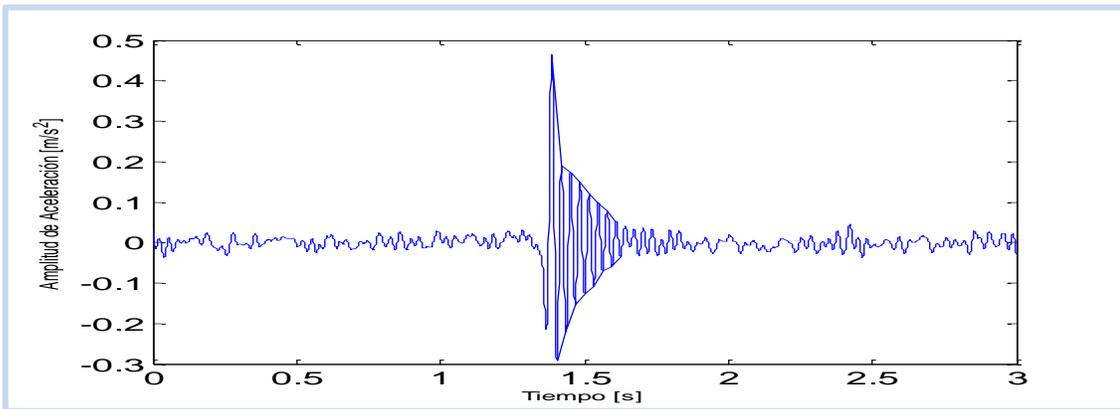


Figura B18: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 4

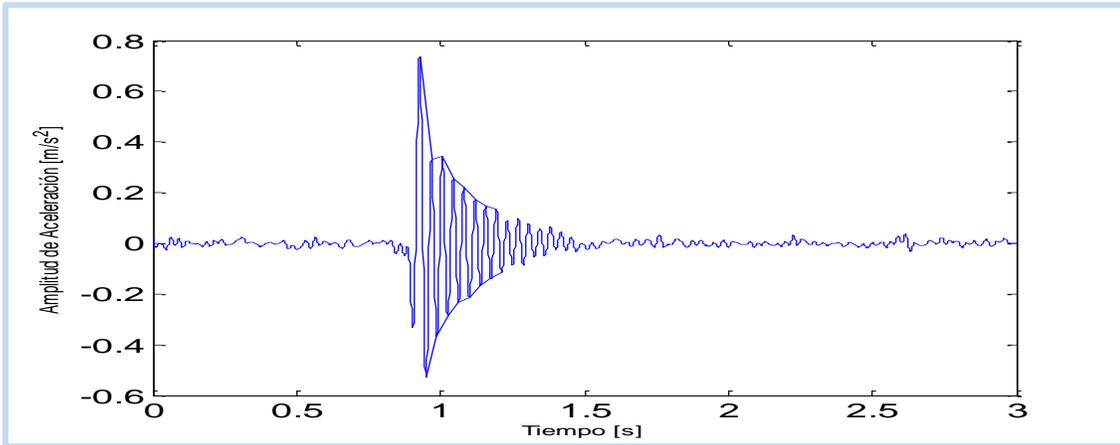


Figura B19: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 5

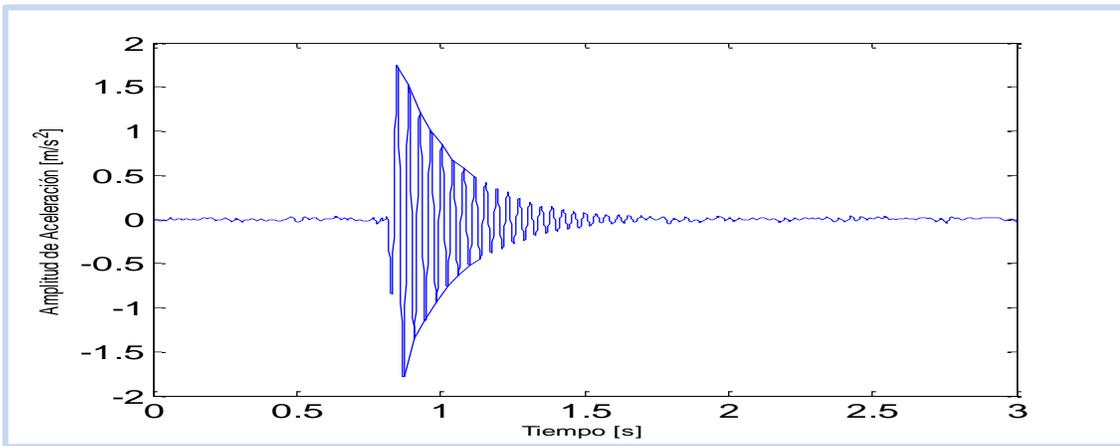


Figura B20: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 6

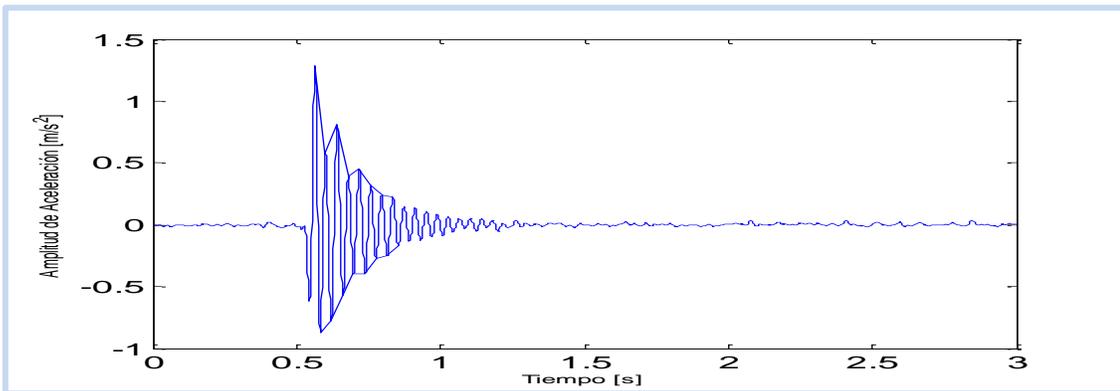


Figura B21: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 7

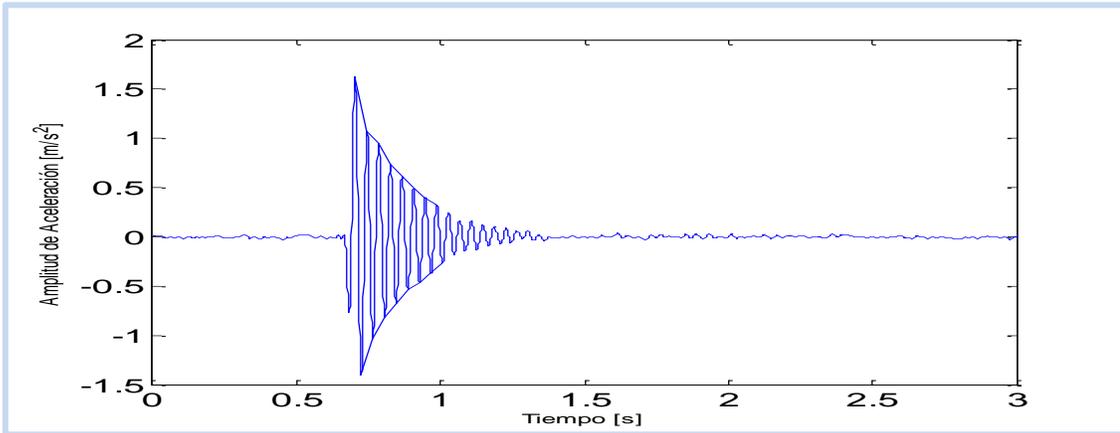


Figura B22: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 8

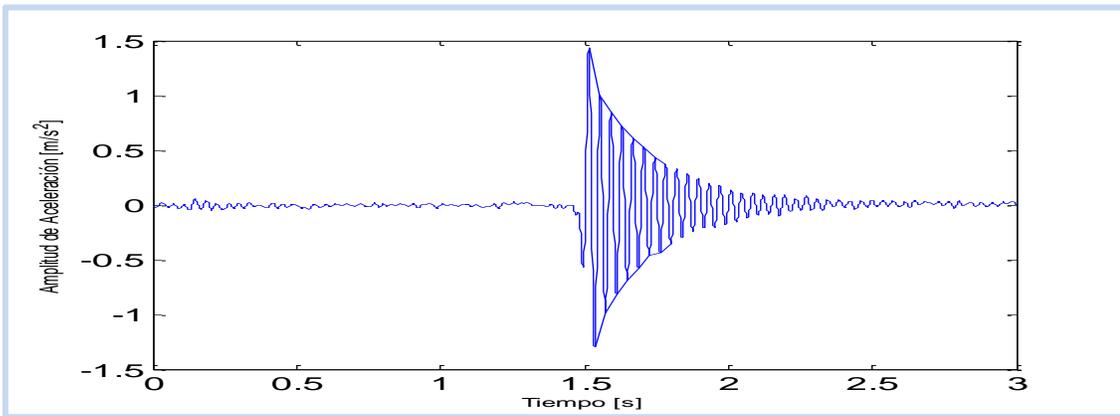


Figura B23: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 9

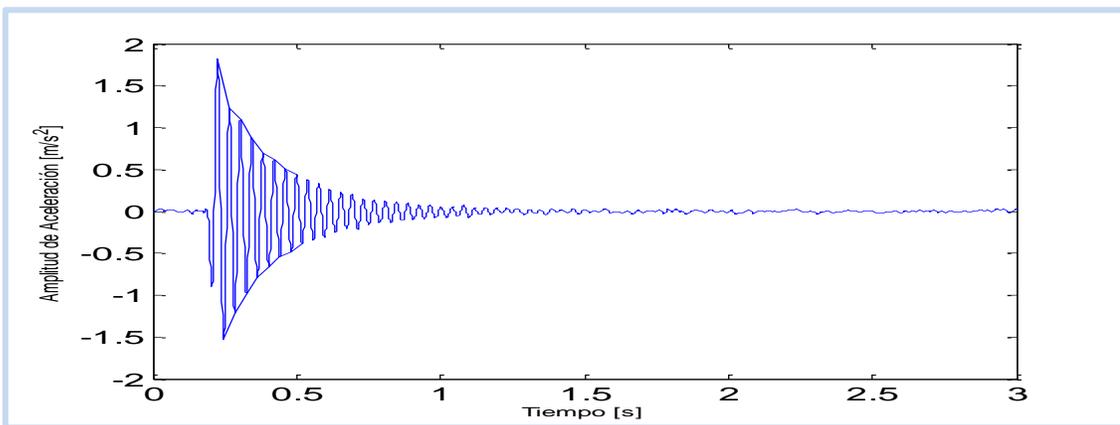


Figura B24: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 10

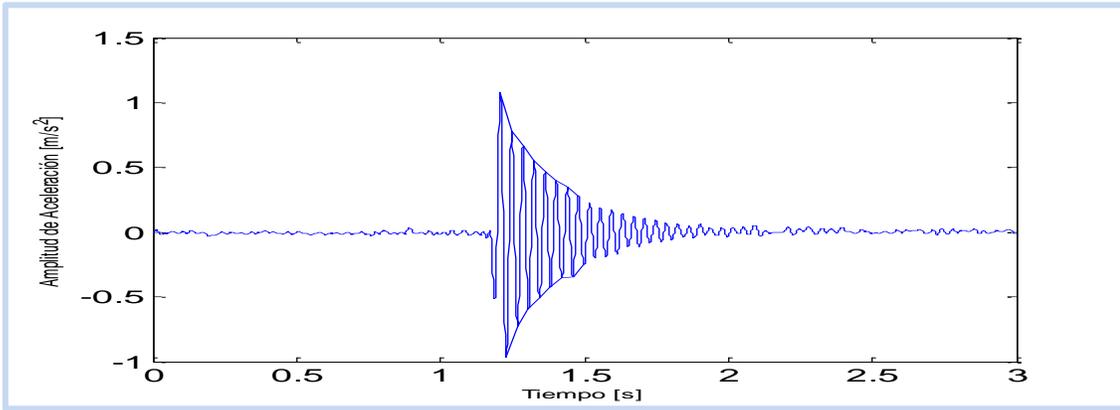


Figura B25: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 11

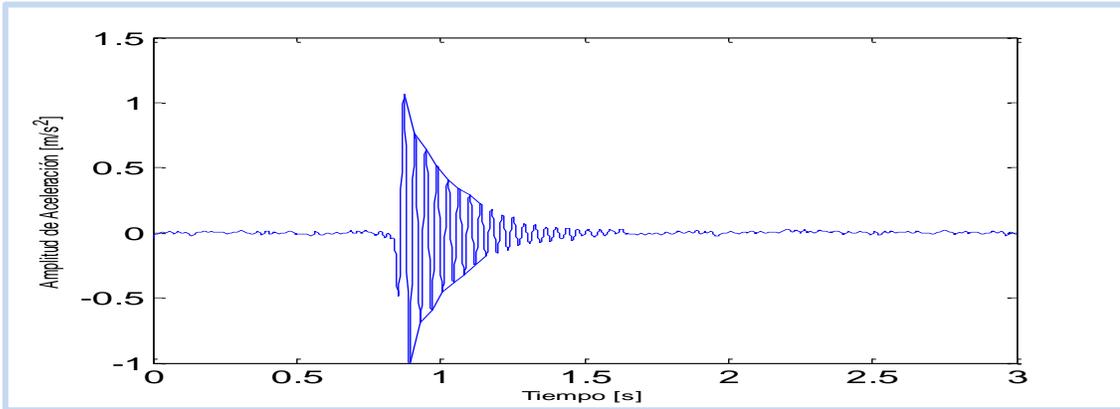


Figura B26: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 12

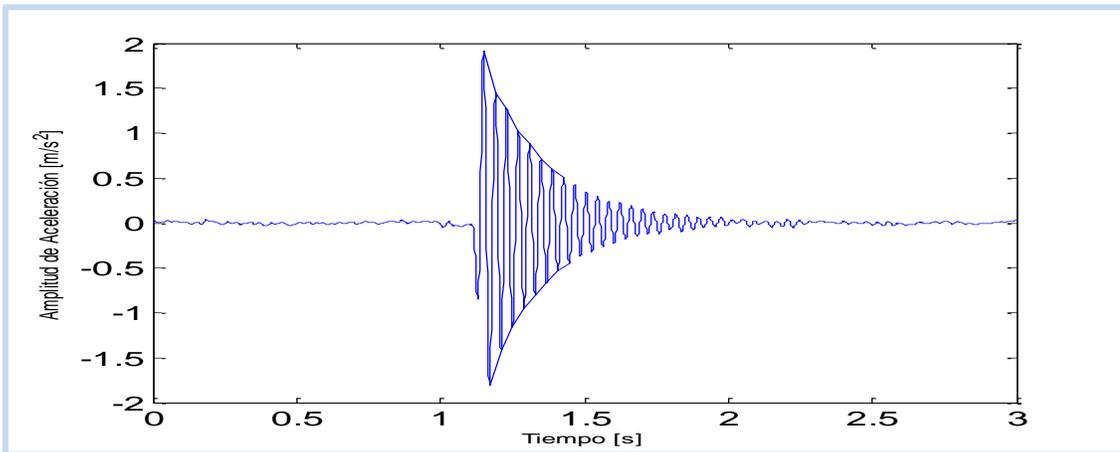


Figura B27: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 13

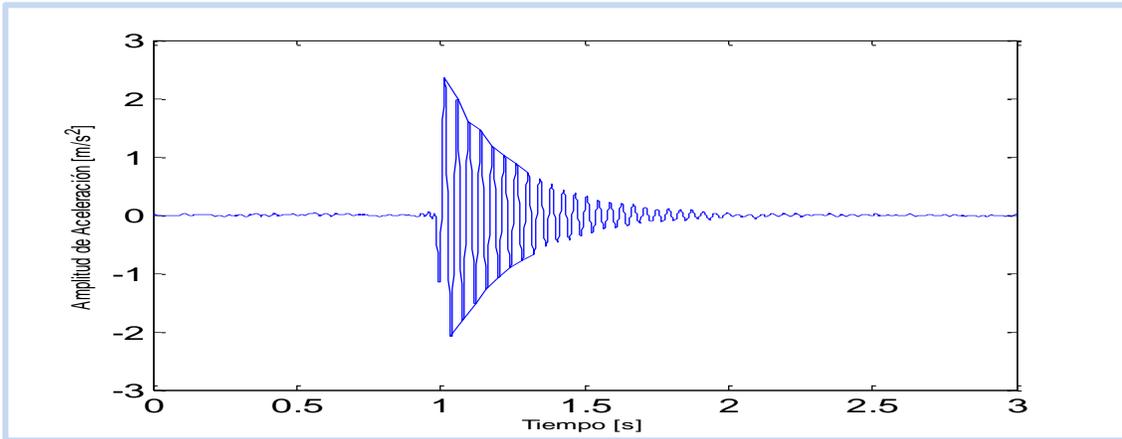


Figura B28: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 14

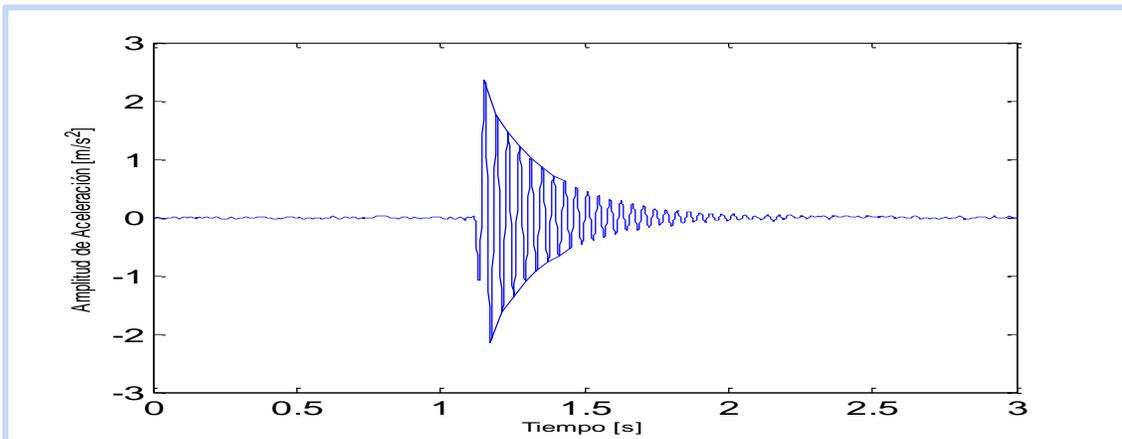


Figura B29: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 15

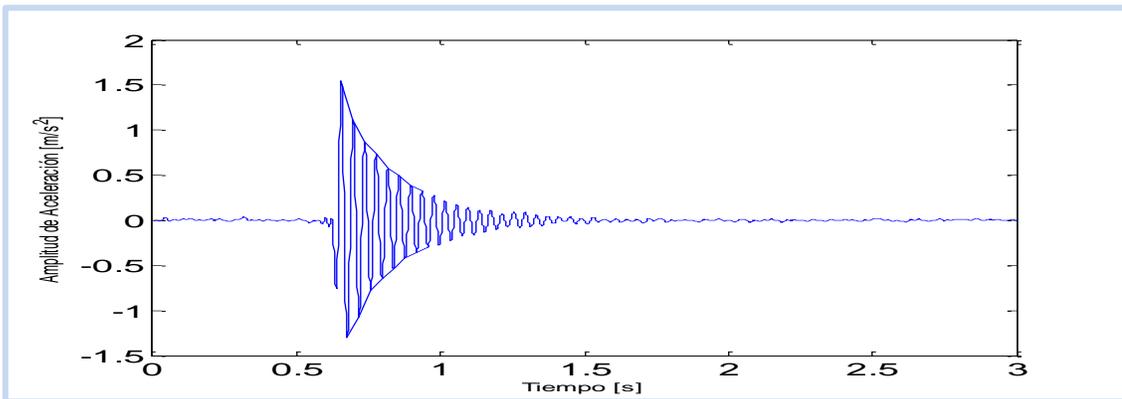


Figura B30: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 16

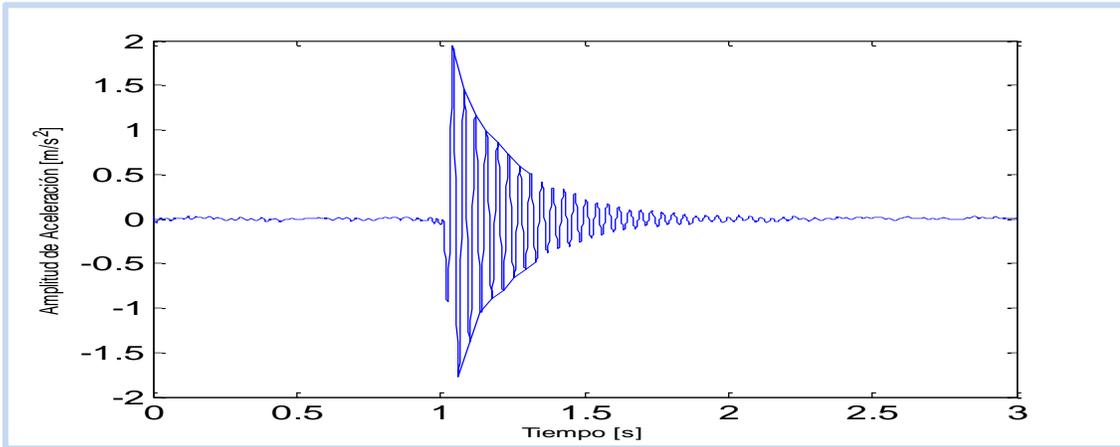


Figura B31: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 17

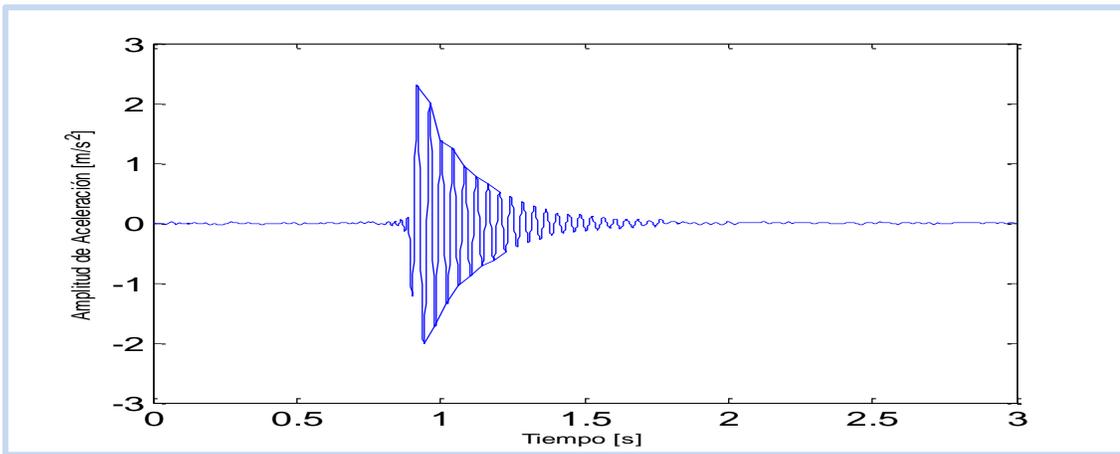


Figura B32: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 18

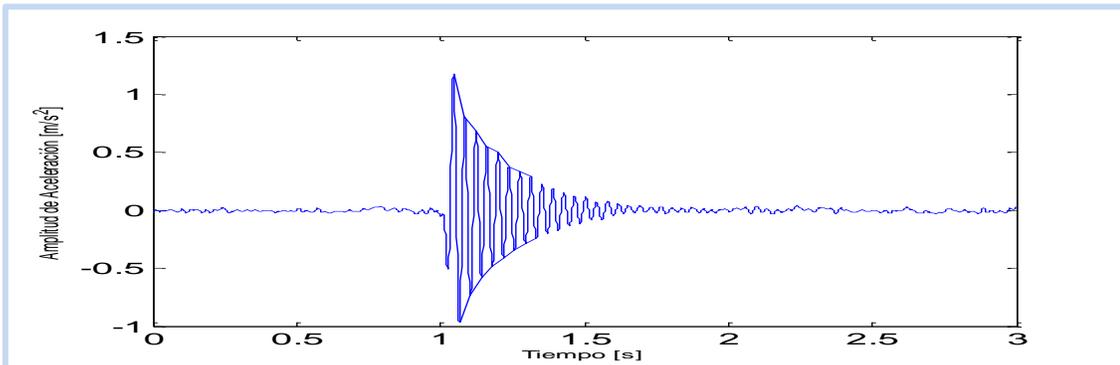


Figura B33: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 19

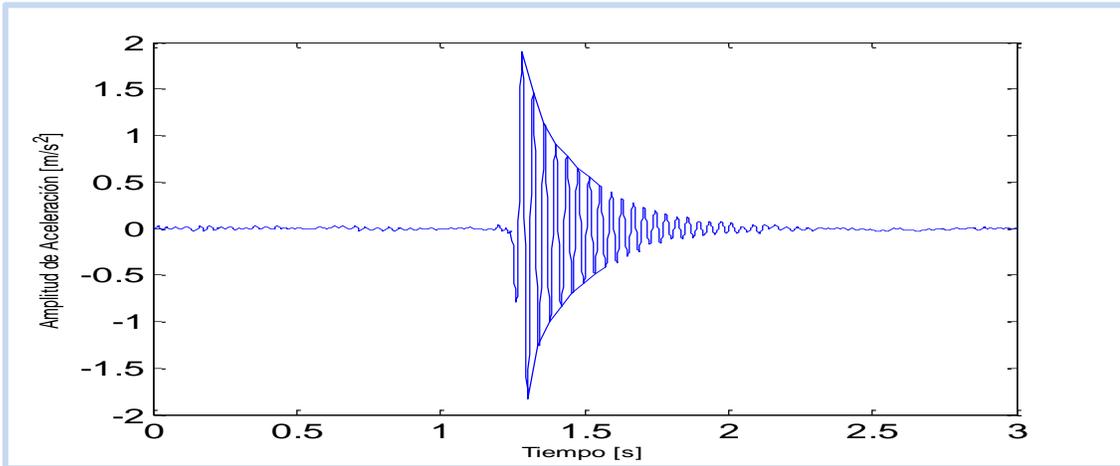


Figura B34: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 20

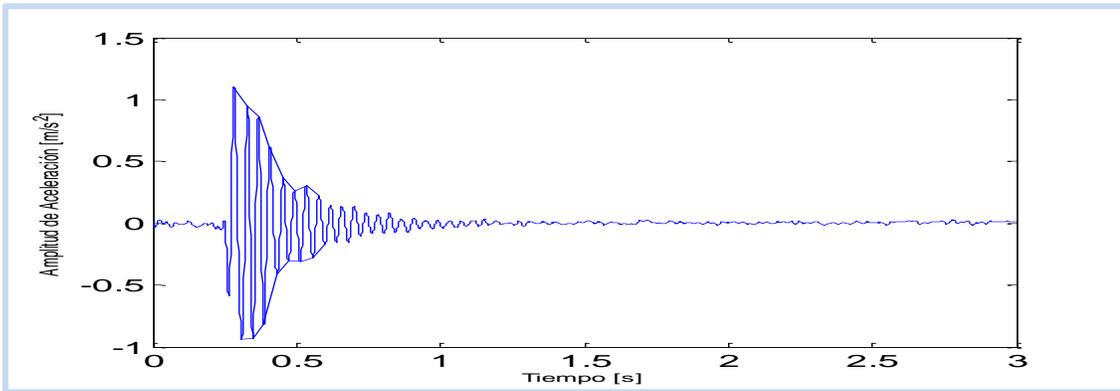


Figura B35: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

- Viviendas Modelo C

Casa 1

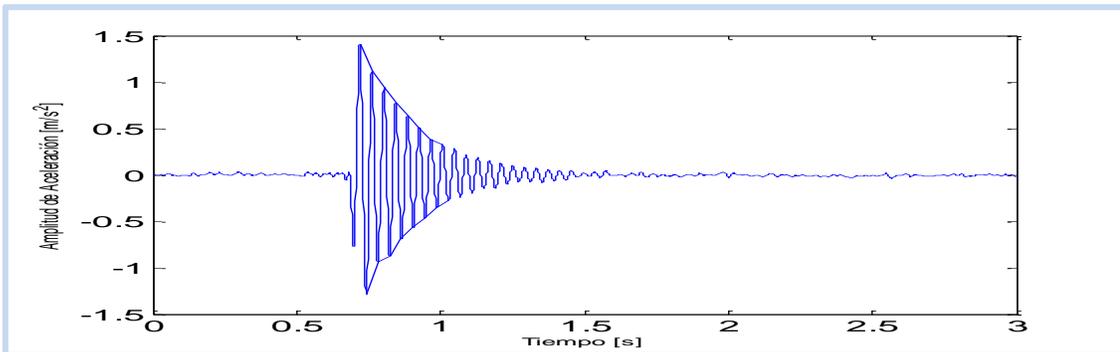


Figura B36: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 2

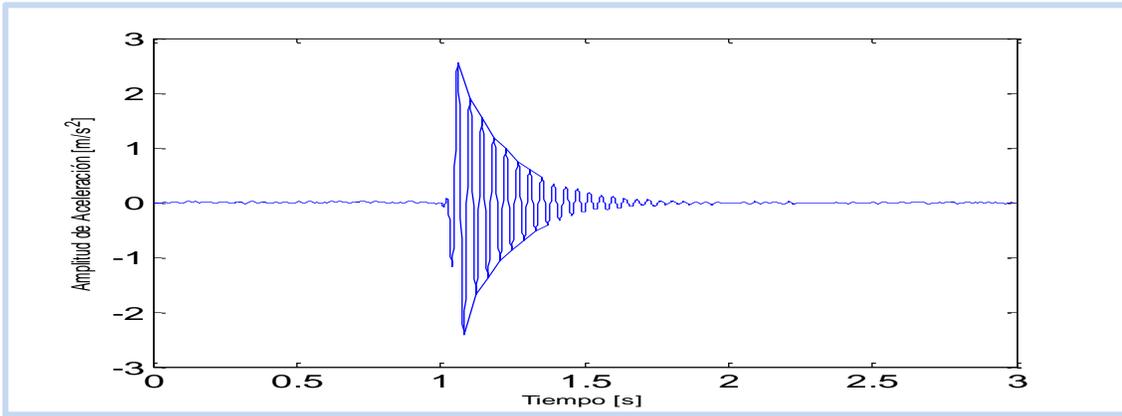


Figura B37: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 3

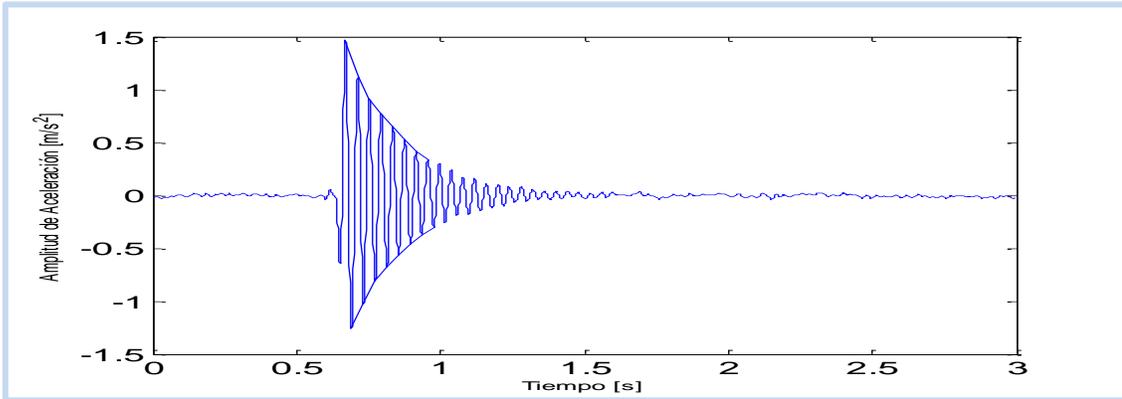


Figura B38: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 4

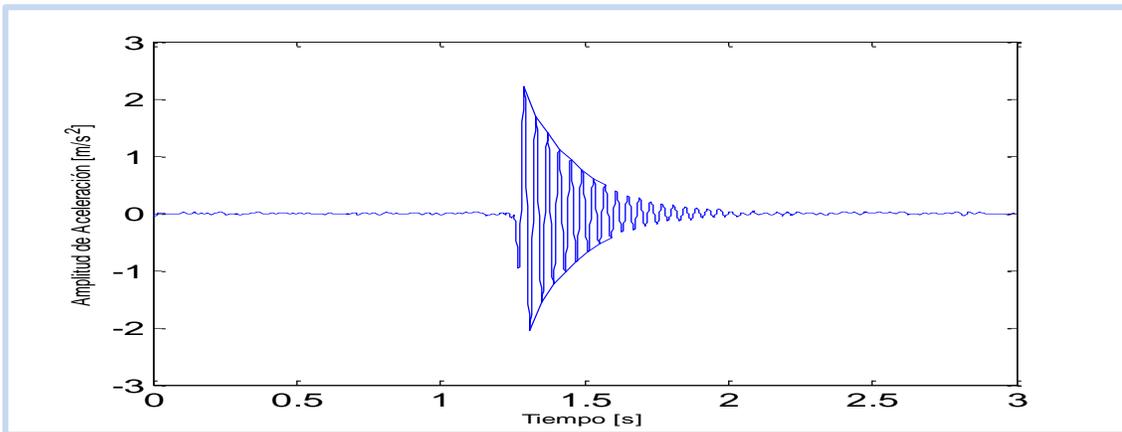


Figura B39: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 5

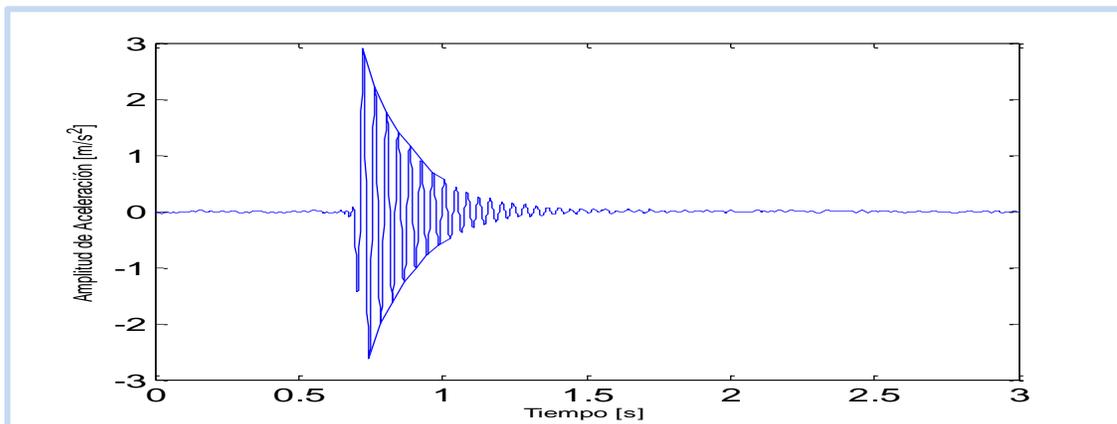


Figura B40: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 6

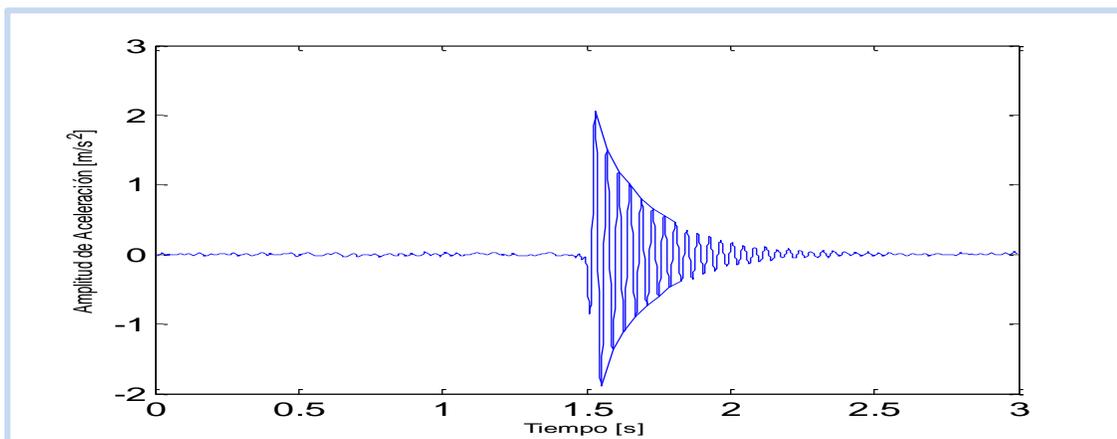


Figura B41: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 7

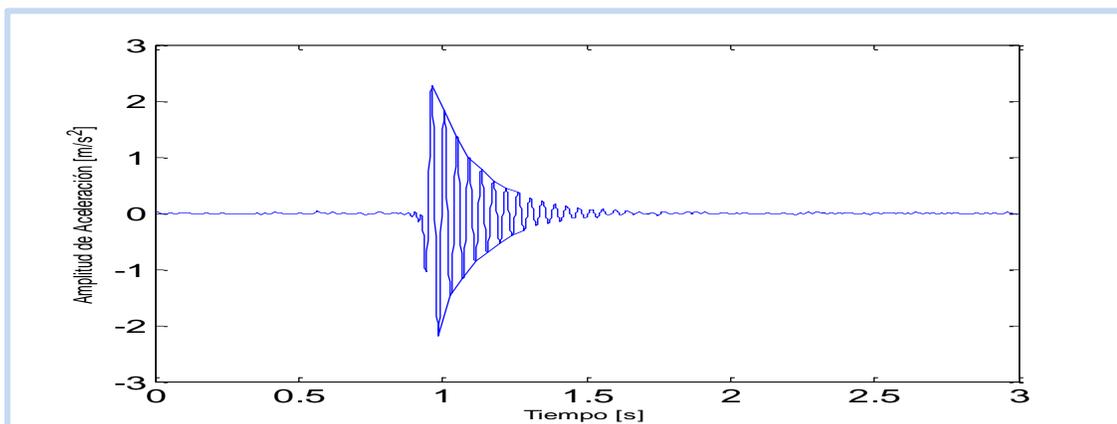


Figura B42: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 8

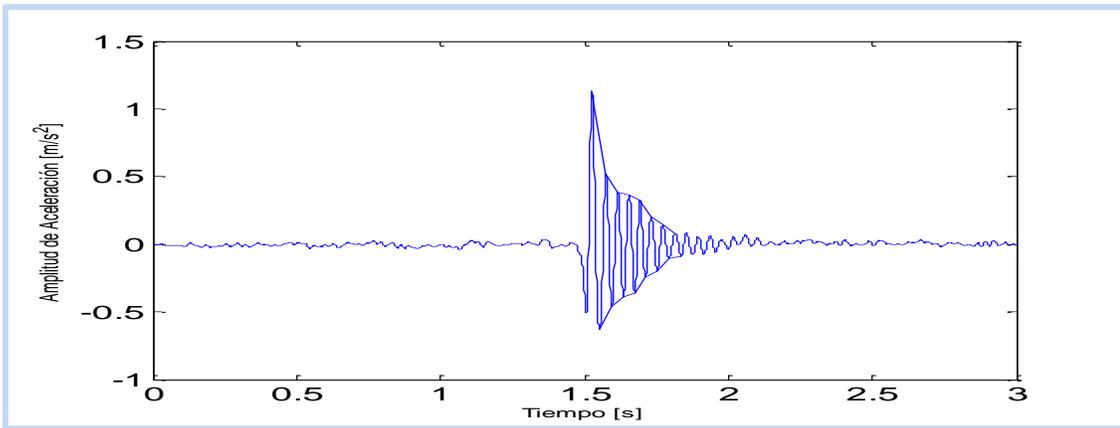


Figura B43: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 9

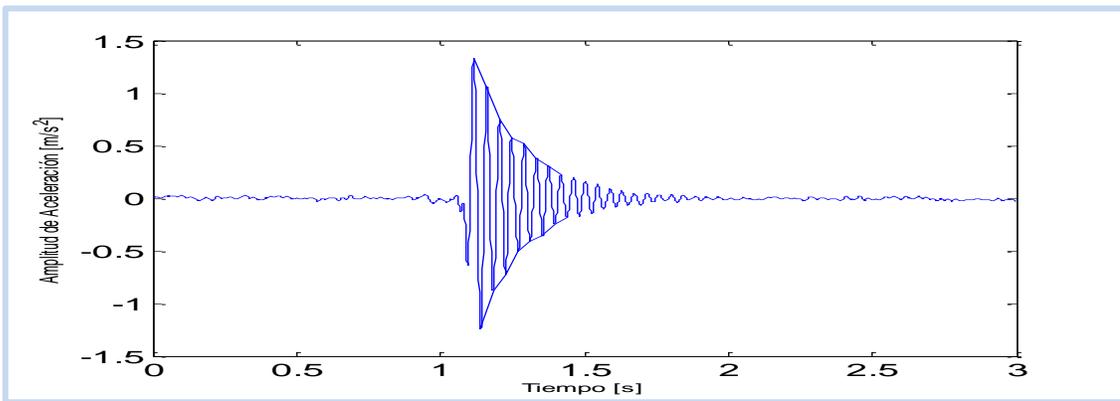


Figura B44: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 10

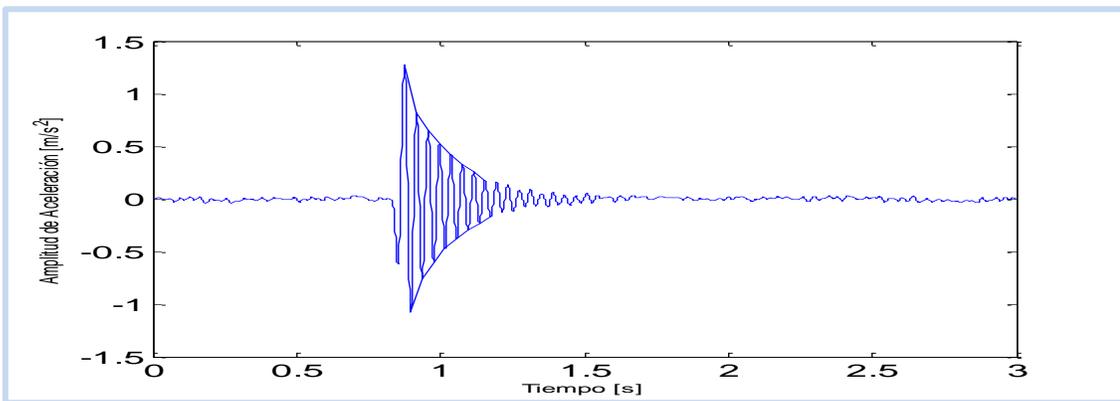


Figura B45: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 11

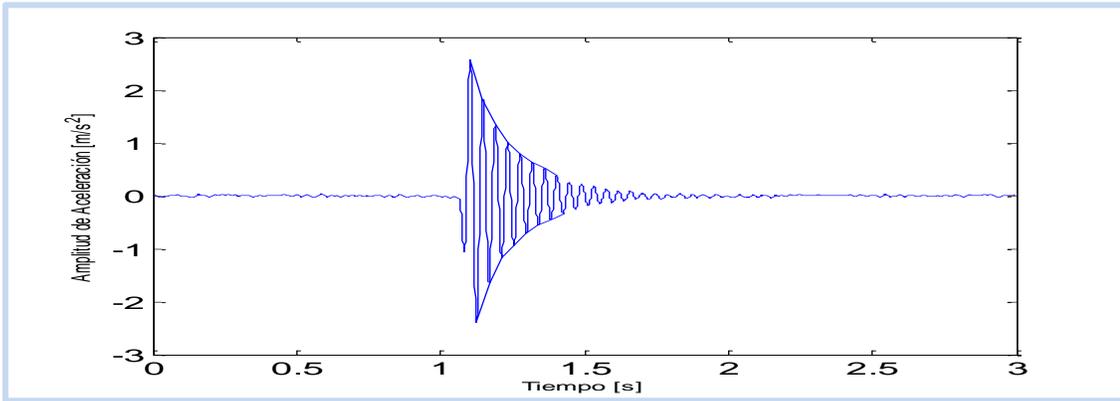


Figura B46: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

Casa 12

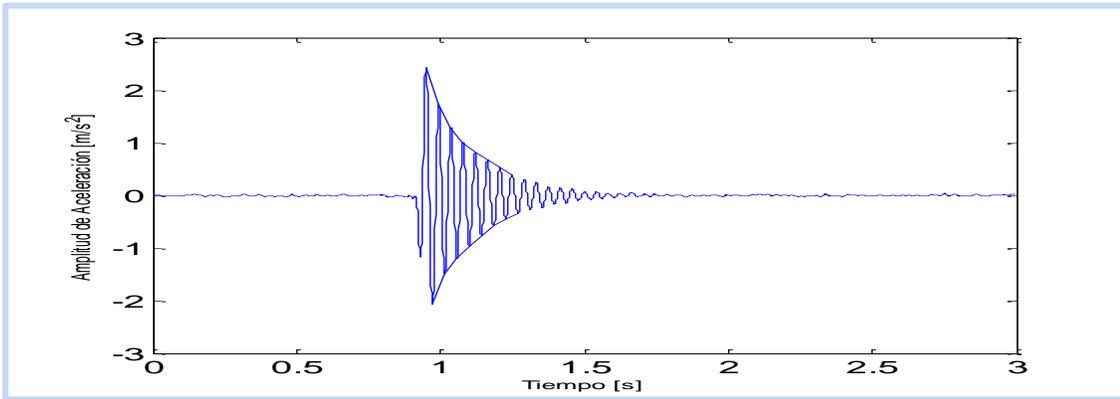


Figura B47: Datos obtenidos en el dominio del tiempo

ANEXO C: ANALISIS ESTADISTICO

Para realizar el análisis estadístico de los valores obtenidos de propiedades dinámicas, se sigue el procedimiento que se muestra a continuación:

1. Frecuencia de Vibración Vertical Fundamental

Viviendas Modelo A: Para llevar a cabo el análisis estadístico se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para determinar la existencia de una distribución normal en la diferencia de los datos, como se muestra en la tabla C1.

Tabla C1: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		FFT	FRF	diferencia
N		15	15	15
Parámetros normales ^{a,b}	Media	27,7673	27,7413	,0260
	Desviación típica	1,82597	1,86876	,33613
Diferencias más extremas	Absoluta	,168	,155	,143
	Positiva	,134	,086	,119
	Negativa	-,168	-,155	-,143
Z de Kolmogorov-Smirnov		,651	,600	,556
Sig. asintót. (bilateral)		,791	,864	,917

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos del peak de la amplitud de FFT y el peak de la parte imaginaria de FRF.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,917 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas. Como se muestra en la Tabla C2.

Tabla C2: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación tip.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 FFT - FRF	,02600	,33613	,08679	-,16014	,21214	,300	14	,769

La tabla C2 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale 0,769 > 0,05. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de frecuencias para el modelo A.

Viviendas Modelo B: Se lleva a cabo la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para determinar la existencia de probabilidad normal en la diferencia de los métodos de determinación de f_n .

Tabla C3: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		FFT	FRF	dif
N		20	20	20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	25,9395	25,8425	,0970
	Desviación típica	1,42170	1,46259	,30776
Diferencias más extremas	Absoluta	,281	,309	,221
	Positiva	,281	,309	,221
	Negativa	-,141	-,134	-,130
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,257	1,383	,989
Sig. asintót. (bilateral)		,085	,044	,282

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos del peak de la amplitud de FFT y el peak de la parte imaginaria de FRF para el modelo B de viviendas.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,282 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Tabla C4: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par 1 FFT - FRF	,09700	,30776	,06882	-,04704	,24104	1,410	19	,175

La tabla C4 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale 0,175 > 0,05. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de frecuencias para el modelo B.

Viviendas Modelo C: Para el análisis estadístico se lleva a cabo la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov para determinar la si existe tendencia a la normalidad en la diferencia de los métodos de determinación de f_n .

Tabla C5: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		FFT	FRF	dif
N		12	12	12
Parámetros normales ^{a,b}	Media	24,2708	24,2117	,0592
	Desviación típica	,73322	,81525	,25738
Diferencias más extremas	Absoluta	,159	,156	,242
	Positiva	,123	,125	,240
	Negativa	-,159	-,156	-,242
Z de Kolmogorov-Smirnov		,549	,542	,840
Sig. asintót. (bilateral)		,923	,931	,481

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos del peak de la amplitud de FFT y el peak de la parte imaginaria de FRF para el modelo C de viviendas.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,481 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Tabla C6: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
Par1 FFT - FRF	,05917	,25738	,07430	-,10437	,22270	,796	11	,443

La tabla C6 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale 0,443>0,05. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de frecuencias para el modelo C.

2. Valor de Razón de Amortiguamiento

Viviendas Modelo A: Para llevar a cabo el análisis de probabilidad Normal en la diferencia de los métodos de determinación de razón de amortiguamiento, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov descrita en la tabla C7.

Tabla C7: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		decaim	anchob	dif
N		15	15	15
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0541	,0578	-,0037
	Desviación típica	,01364	,01842	,00953
Diferencias más extremas	Absoluta	,171	,366	,164
	Positiva	,165	,366	,164
	Negativa	-,171	-,171	-,101
Z de Kolmogorov-Smirnov		,662	1,419	,634
Sig. asintót. (bilateral)		,773	,036	,816

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos de decaimiento de Curva y de ancho de banda para el modelo A de viviendas.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,816 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Tabla C8: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	decaim - anchob	-,00372	,00953	,00246	-,00900	,00156	-1,512	14	,153

La tabla C8 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale 0,153 > 0,05. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de razón de amortiguamiento para el modelo A.

Viviendas Modelo B: Para llevar a cabo el análisis de probabilidad Normal en la diferencia de los métodos de determinación de razón de amortiguamiento, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov descrita en la tabla C9.

Tabla C9: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		decaim	anchob	dif
N		20	20	20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0330	,0345	-,0015
	Desviación típica	,00458	,00555	,00381
Diferencias más extremas	Absoluta	,141	,172	,139
	Positiva	,141	,172	,129
	Negativa	-,121	-,104	-,139
Z de Kolmogorov-Smirnov		,629	,769	,623
Sig. asintót. (bilateral)		,824	,596	,832

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos de decaimiento de Curva y de ancho de banda para el modelo B de viviendas.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,832 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Tabla C10: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación típ.	Error típ. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	decaim - anchob	-,00153	,00381	,00085	-,00331	,00025	-1,797	19	,088

La tabla C10 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale $0,088 > 0,05$. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de razón de amortiguamiento para el modelo B.

Viviendas Modelo C: Para llevar a cabo el análisis de probabilidad Normal en la diferencia de los métodos de determinación de razón de amortiguamiento, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov descrita en la tabla C11.

Tabla C11: Prueba de Kolmogorov-Smirnov

		decaim	anchob	dif
N		12	12	12
Parámetros normales ^{a,b}	Media	,0394	,0392	,000250
	Desviación típica	,00721	,00471	,0057247
Diferencias más extremas	Absoluta	,283	,155	,247
	Positiva	,283	,110	,247
	Negativa	-,157	-,155	-,202
Z de Kolmogorov-Smirnov		,981	,537	,855
Sig. asintót. (bilateral)		,291	,935	,457

En esta tabla se muestran las diferencias existentes entre los métodos de decaimiento de Curva y de ancho de banda para el modelo C de viviendas.

Esta prueba determina que a partir de los datos los métodos poseen una distribución con tendencia normal, dado que se obtiene una significación asintótica de un 0,457 lo cual es mayor a 0,05 por ende se acepta la hipótesis.

Se considera la presencia de una distribución normal de valores y la utilización de la prueba t de Student para muestras relacionadas.

Tabla C12: Prueba t de Student para Muestras Relacionadas

		Diferencias relacionadas				t	gl	Sig. (bilateral)	
		Media	Desviación tip.	Error tip. de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
					Inferior				Superior
Par 1	decaim - anchob	,00025	,00572	,00165	-,00339	,00389	,151	11	,882

La tabla C12 nos muestra los valores obtenidos de la prueba t con un intervalo de confianza del 95%. Su significación o valor p que vale 0,882 > 0,05. Aceptamos la hipótesis nula de que no existen diferencias significativas entre métodos de determinación de razón de amortiguamiento para el modelo C.

ANEXO D: METODOS DE OBTENCION DE f_n

Se muestran las gráficas que se analizaron para la obtención de los métodos de determinación de frecuencia vertical fundamental.

1. Método de obtención a través del peak de la transformada rápida de Fourier

❖ Viviendas modelos A

Casa 1

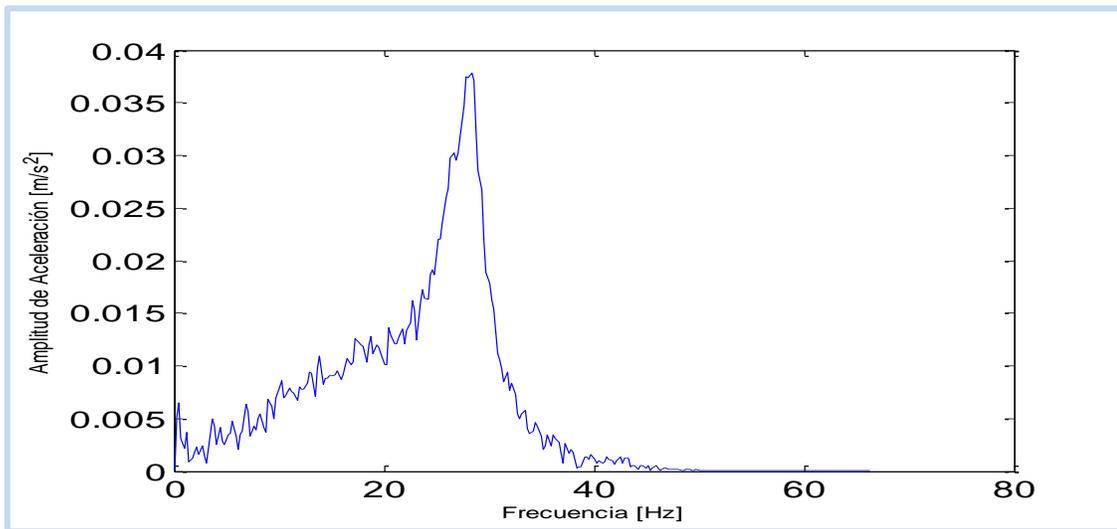


Figura D1: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 2

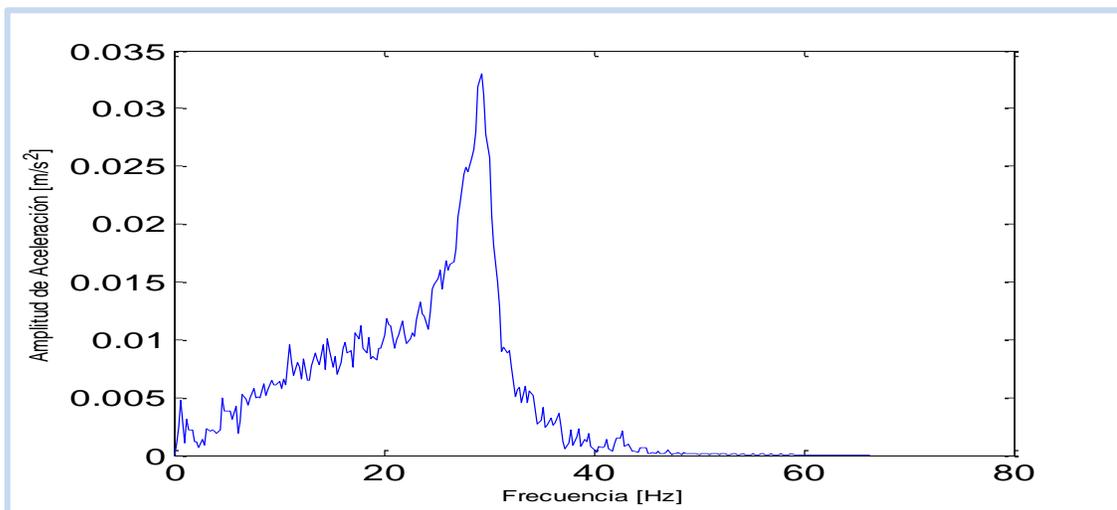


Figura D2: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 3

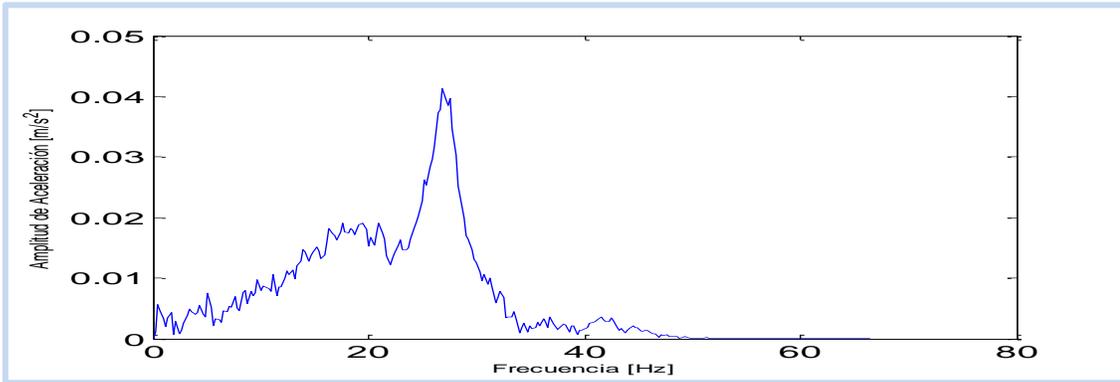


Figura D3: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 4

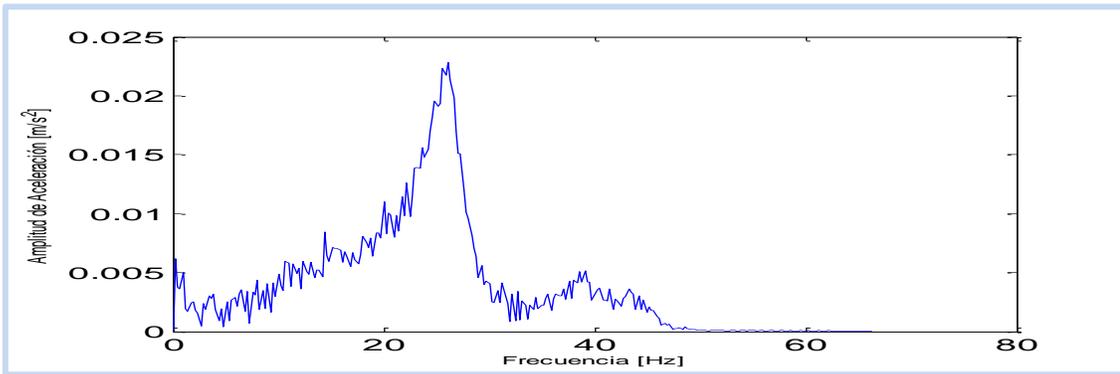


Figura D4: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 5

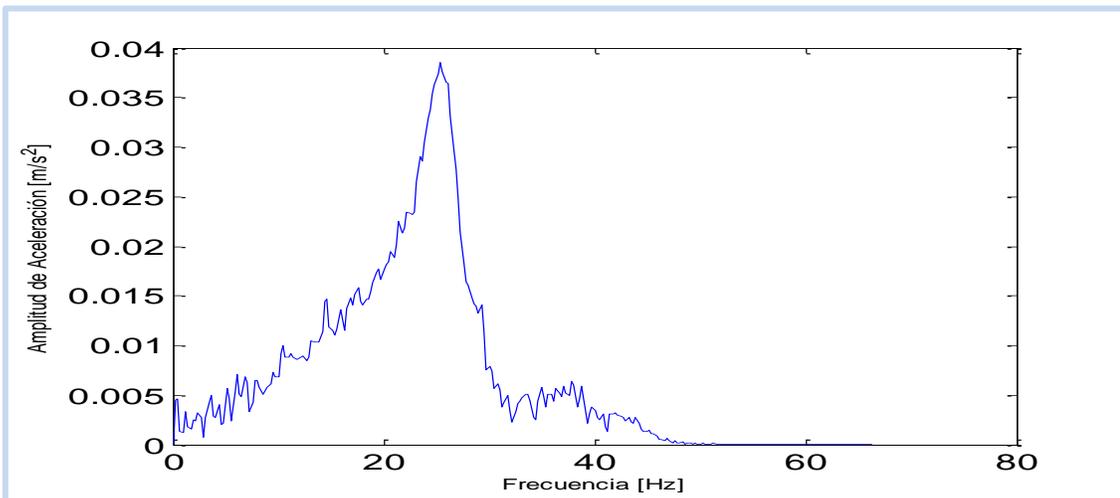


Figura D5: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 6

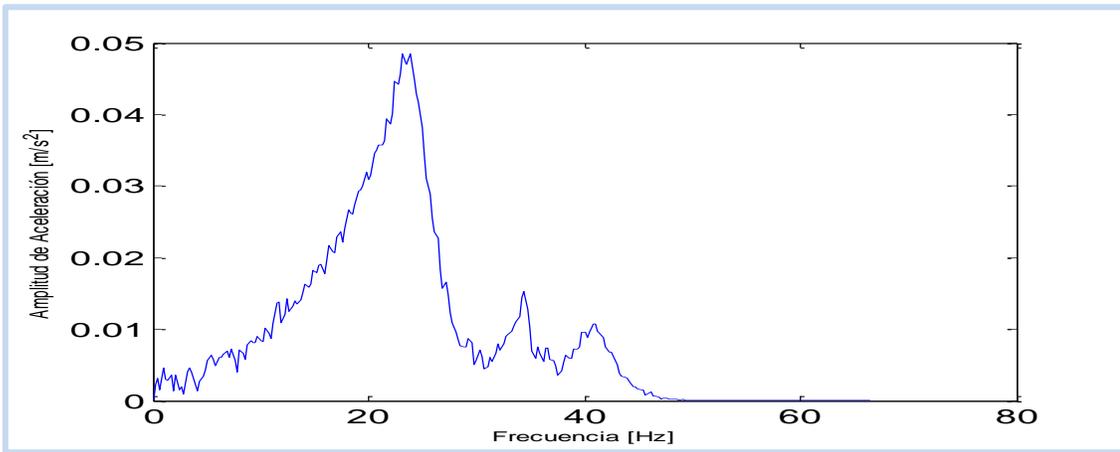


Figura D6: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 7

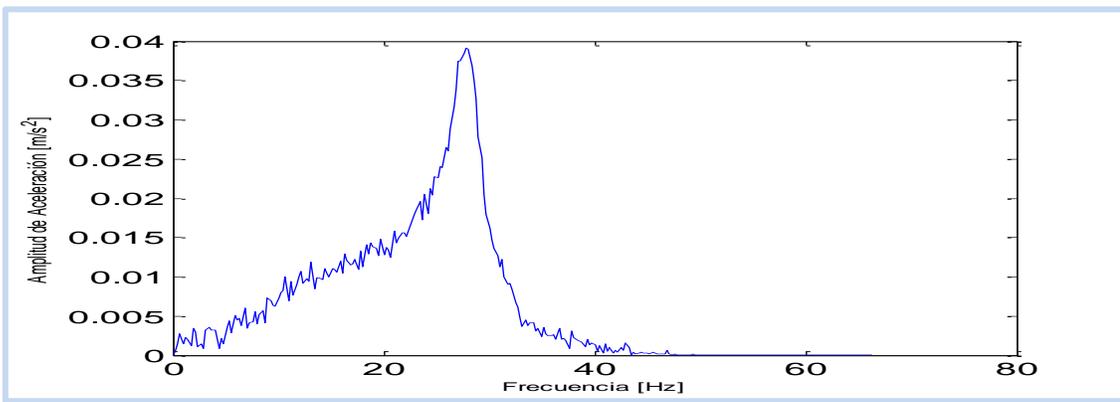


Figura D7: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 8

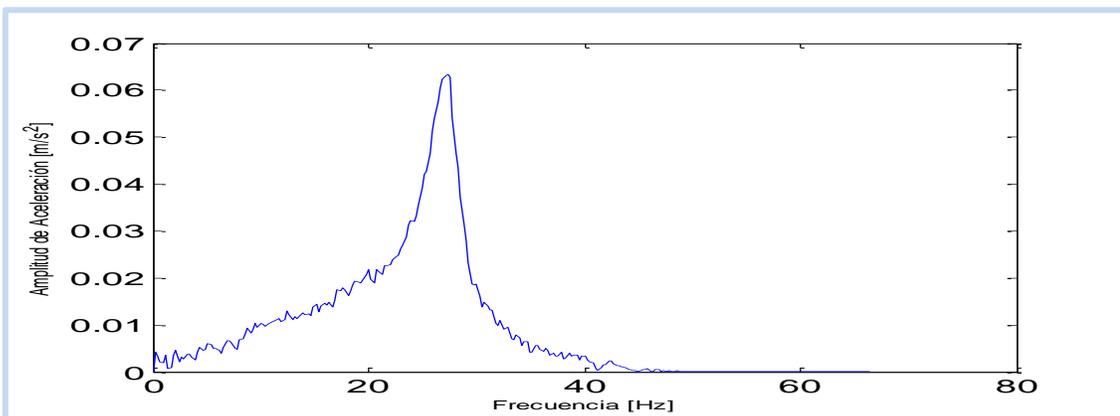


Figura D8: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 9

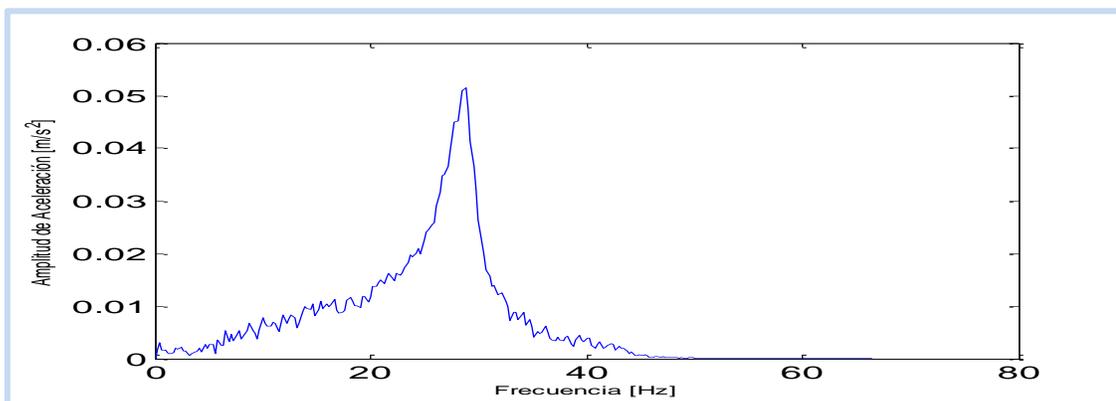


Figura D9: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 10

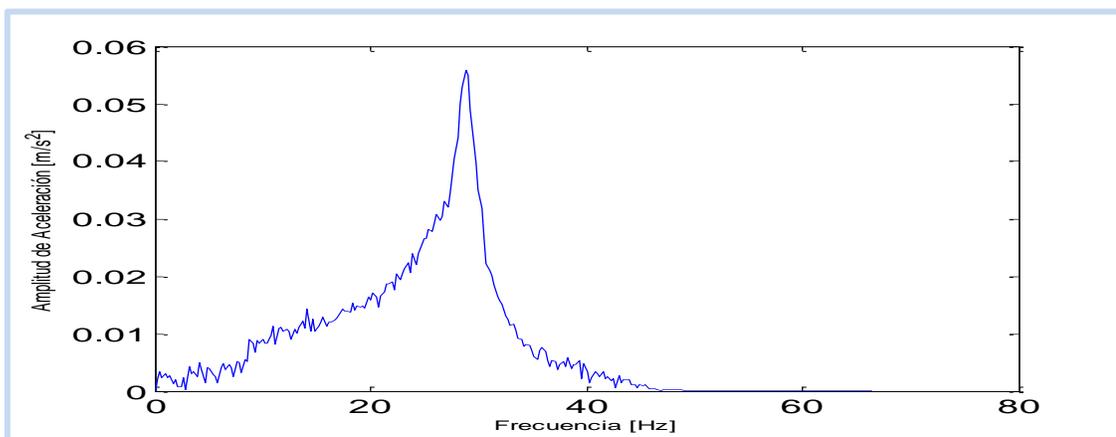


Figura D10: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 11

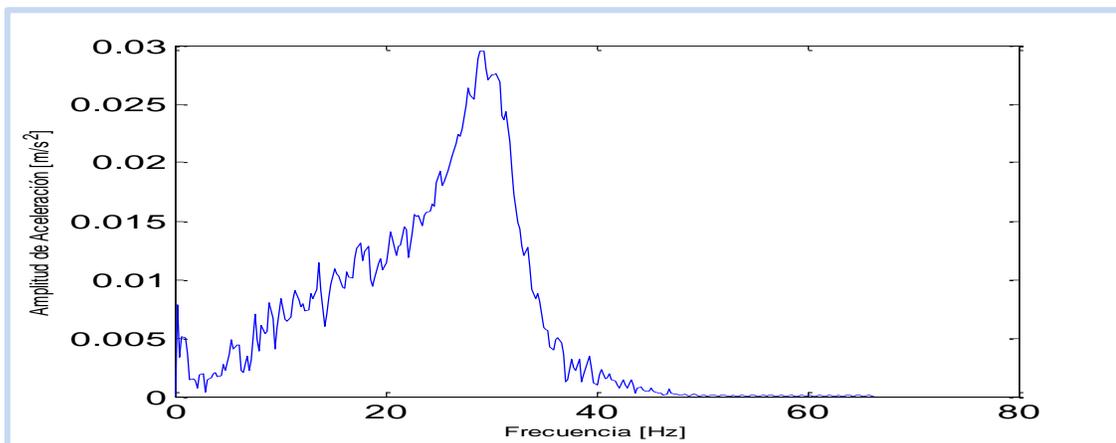


Figura D11: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 12

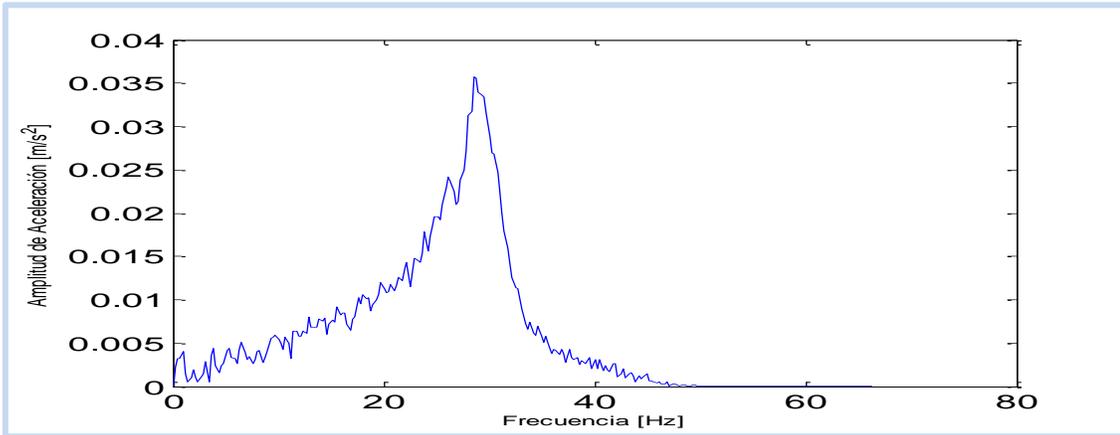


Figura D12: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 13

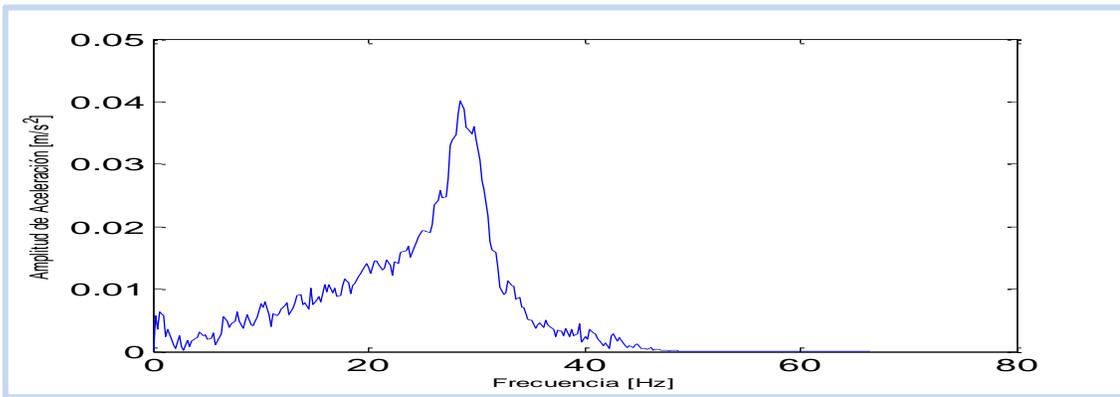


Figura D13: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 14

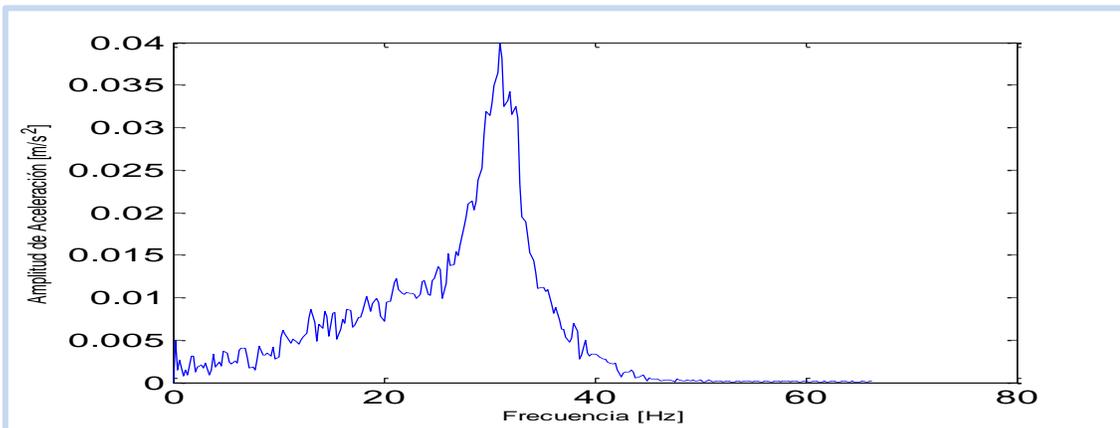


Figura D14: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 15

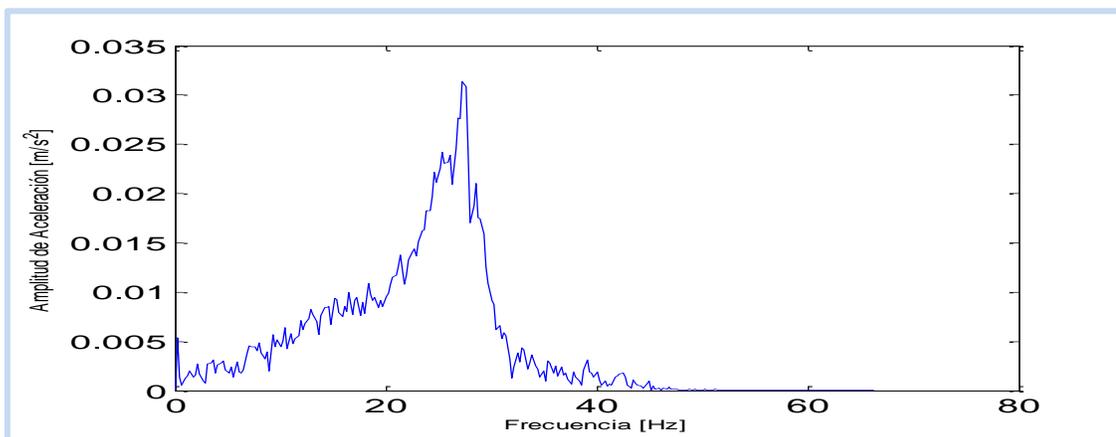


Figura D15: gráfica de la transformada rápida de Fourier

❖ Vivienda Modelo B

Casa 1

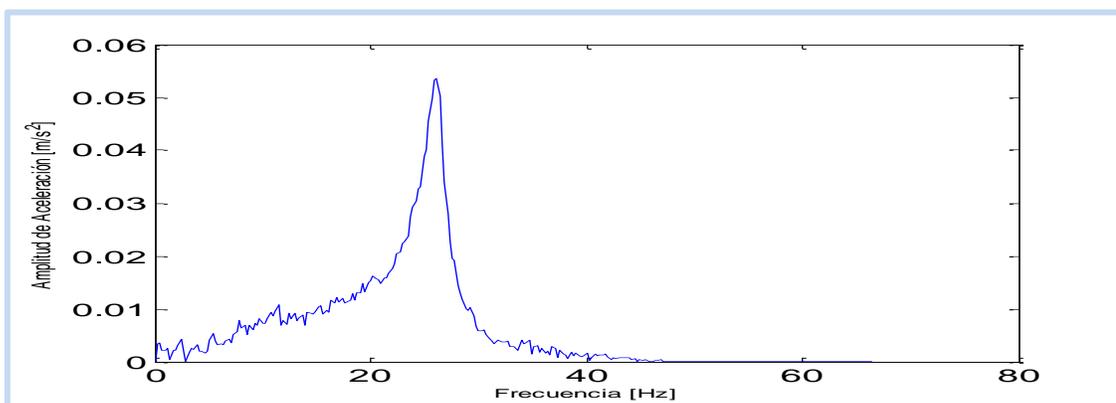


Figura D16: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 2

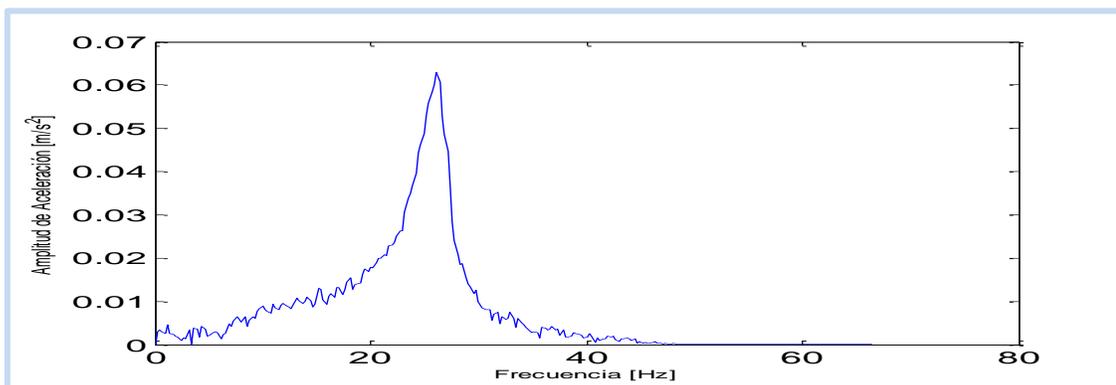


Figura D17: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 3

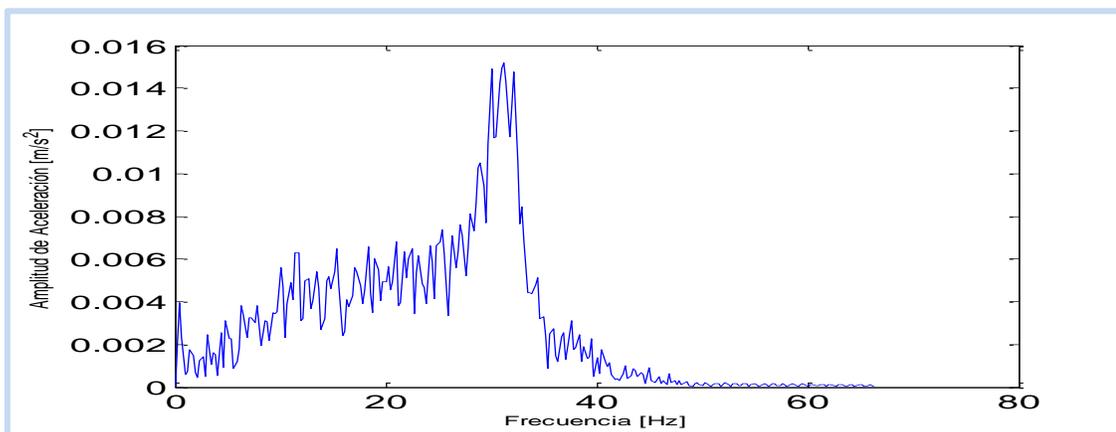


Figura D18: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 4

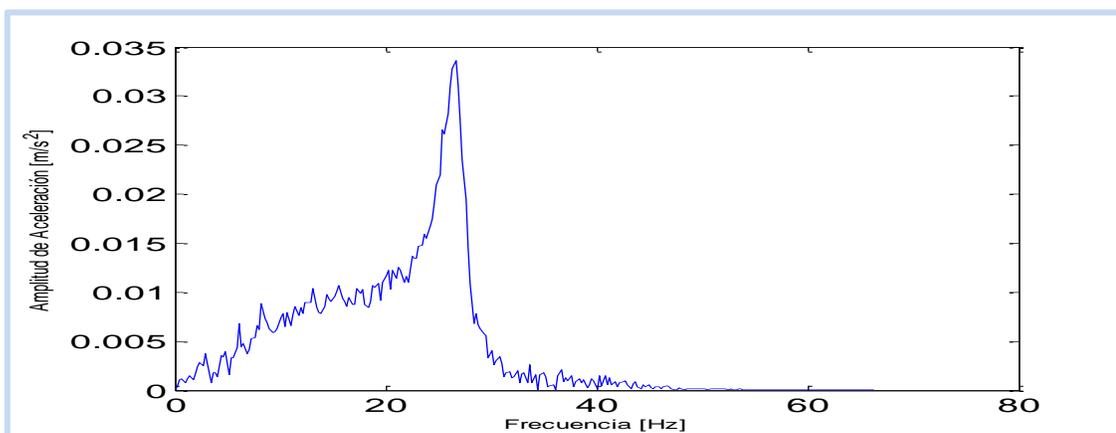


Figura D19: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 5

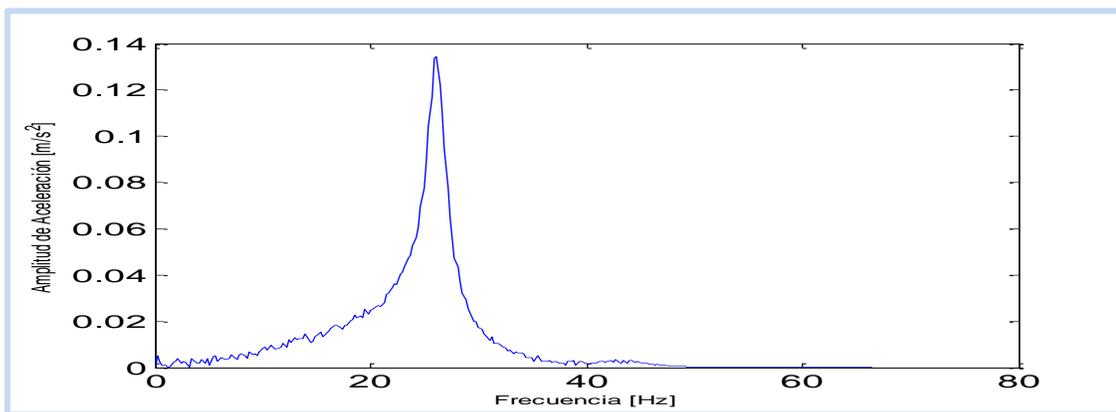


Figura D20: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 6

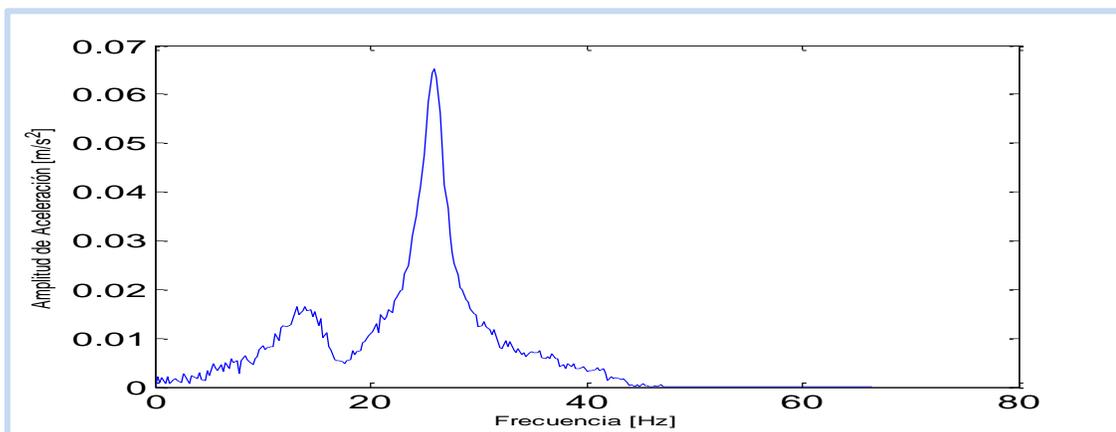


Figura D21: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 7

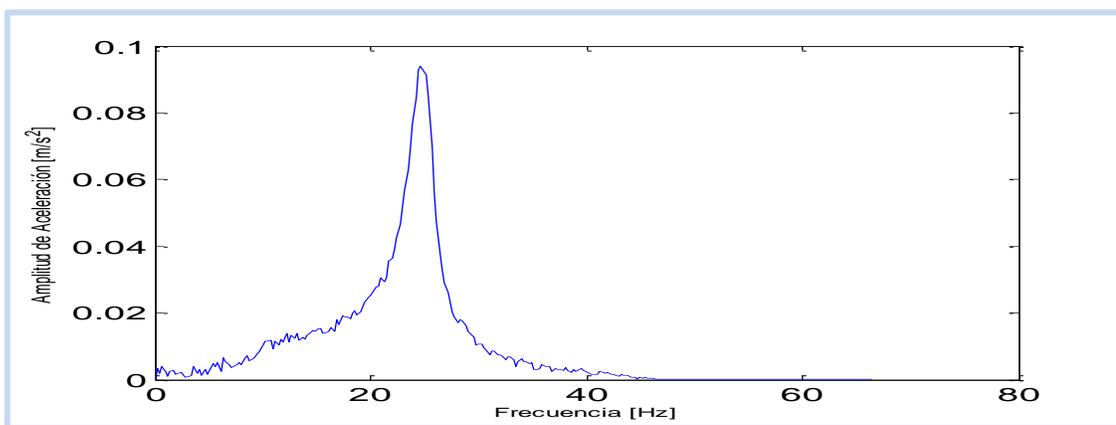


Figura D22: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 8

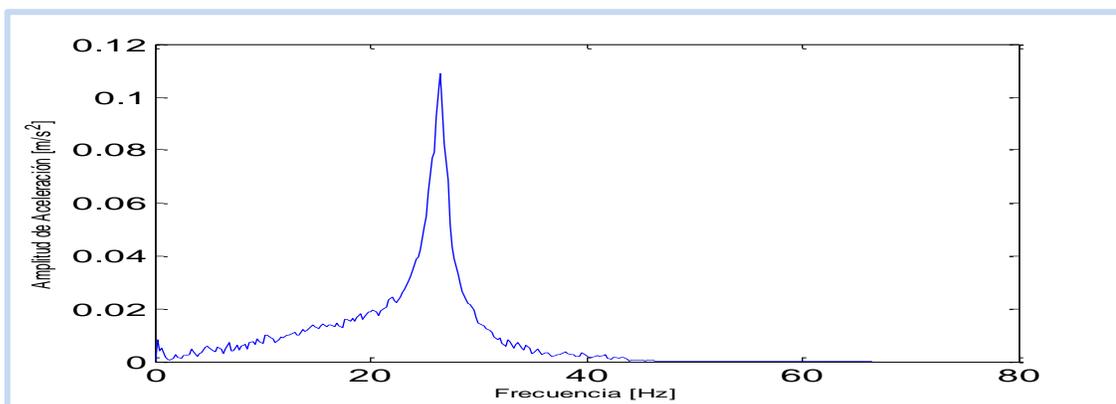


Figura D23: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 9

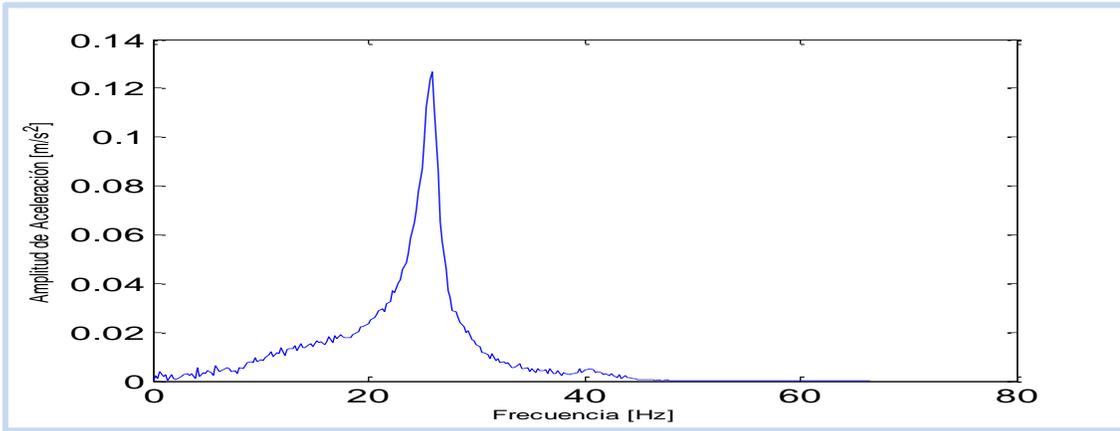


Figura D24: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 10

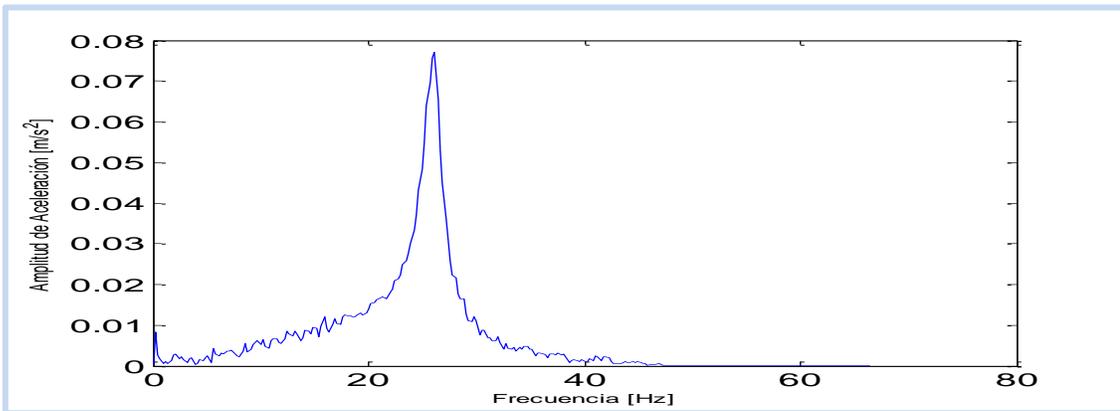


Figura D25: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 11

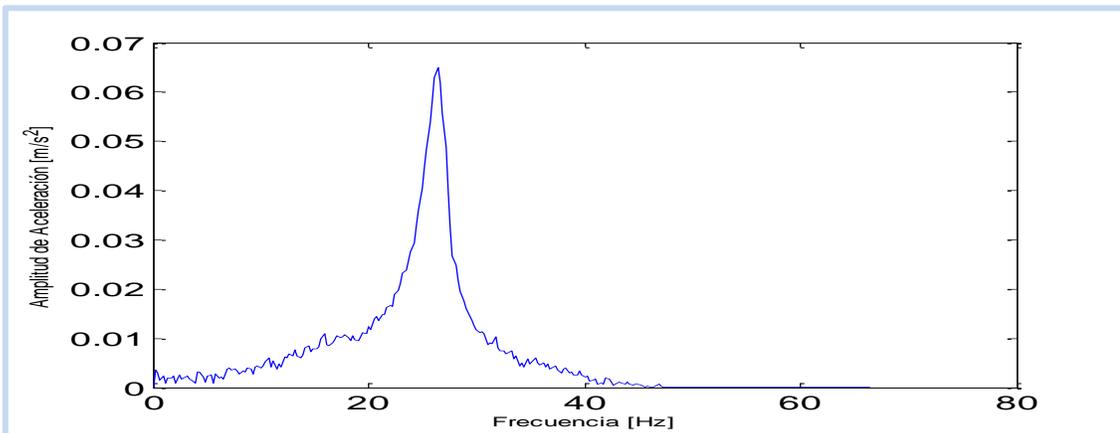


Figura D26: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 12

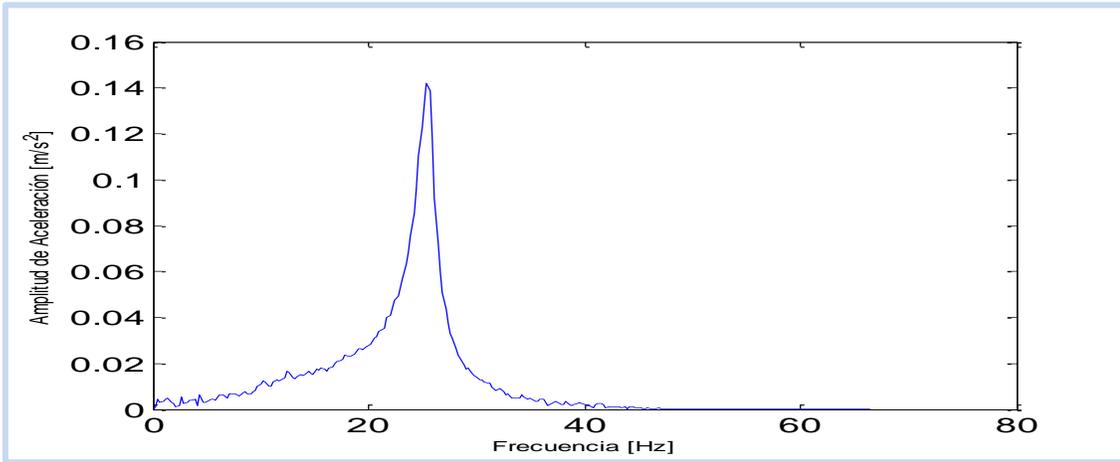


Figura D27: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 13

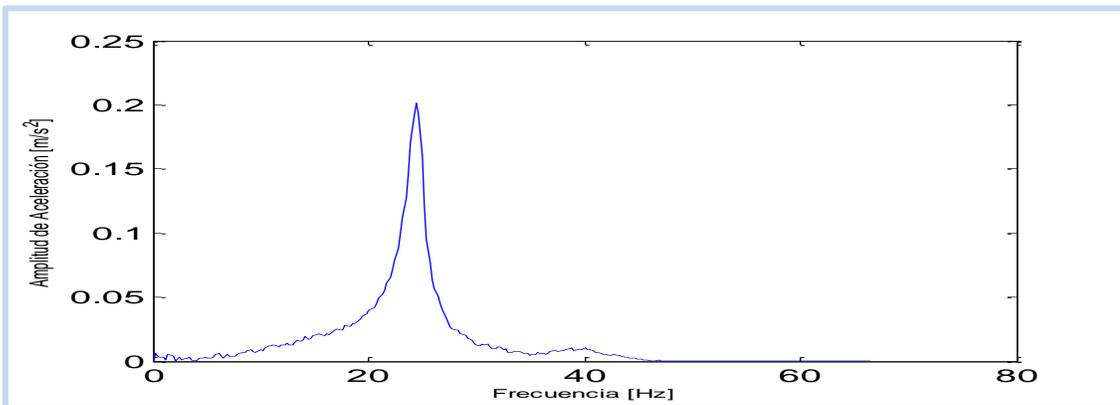


Figura D28: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 14

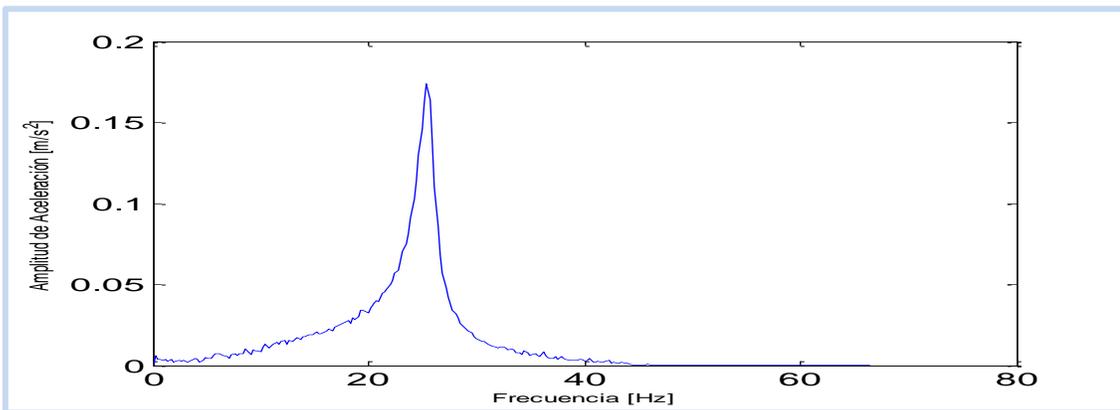


Figura D29: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 15

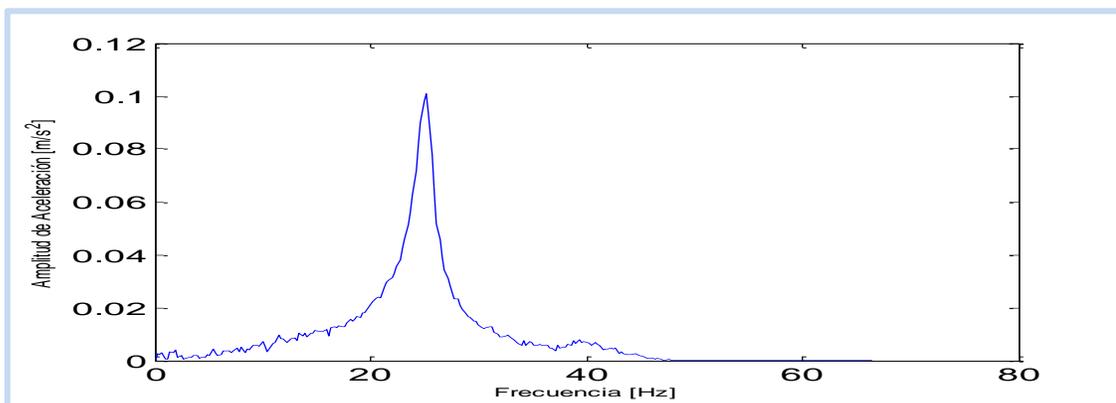


Figura D30: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 16

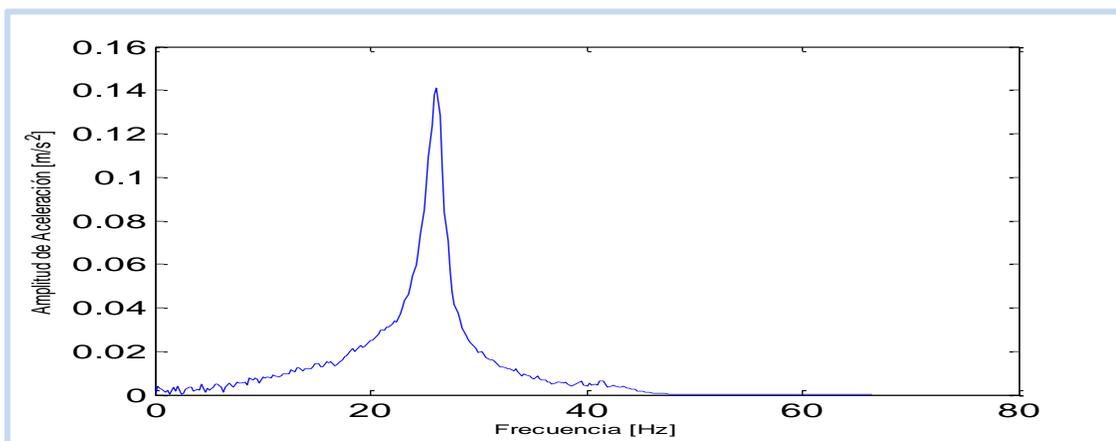


Figura D31: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 17

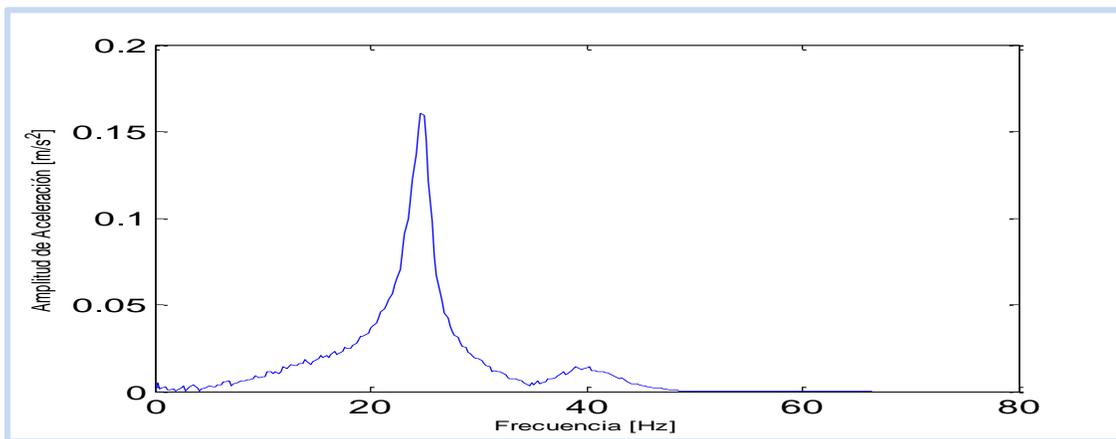


Figura D32: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 18

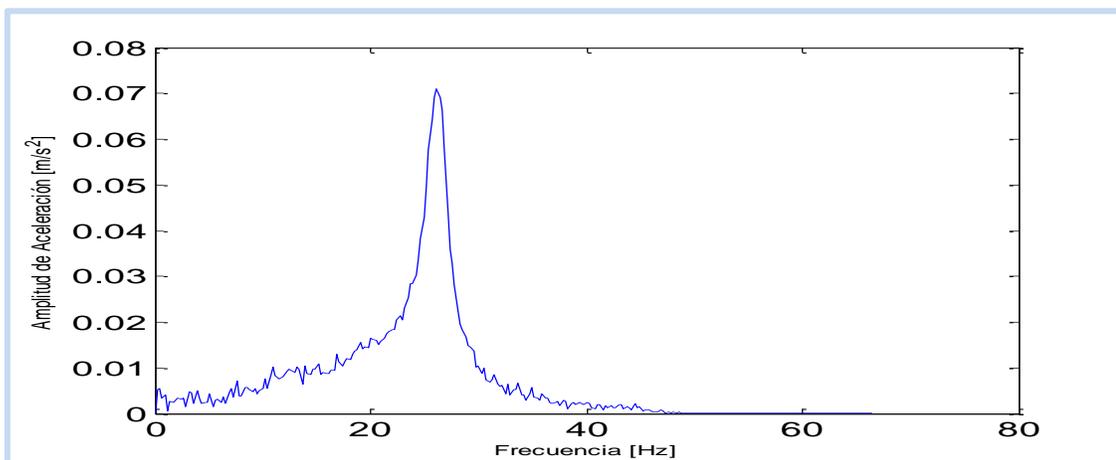


Figura D33: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 19

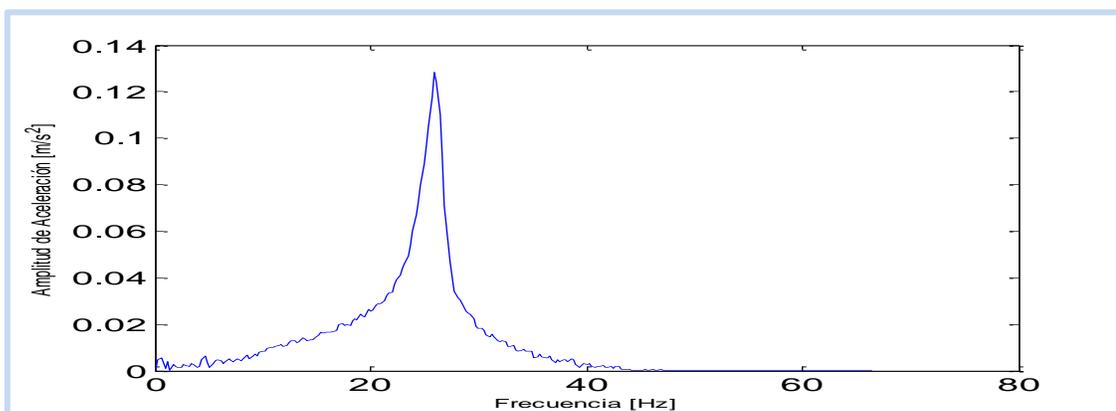


Figura D34: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 20

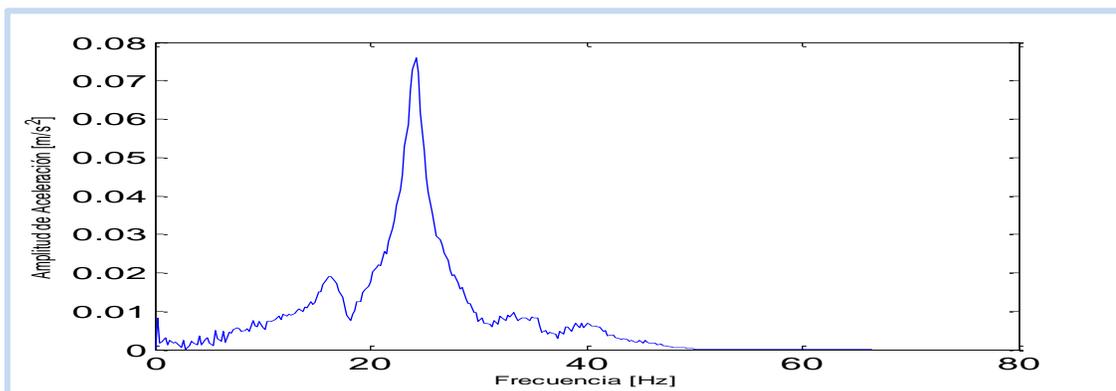


Figura D35: gráfica de la transformada rápida de Fourier

❖ Vivienda Modelo C

Casa 1

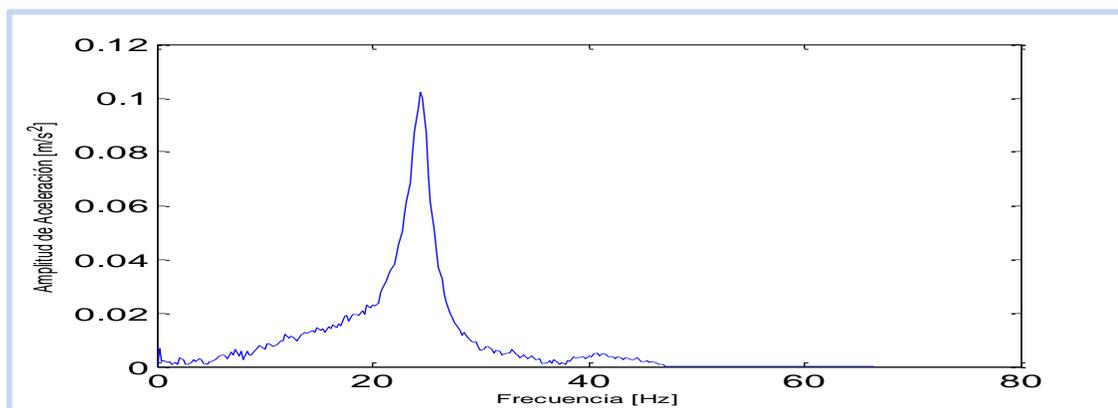


Figura D36: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 2

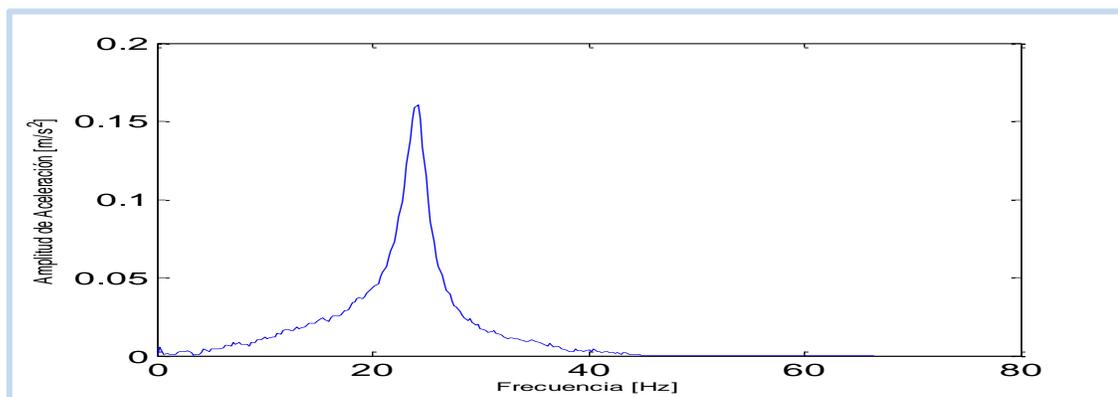


Figura D37: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 3

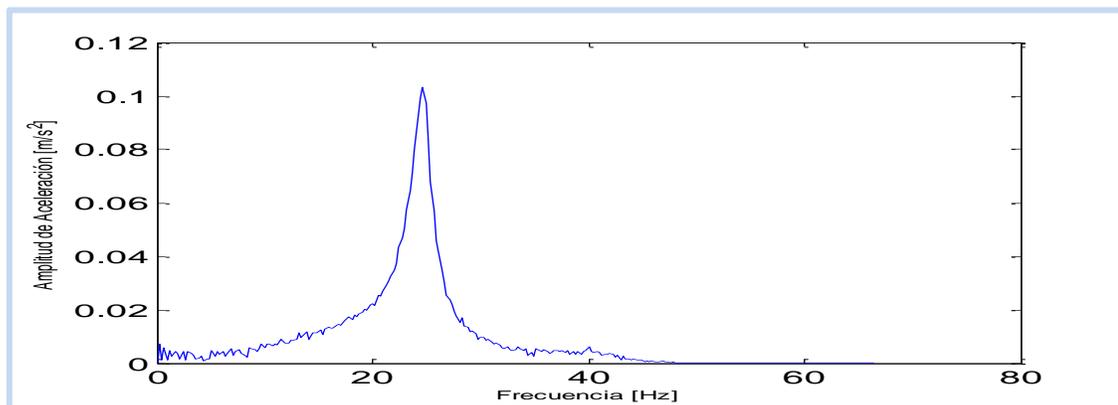


Figura D38: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 4

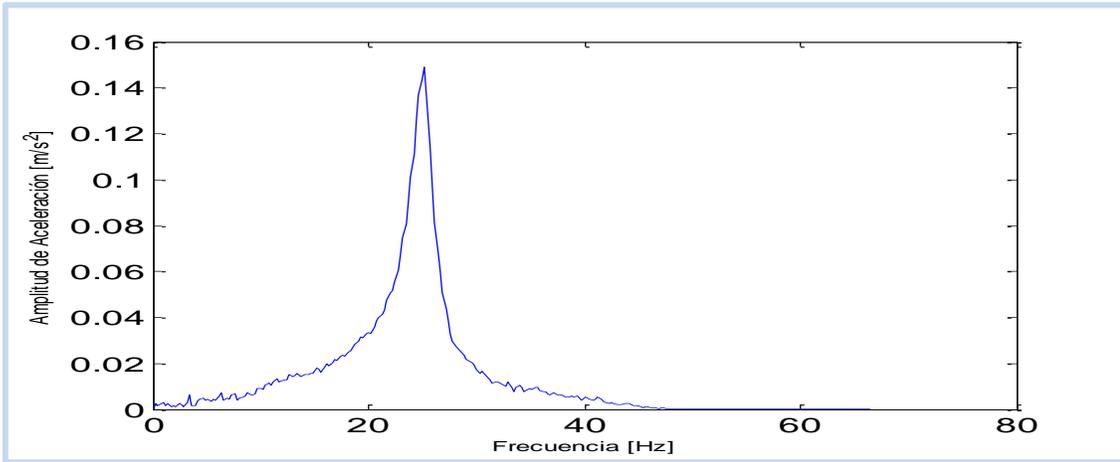


Figura D39: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 5

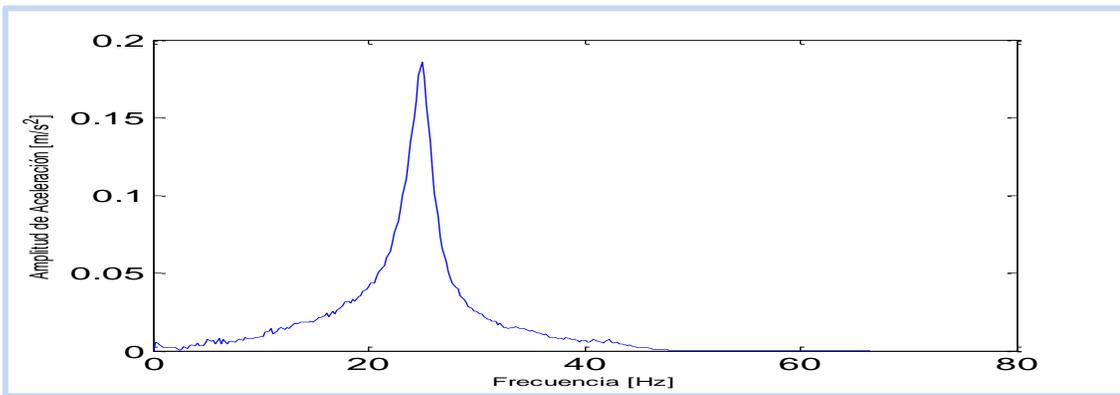


Figura D40: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 6

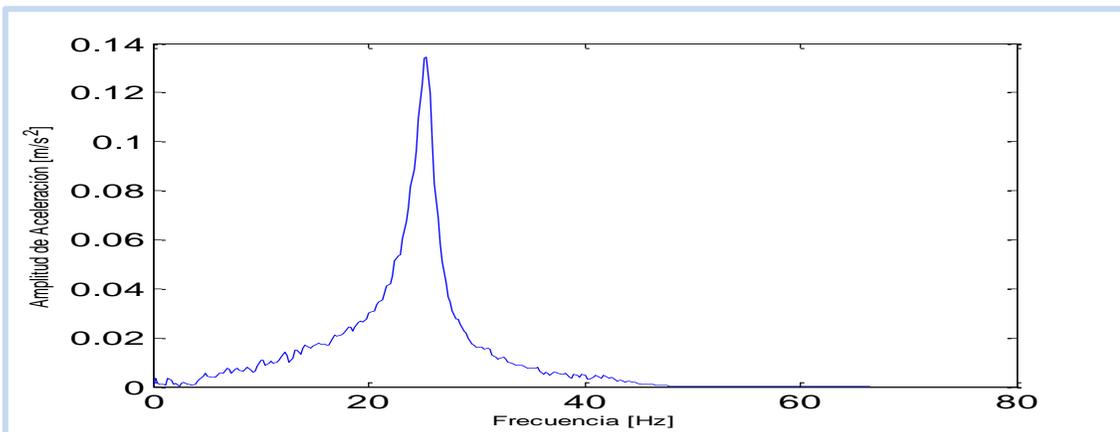


Figura D41: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 7

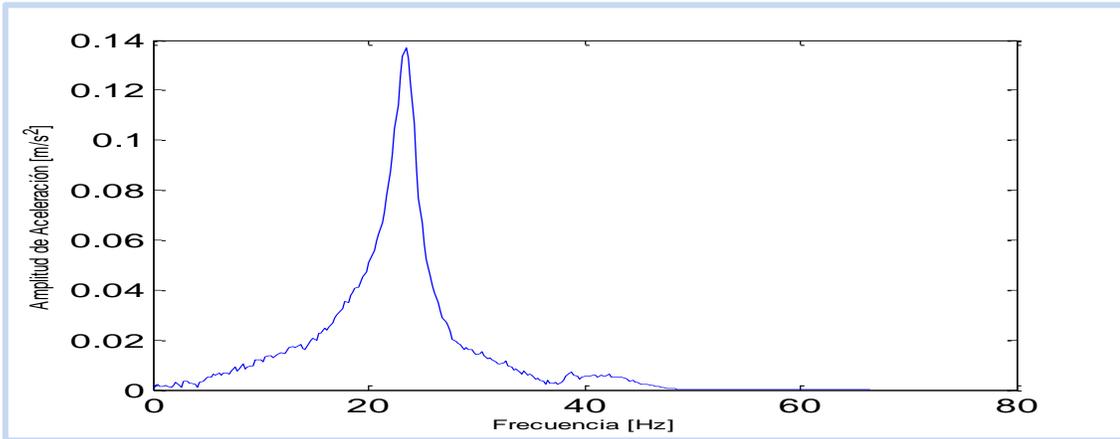


Figura D42: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 8

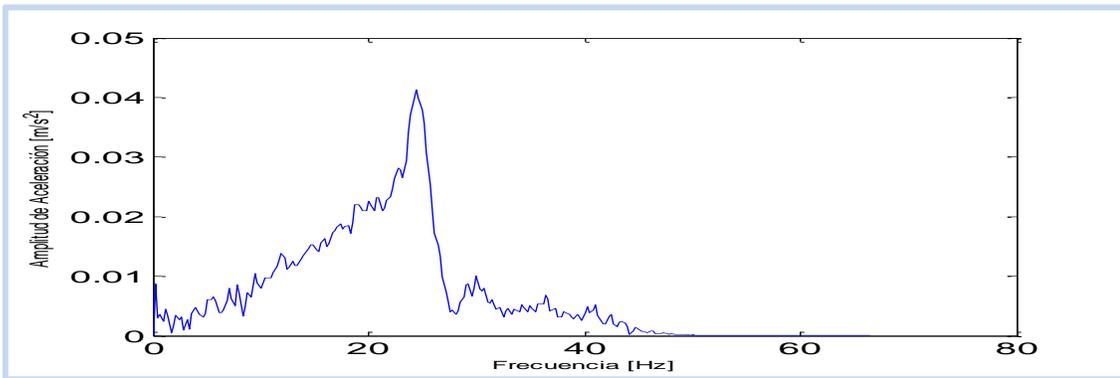


Figura D43: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 9

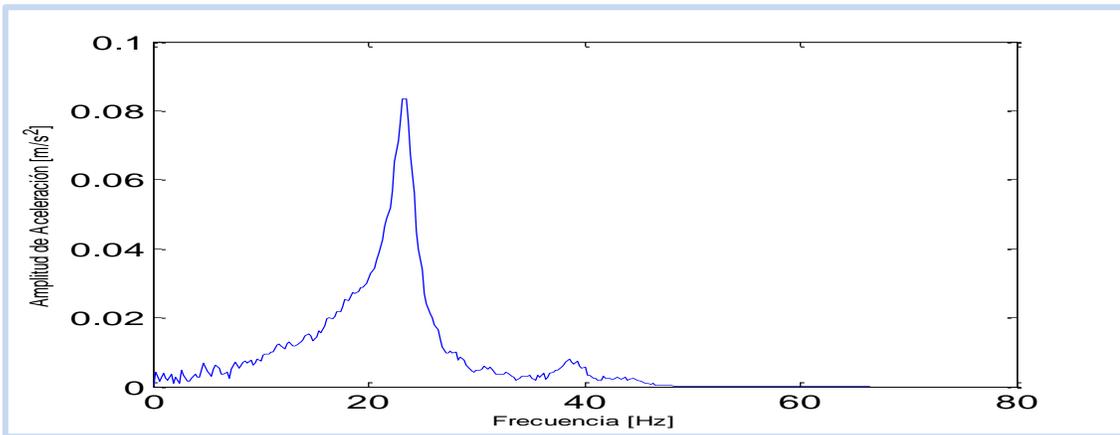


Figura D44: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 10

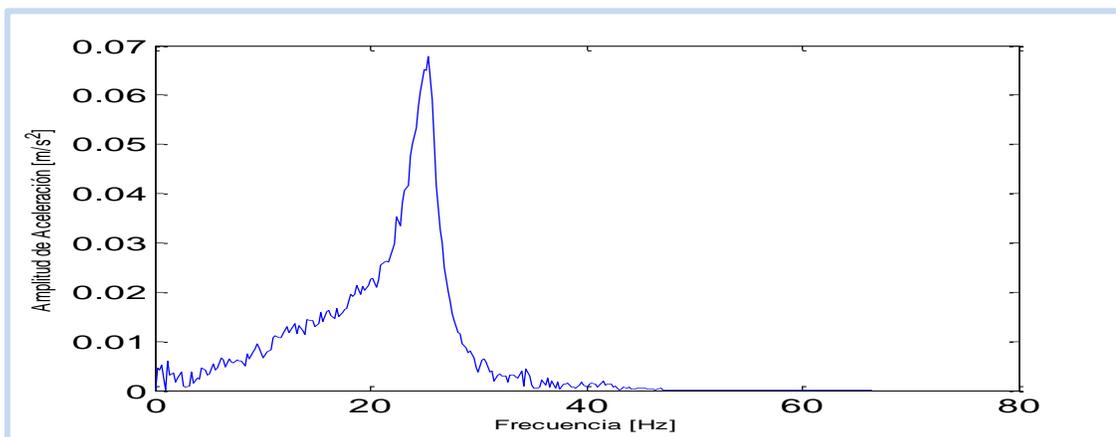


Figura D45: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 11

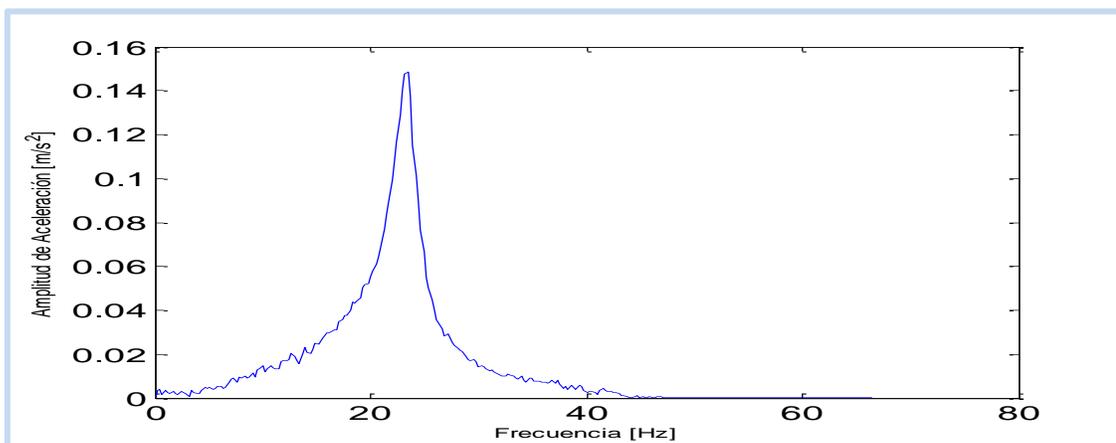


Figura D46: gráfica de la transformada rápida de Fourier

Casa 12

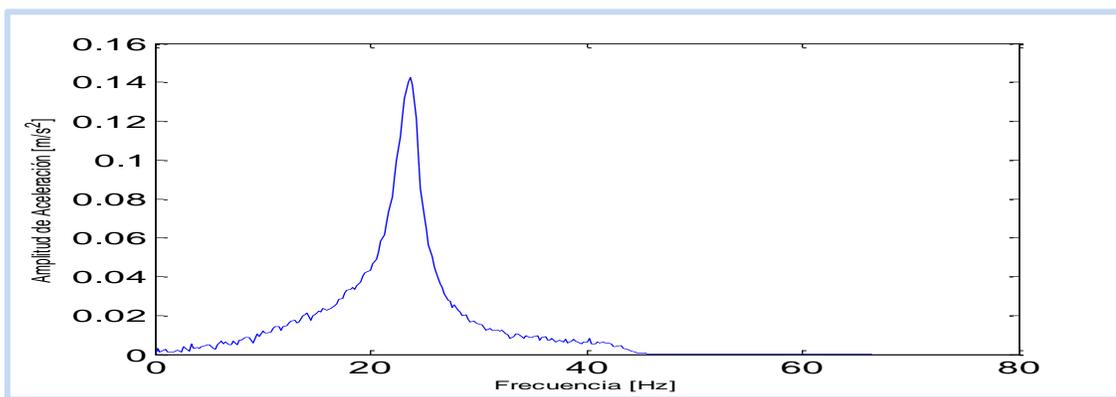


Figura D47: gráfica de la transformada rápida de Fourier

2. Método de obtención a través del peak de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia.

➤ Viviendas Modelo A

Casa 1

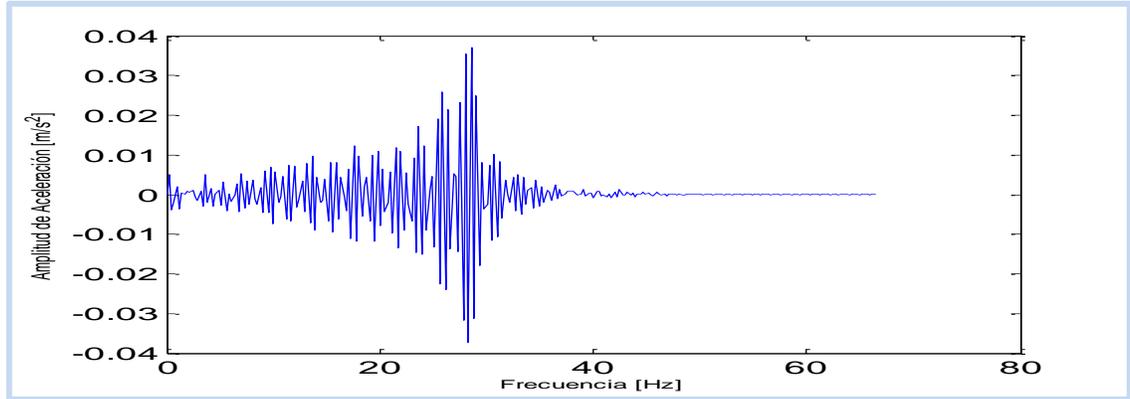


Figura D48: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 2

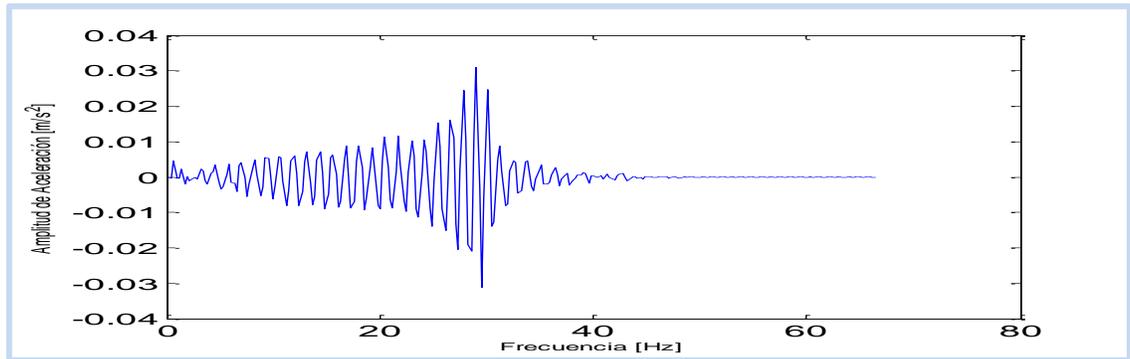


Figura D49: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 3

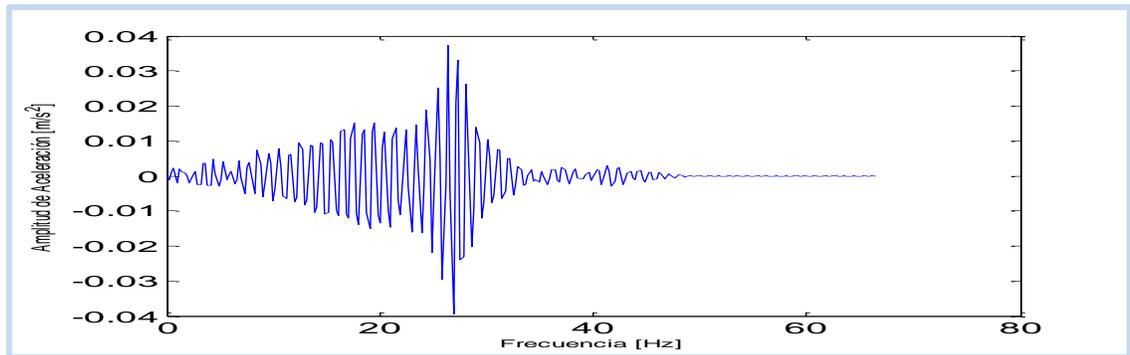


Figura D50: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 4

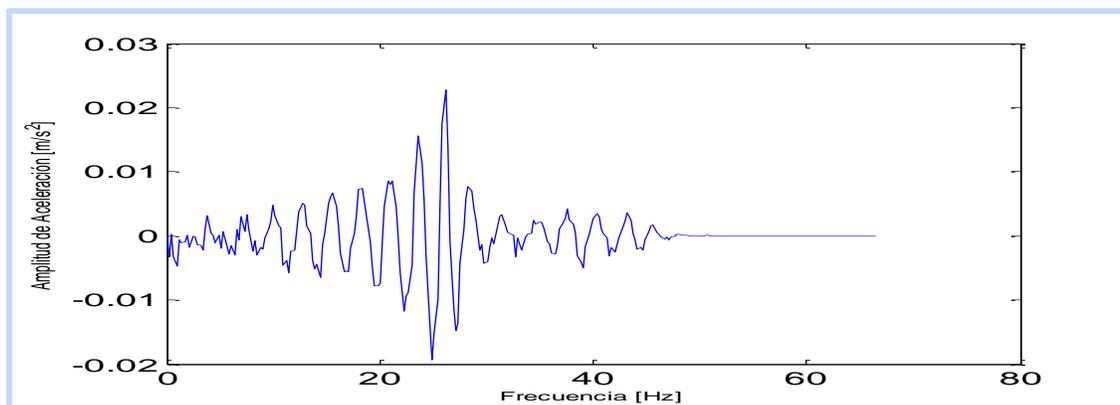


Figura D51: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 5

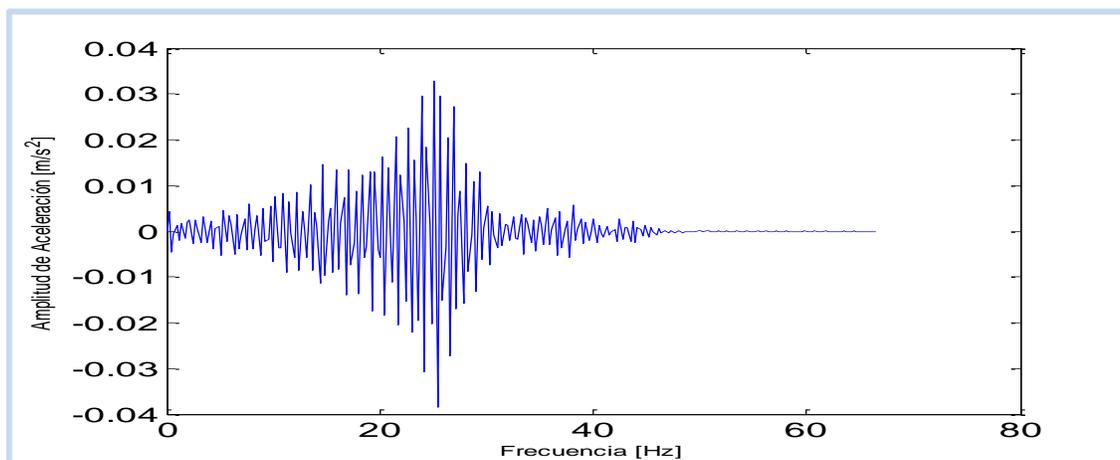


Figura D52: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 6

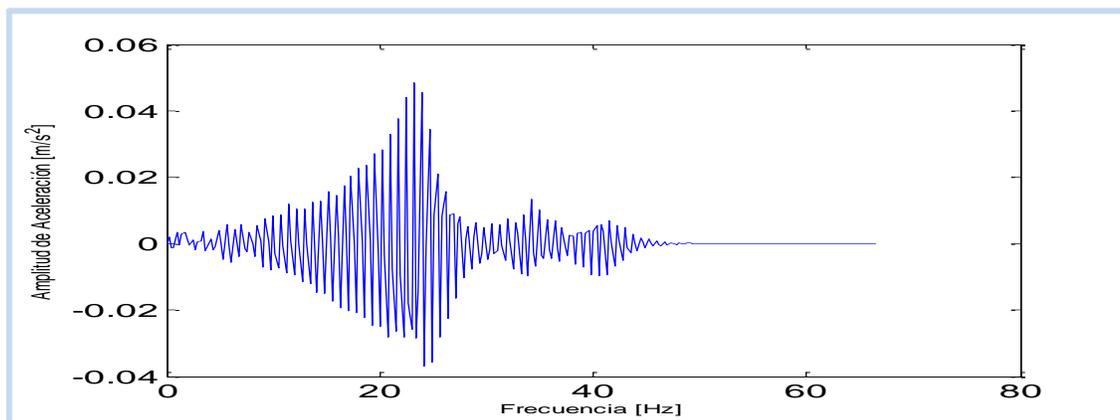


Figura D53: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 7

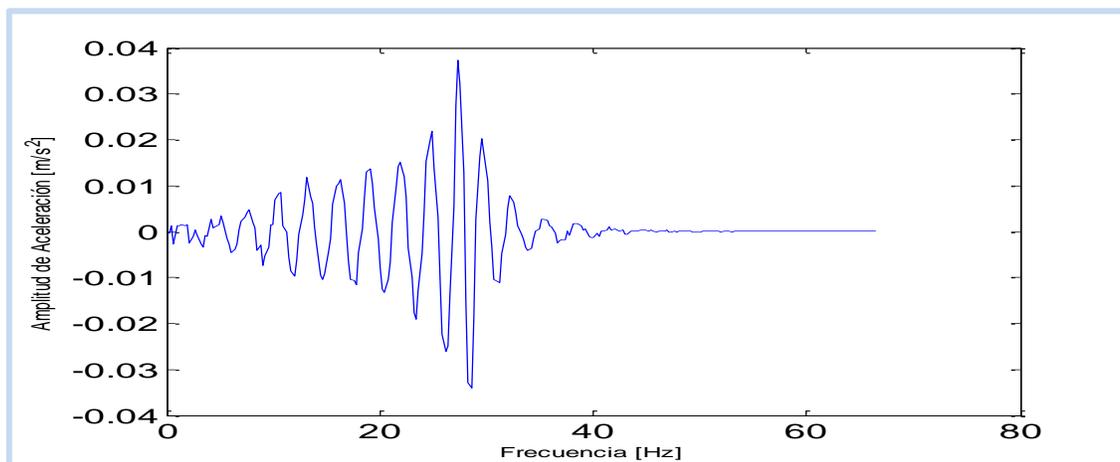


Figura D54: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 8

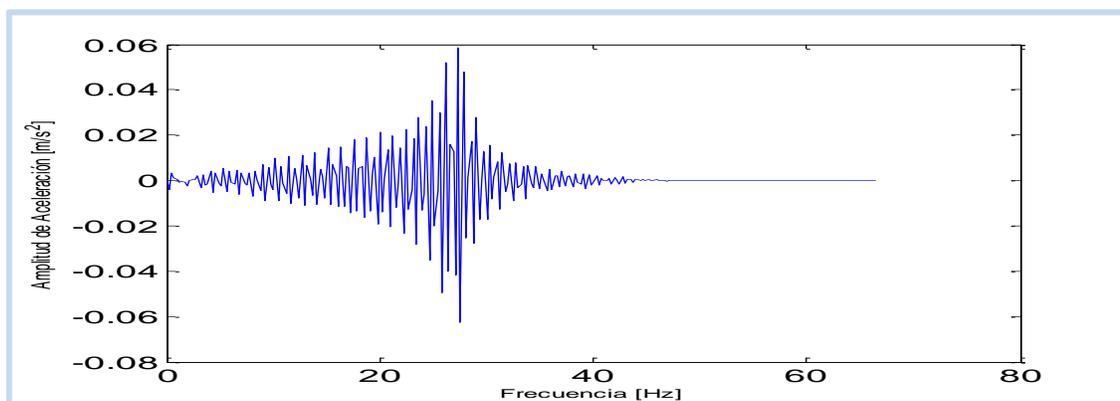


Figura D55: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 9

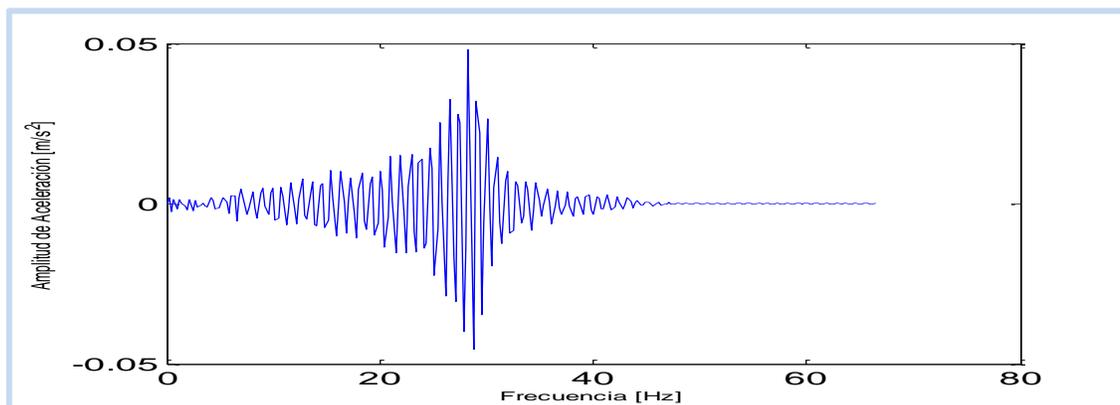


Figura D56: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 10

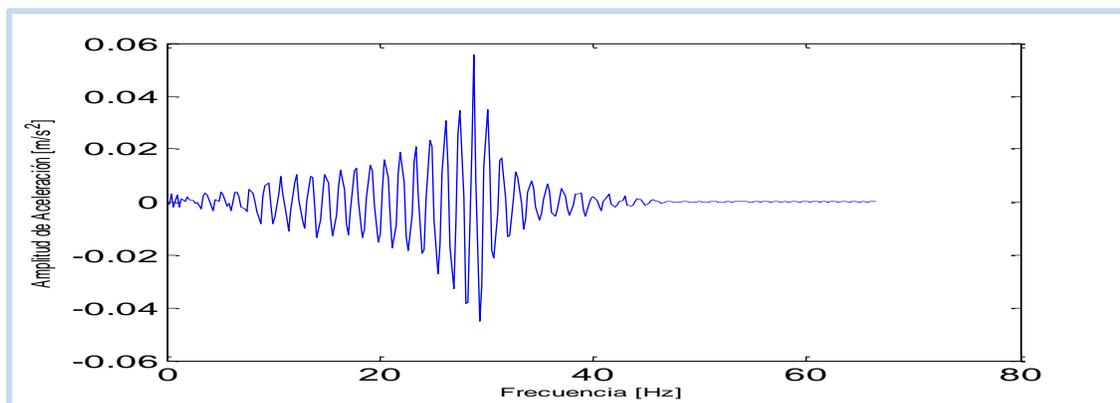


Figura D57: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 11

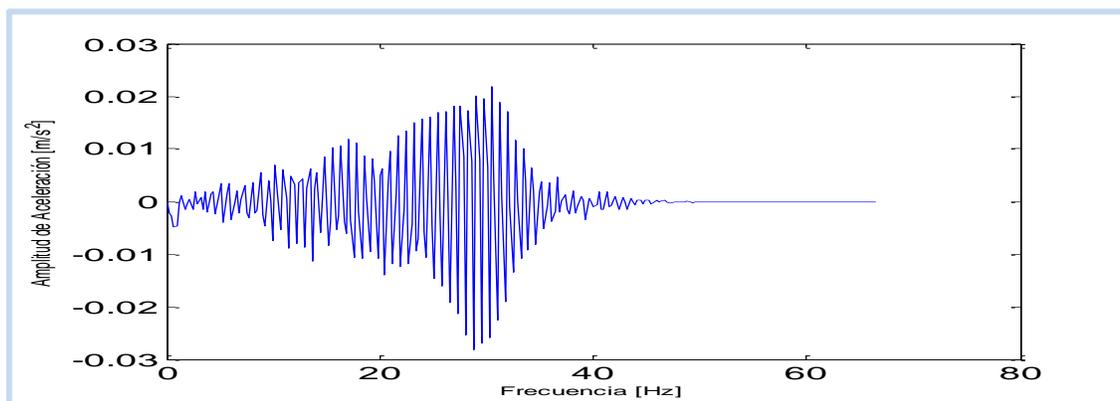


Figura D58: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 12

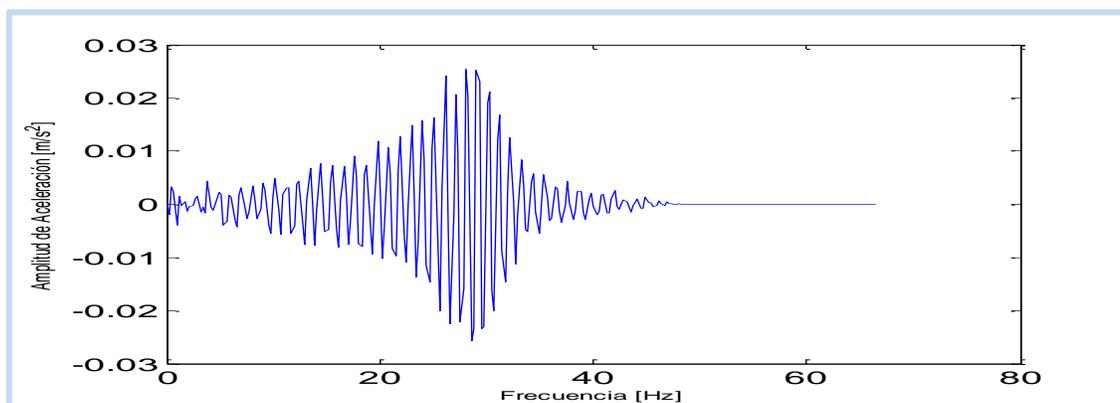


Figura D59: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 13

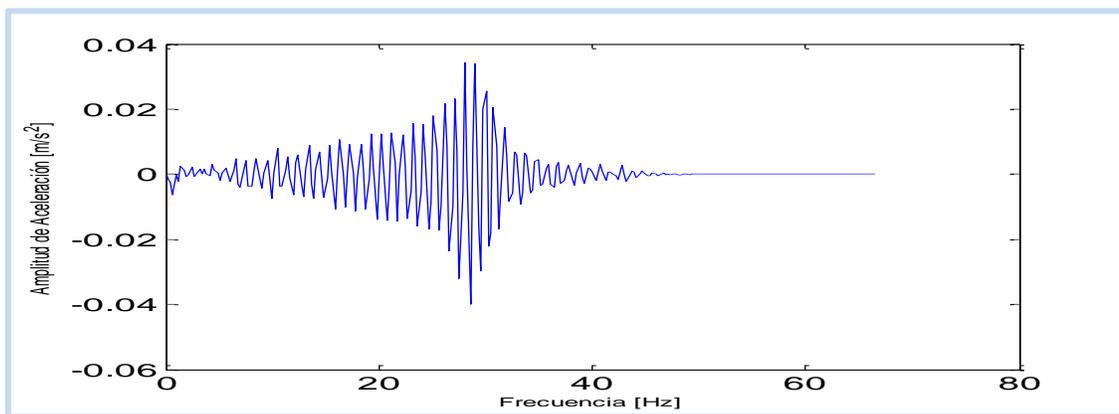


Figura D60: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 14

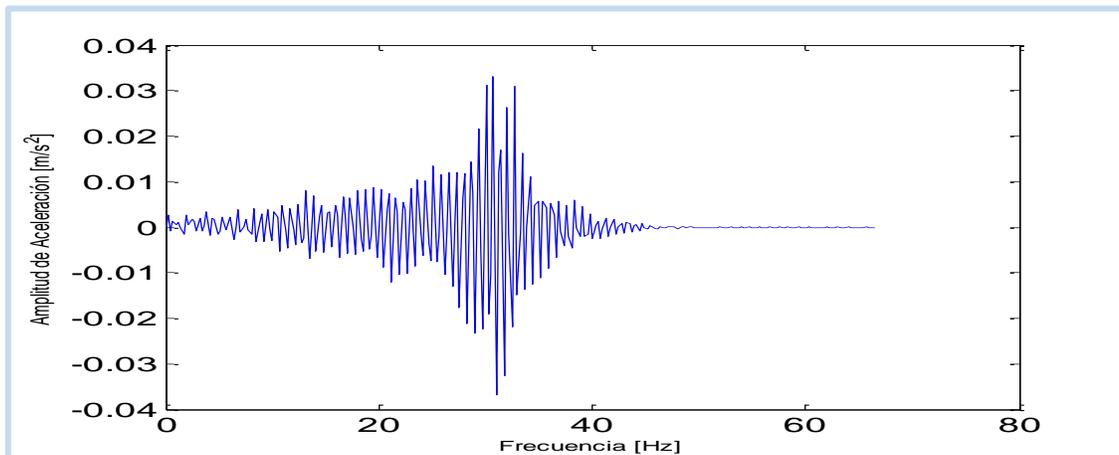


Figura D61: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 15

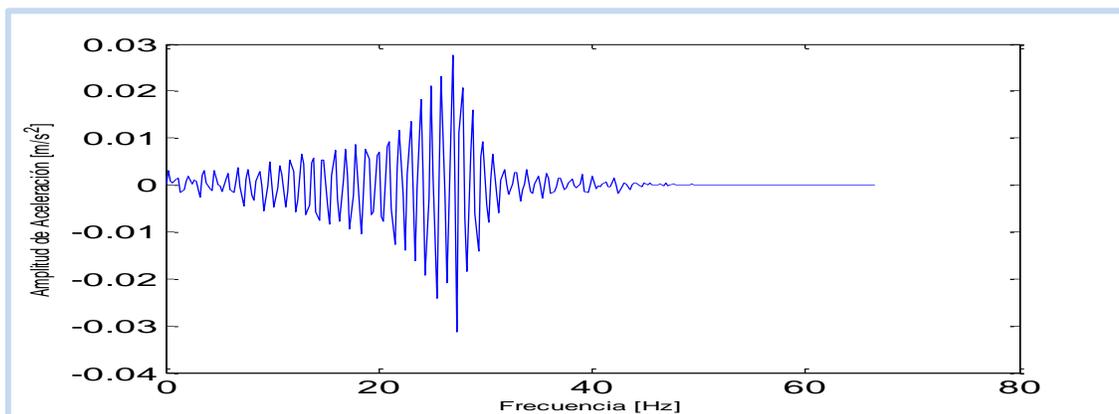


Figura D62: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Se presentan a continuación los valores obtenidos de los peak superior e inferior de las gráficas de determinación a través de la parte imaginaria de FRF, los cuales fueron promediados para la posterior comparación y evaluación de la frecuencia de vibración vertical fundamental para las viviendas modelo A.

Tabla D1. Resumen de valores de la parte imaginaria de FRF

Casas	peak superior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	peak inferior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	% de los peaks (Hz)
1	28,56	28,32	28,44
2	29,05	29,54	29,30
3	26,37	26,86	26,61
4	26,12	24,90	25,51
5	25,15	25,39	25,27
6	23,19	24,17	23,68
7	27,34	28,56	27,95
8	27,34	27,59	27,47
9	28,32	28,81	28,56
10	28,81	29,30	29,05
11	30,52	28,81	29,66
12	28,08	28,56	28,32
13	28,08	28,56	28,32
14	30,76	31,01	30,88
15	26,86	27,34	27,10

➤ Vivienda Modelo B

Casa 1

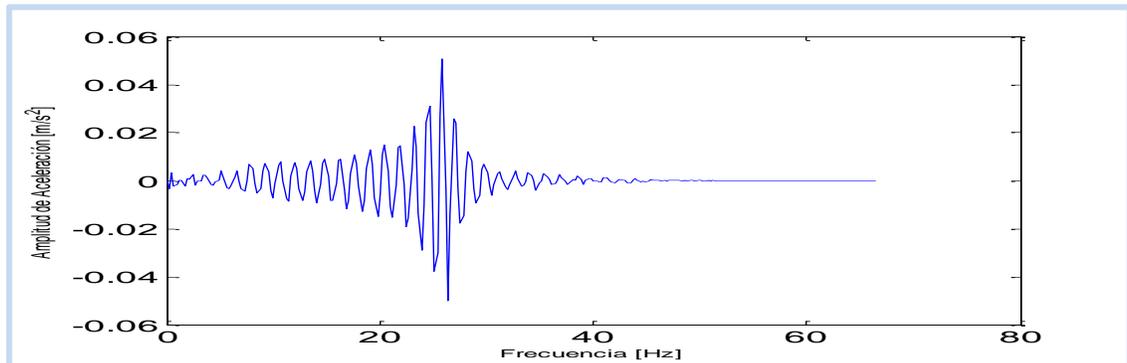


Figura D63: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 2

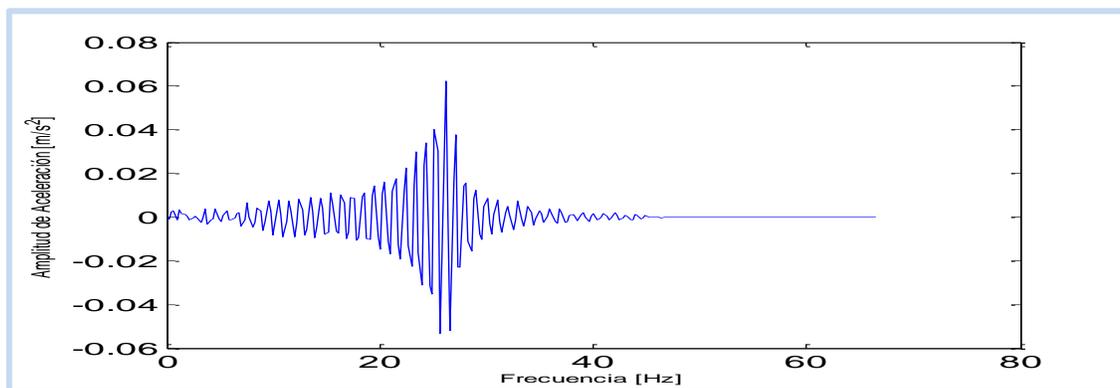


Figura D64: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 3

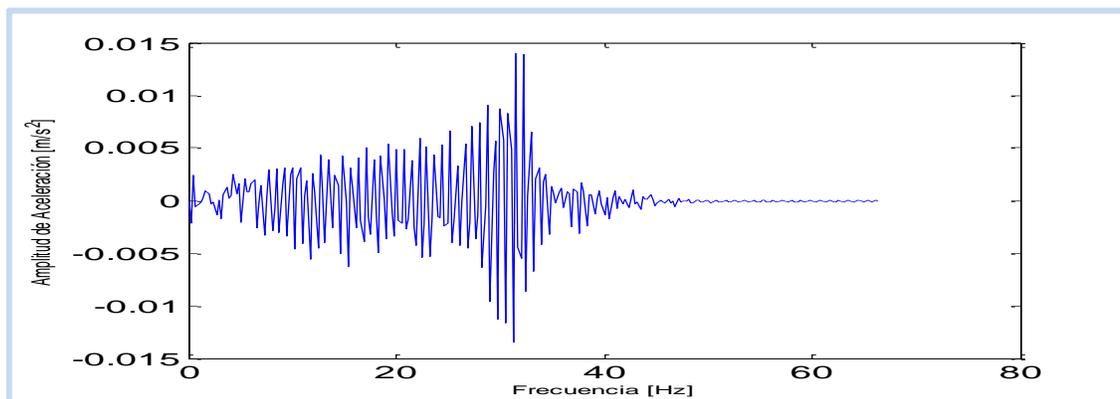


Figura D65: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 4

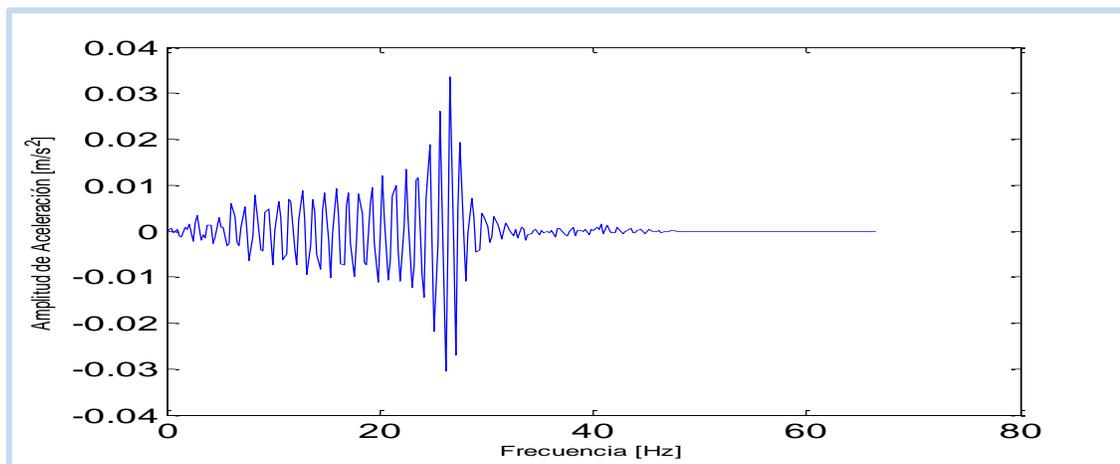


Figura D66: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 5

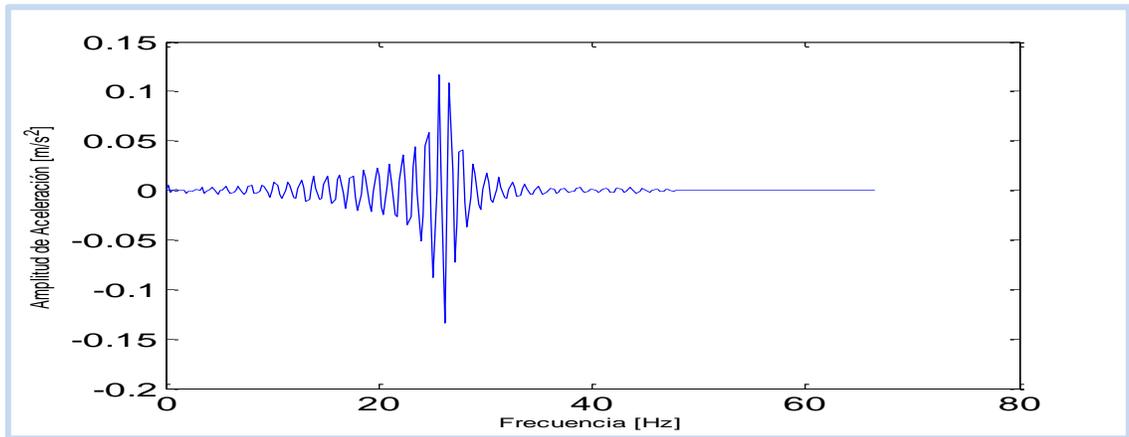


Figura D67: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 6

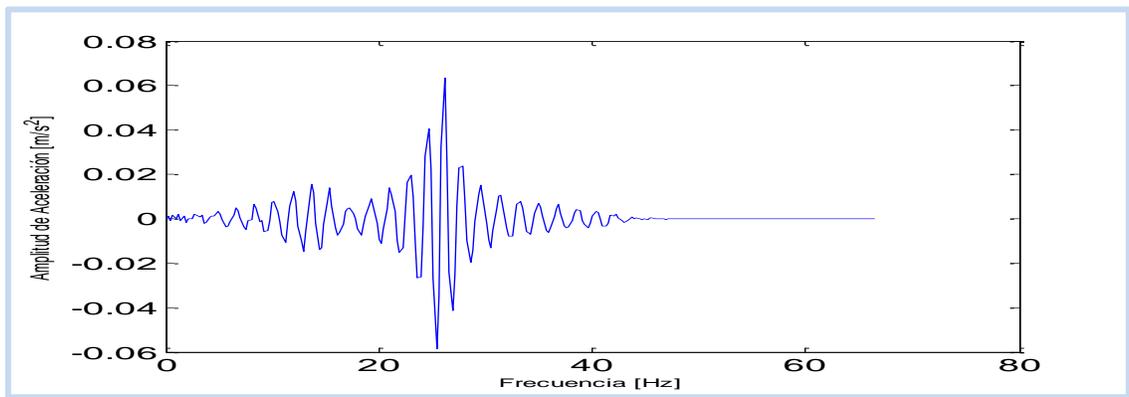


Figura D68: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 7

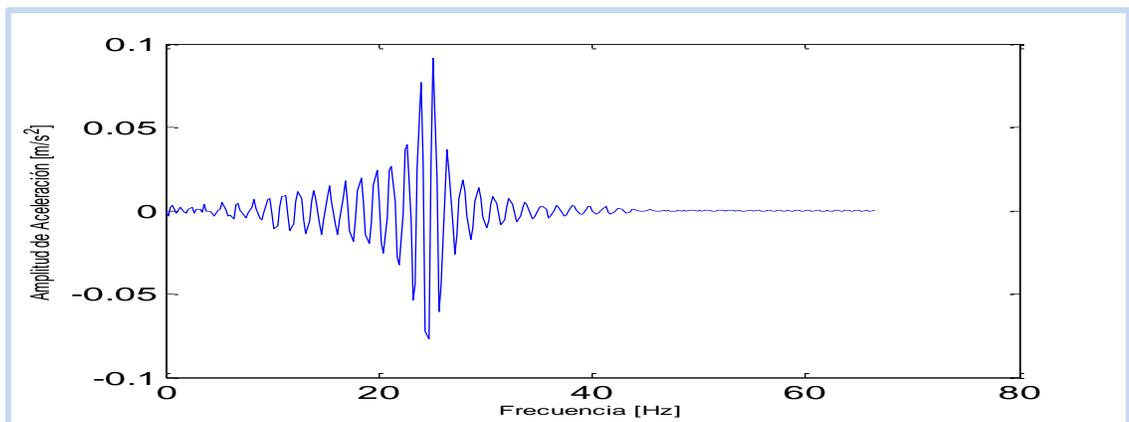


Figura D69: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 8

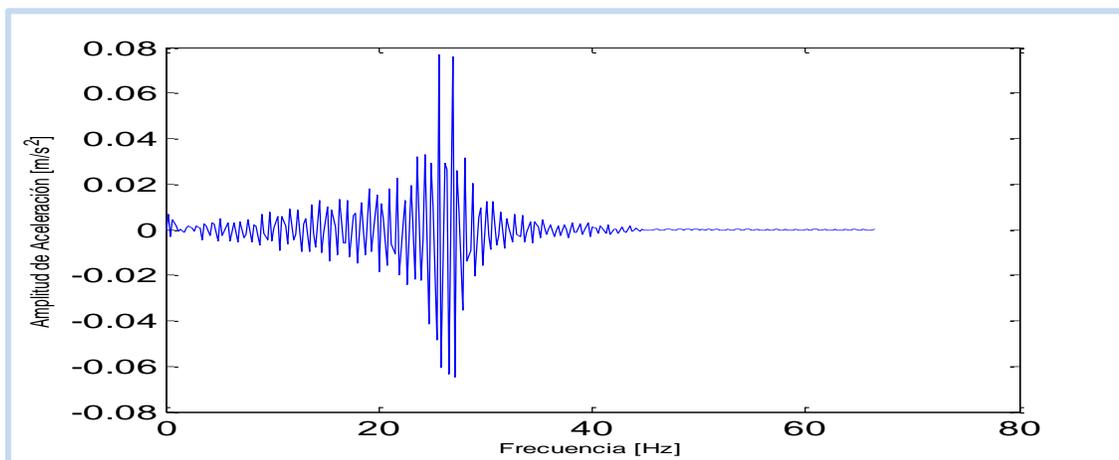


Figura D70: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 9

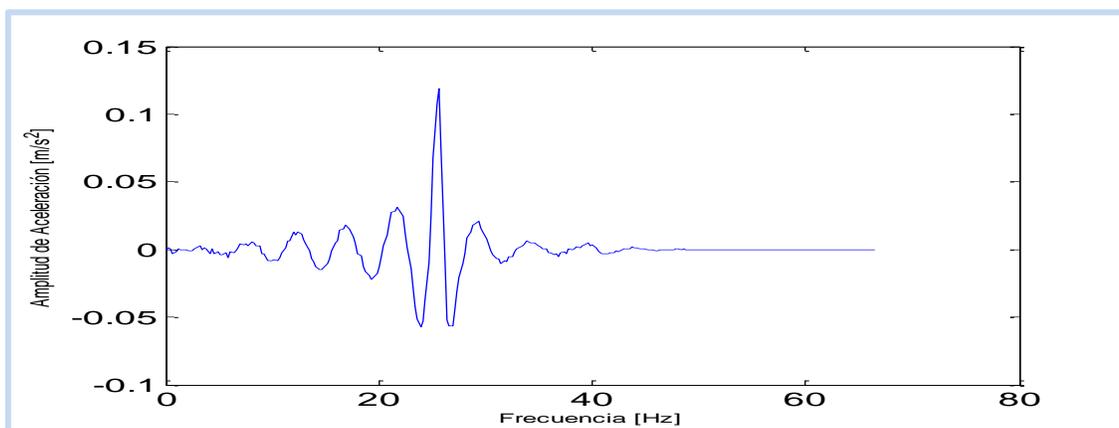


Figura D71: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 10

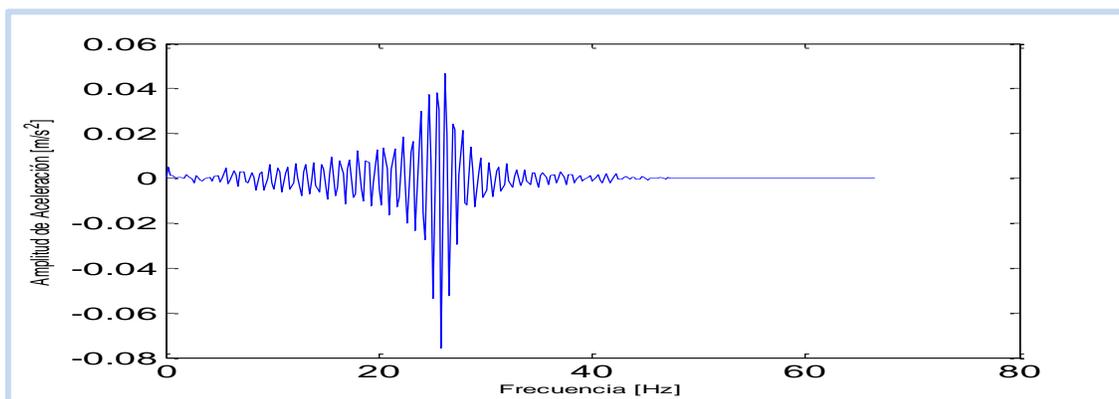


Figura D72: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 11

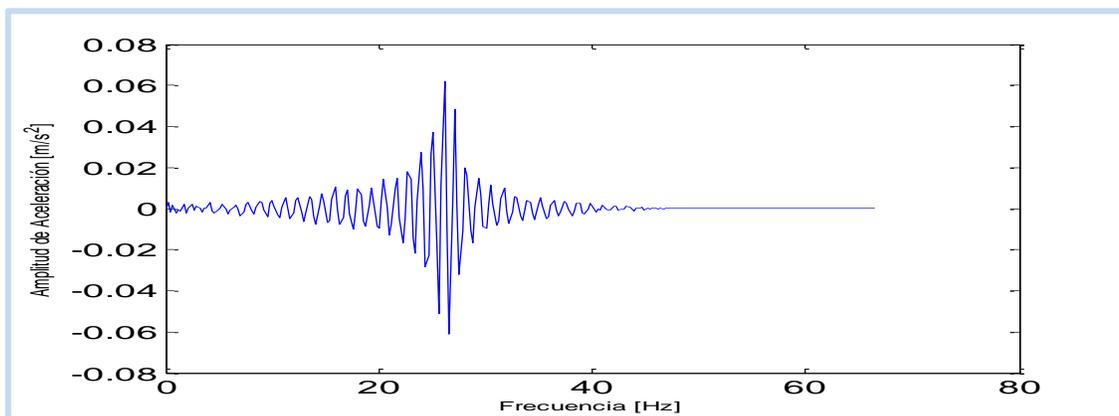


Figura D73: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 12

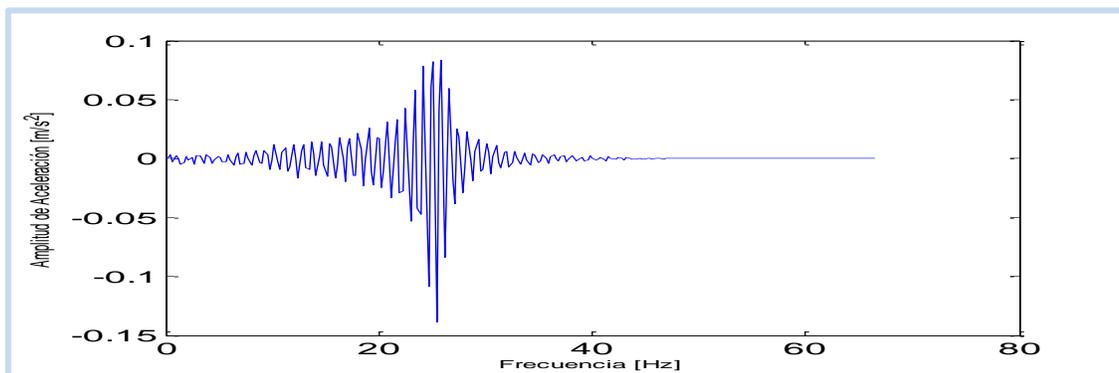


Figura D74: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 13

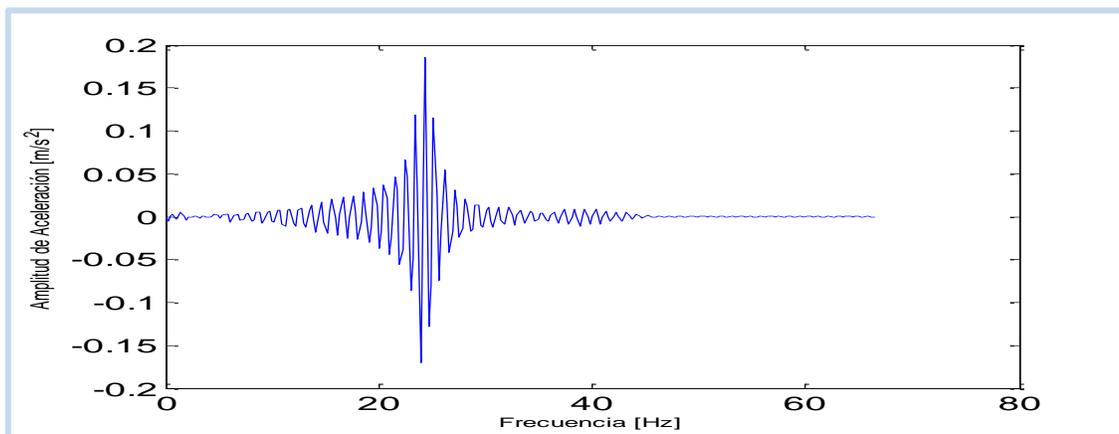


Figura D75: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 14

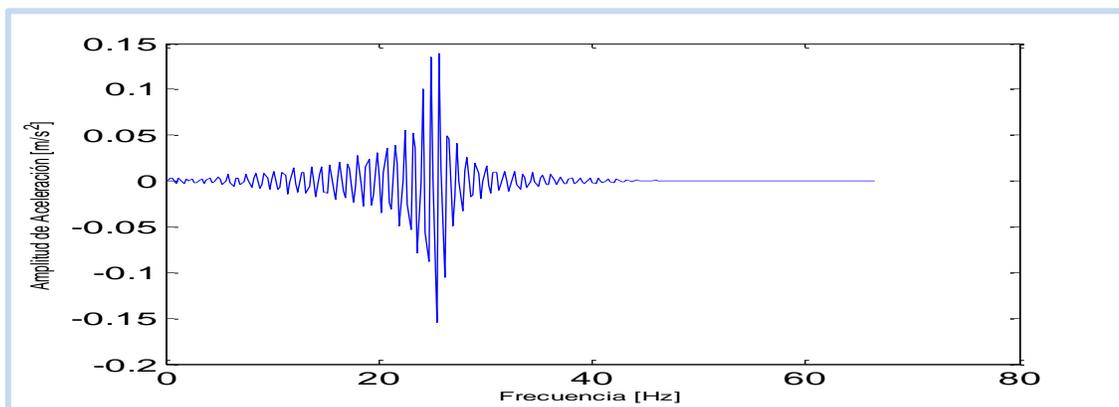


Figura D76: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 15

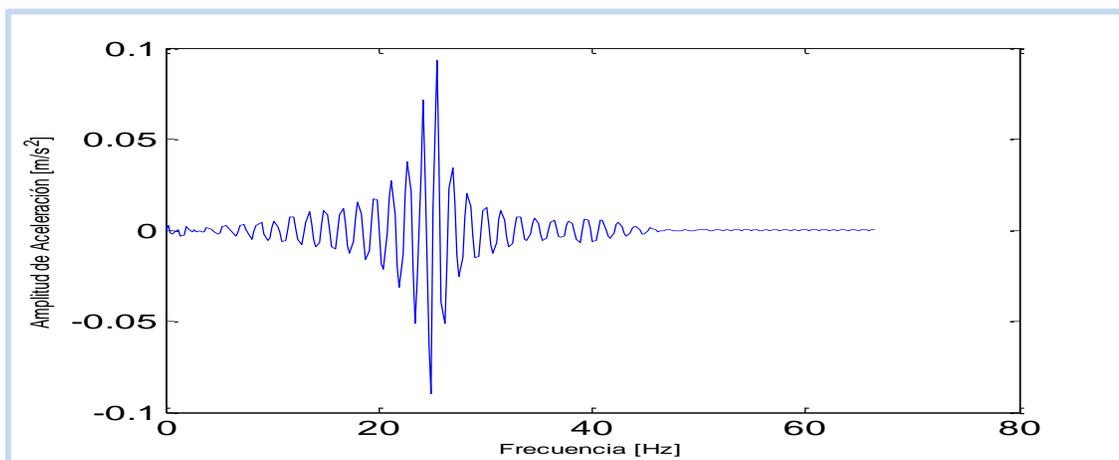


Figura D77: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 16

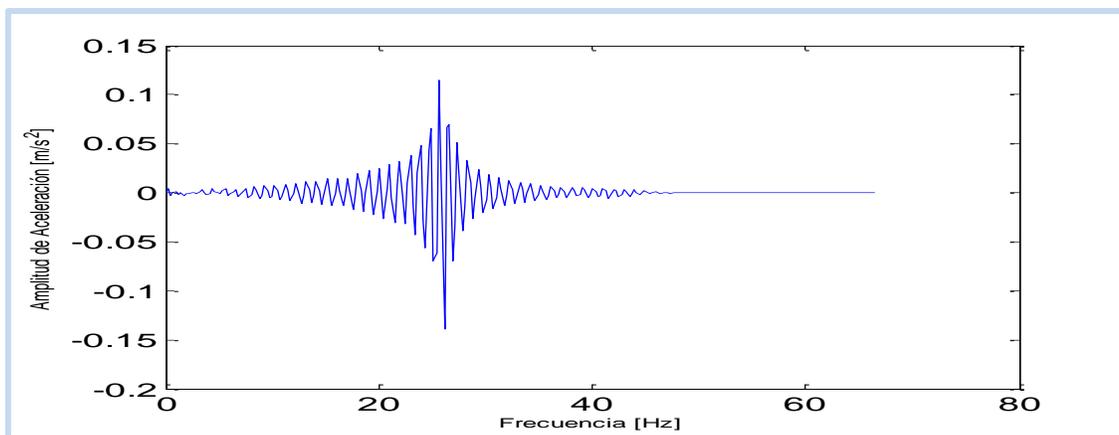


Figura D78: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 17

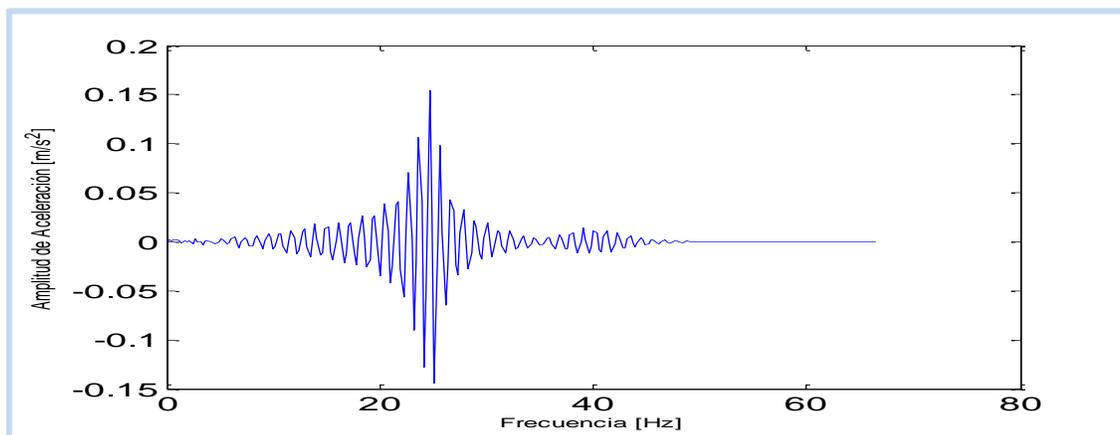


Figura D79: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 18

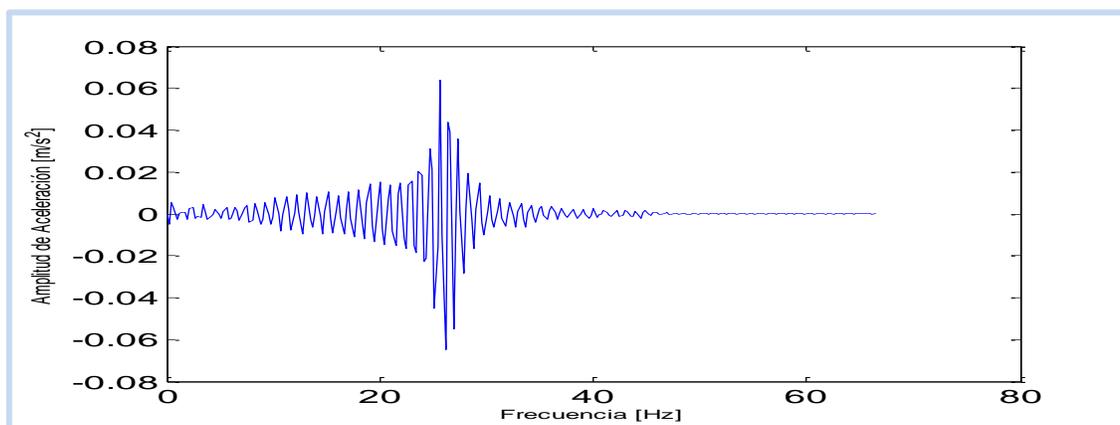


Figura D80: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 19

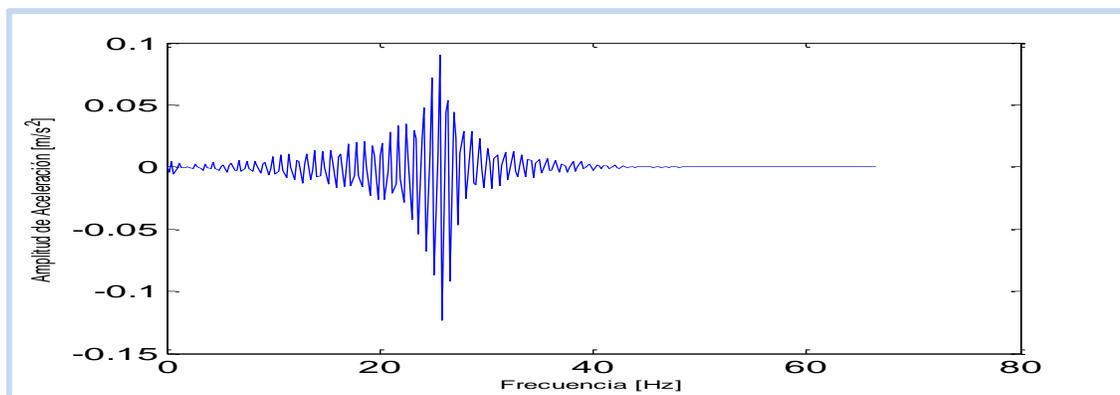


Figura D81: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 20

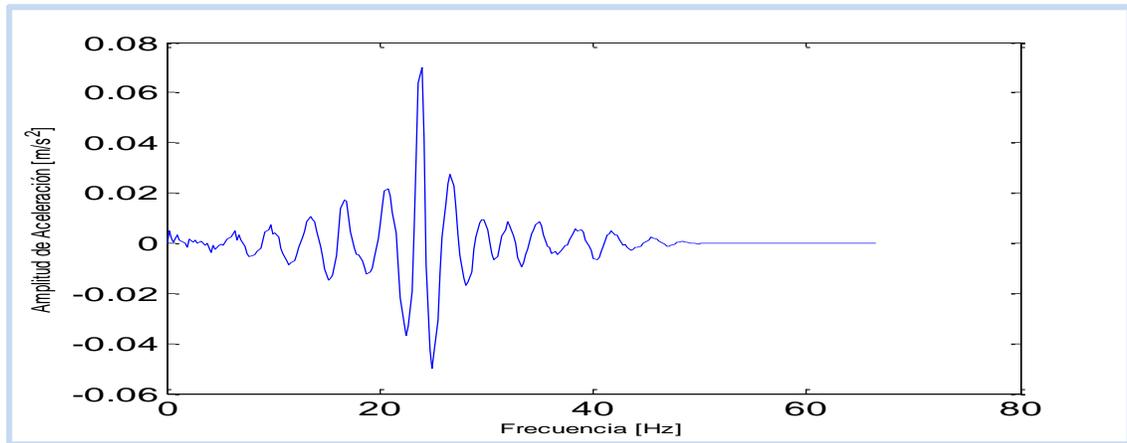


Figura D82: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Se presentan a continuación los valores obtenidos de los peak superior e inferior de las gráficas de determinación a través de la parte imaginaria de FRF, los cuales fueron promediados para la posterior comparación y evaluación de la frecuencia de vibración vertical fundamental para las viviendas modelo B

Tabla D2. Resumen de Valores de la Parte Imaginaria de FRF

Casas	peak superior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	peak inferior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	% de los peaks (Hz)
1	25,88	26,37	26,12
2	26,12	25,63	25,88
3	31,49	31,25	31,37
4	26,61	26,12	26,37
5	25,63	26,12	25,88
6	26,12	25,39	25,76
7	25,15	24,66	24,90
8	25,63	27,10	26,37
9	25,63	23,93	24,78
10	26,12	25,88	26,00
11	26,12	26,61	26,37
12	25,88	25,39	25,63
13	24,41	23,93	24,17
14	25,63	25,39	25,51
15	25,39	24,90	25,15
16	25,63	26,12	25,88
17	24,66	25,15	24,90
18	25,63	26,12	25,88
19	25,63	25,88	25,76
20	23,93	24,90	24,41

➤ Vivienda Modelo C

Casa 1

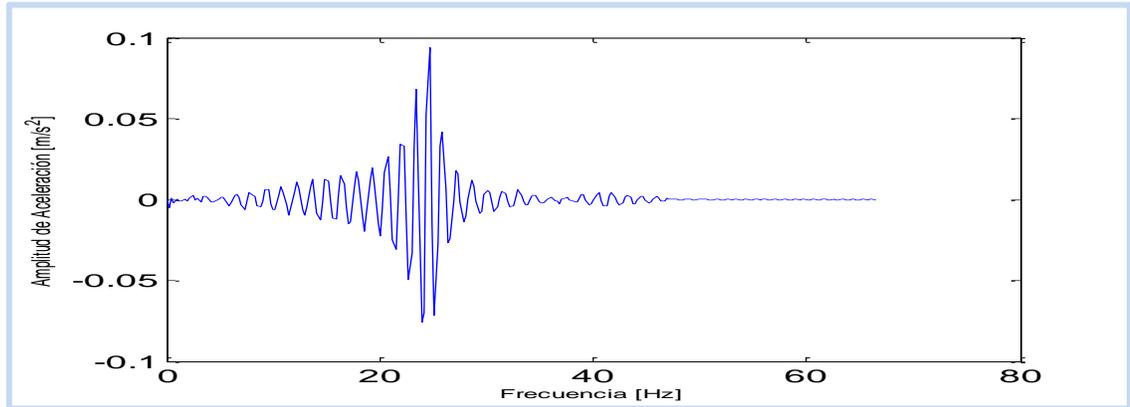


Figura D83: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 2

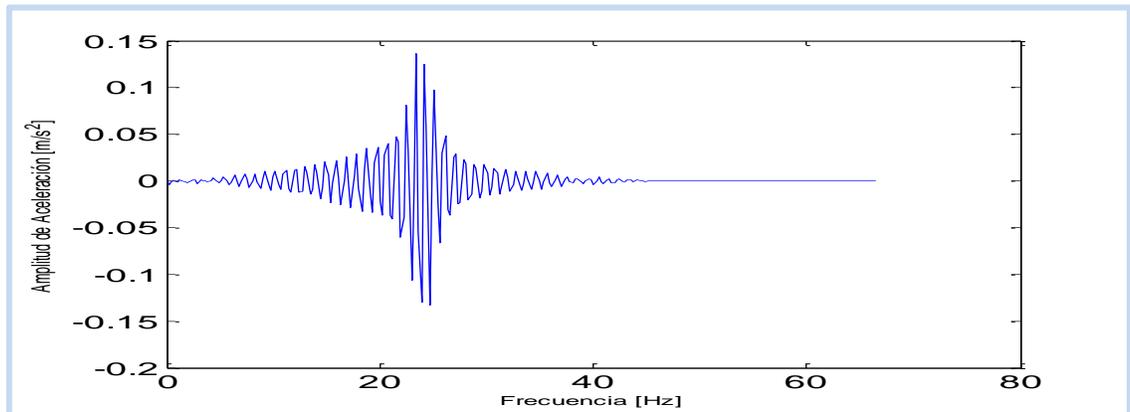


Figura D84: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 3

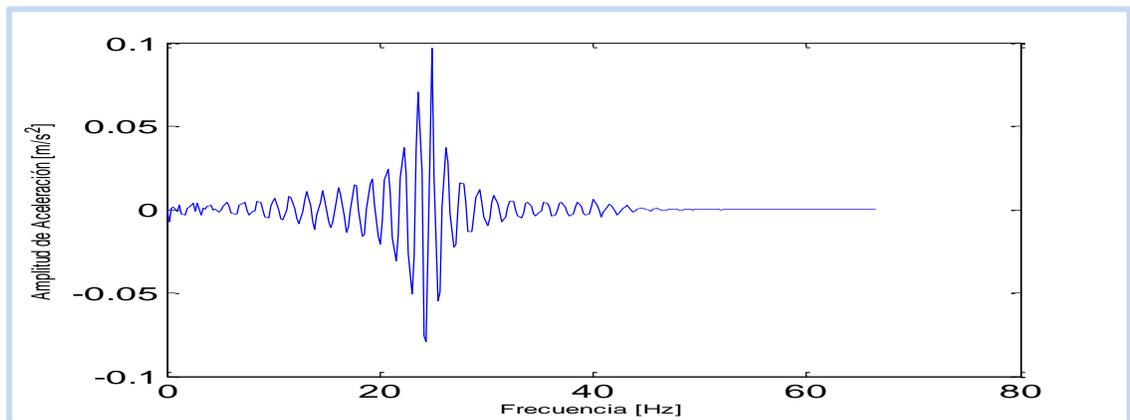


Figura D85: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 4

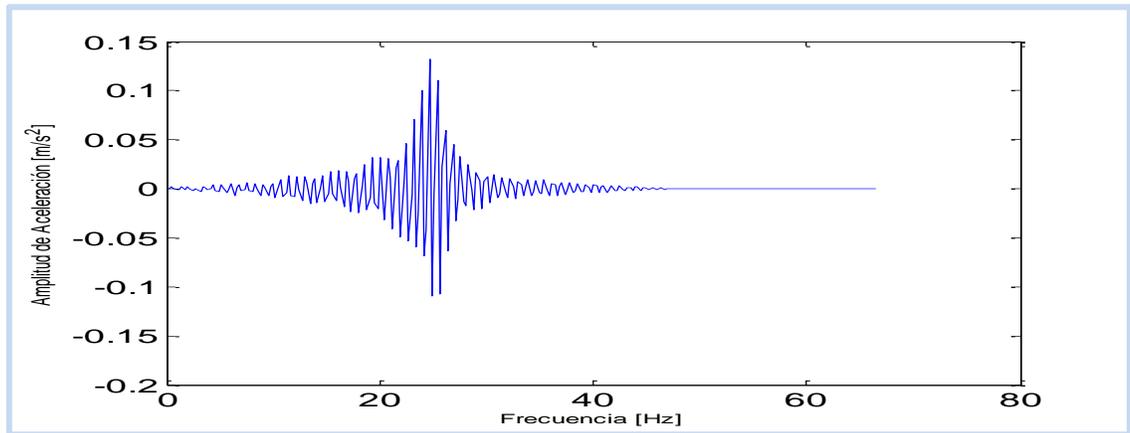


Figura D86: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 5

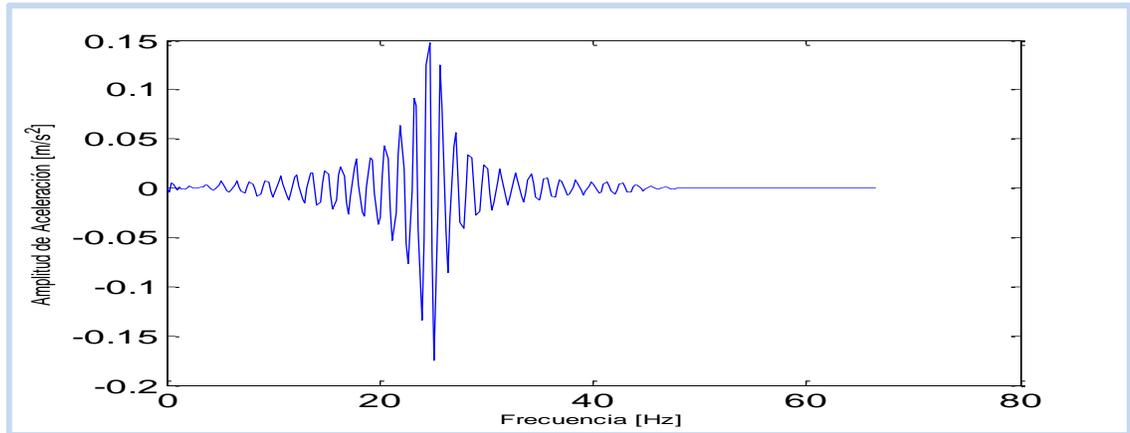


Figura D87: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 6

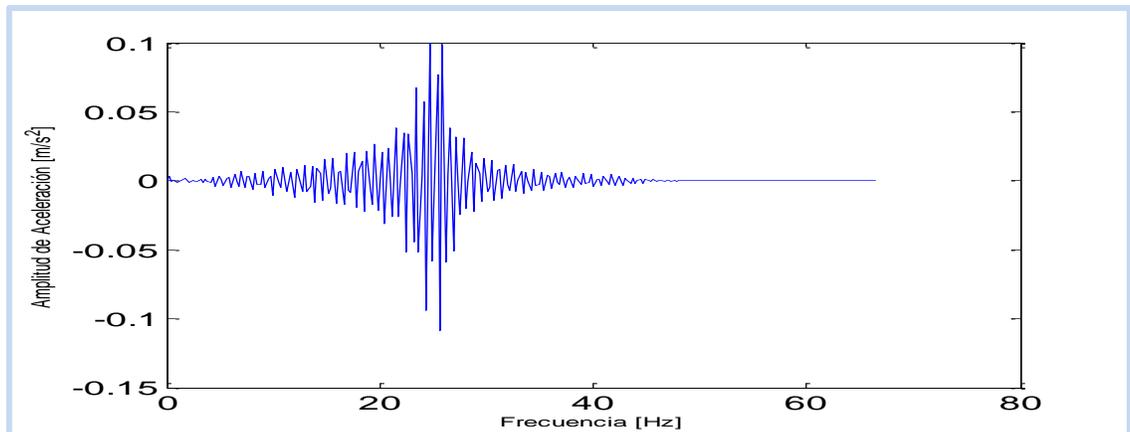


Figura D88: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 7

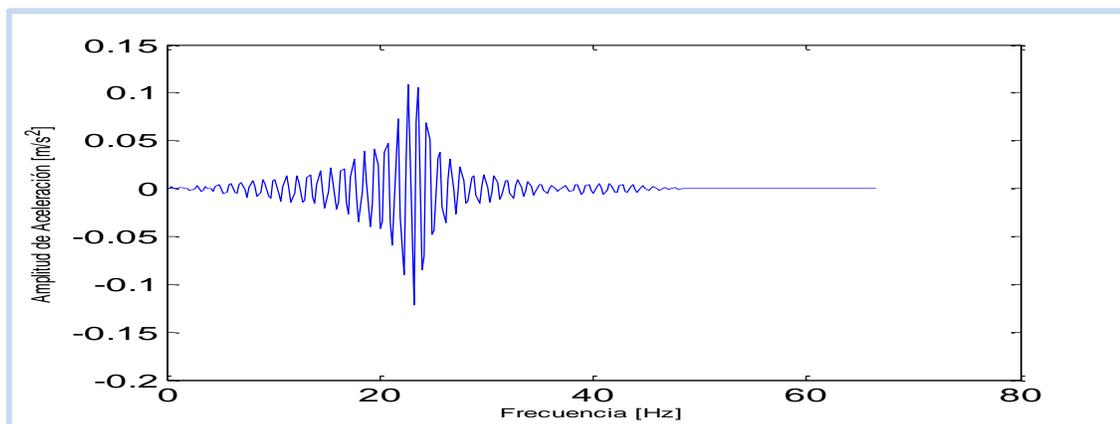


Figura D89: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 8

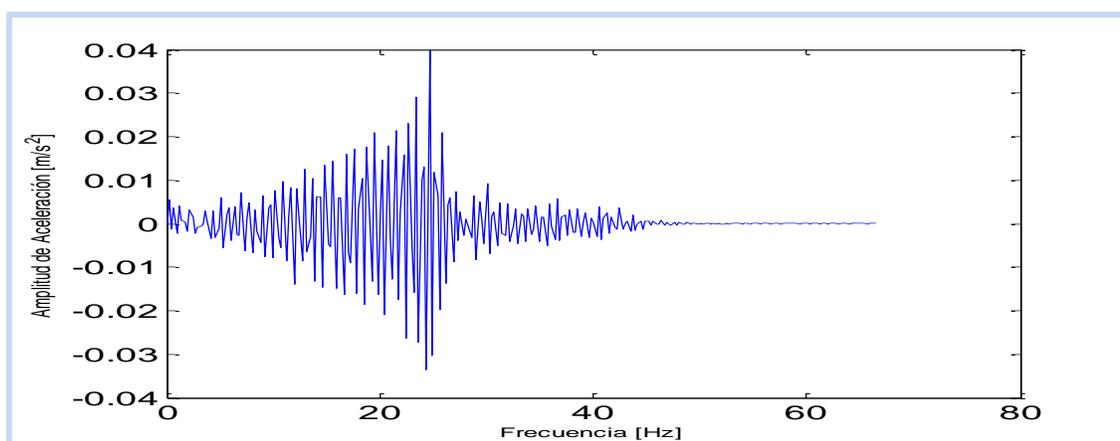


Figura D90: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 9

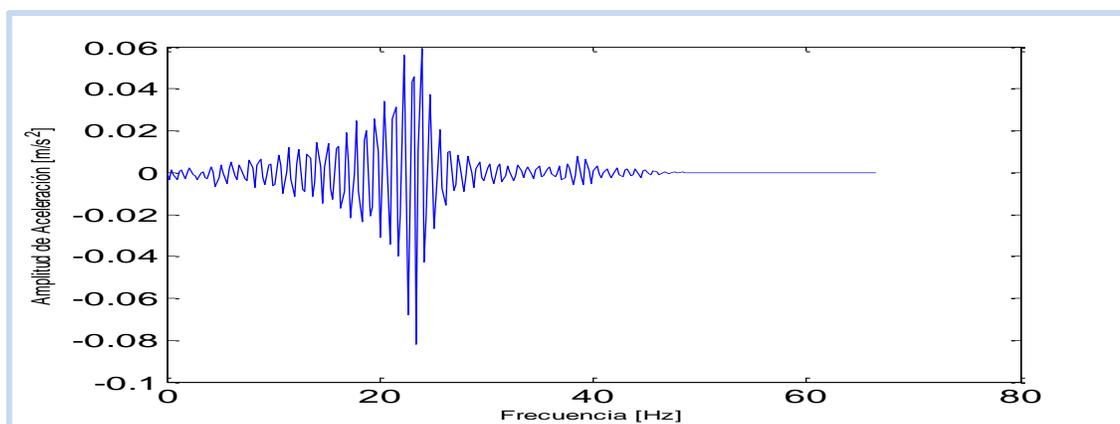


Figura D91: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 10

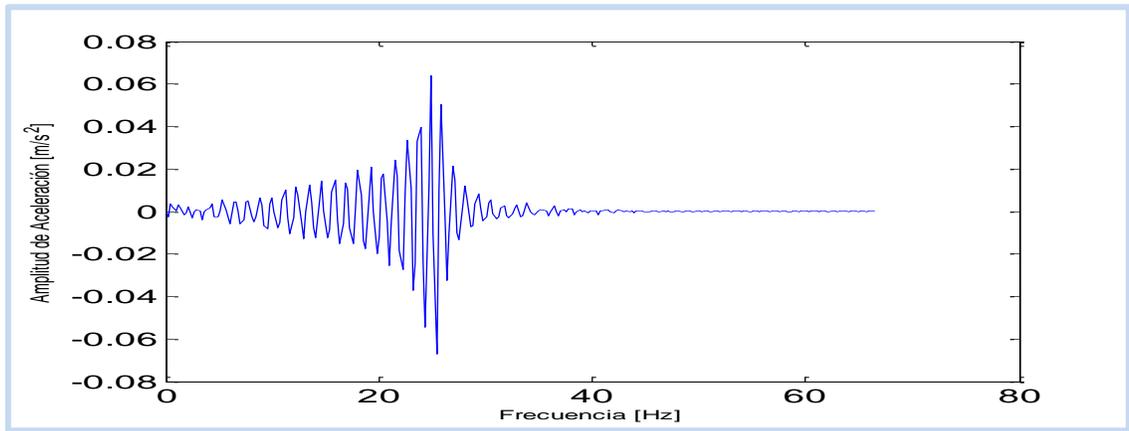


Figura D92: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 11

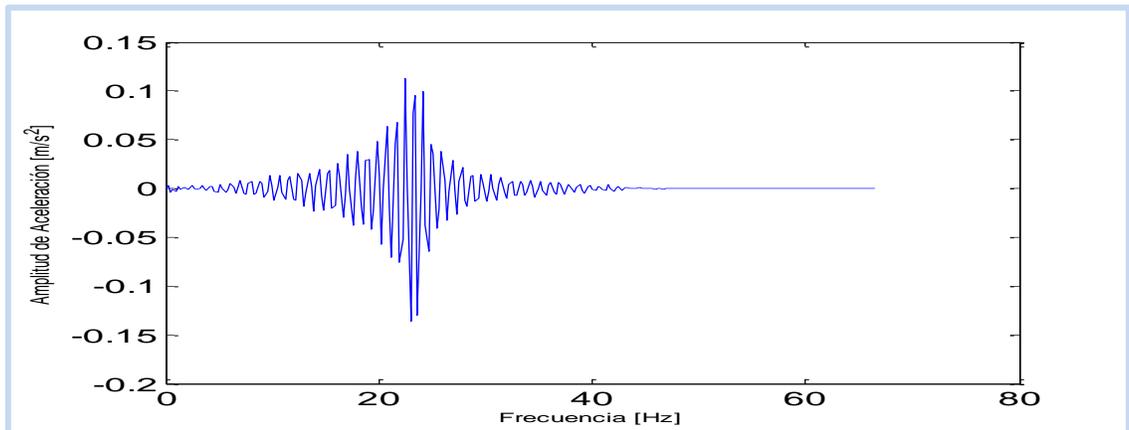


Figura D93: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Casa 12

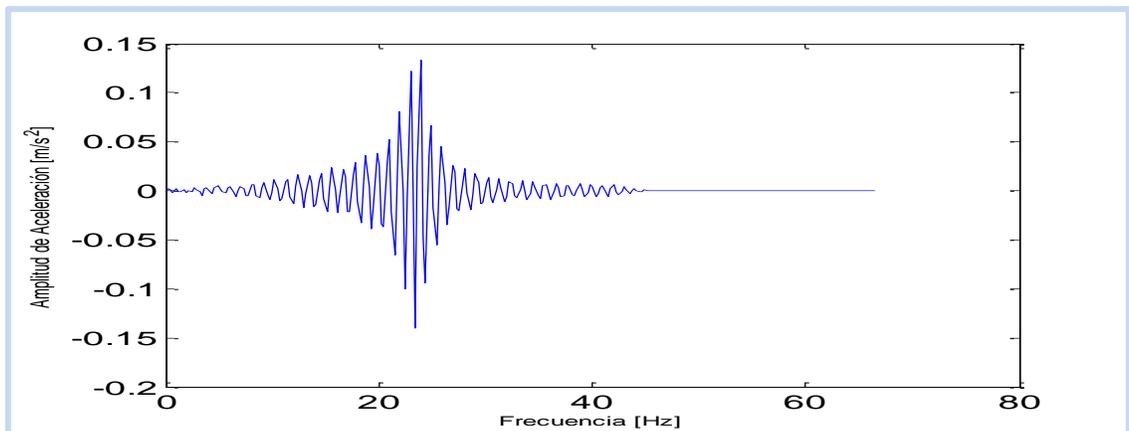


Figura D94: gráfica de la parte imaginaria de la función de respuesta en frecuencia

Se presentan a continuación los valores obtenidos de los peak superior e inferior de las gráficas de determinación a través de la parte imaginaria de FRF, los cuales fueron promediados para la posterior comparación y evaluación de la frecuencia de vibración vertical fundamental para las viviendas modelo C.

Tabla D3. Resumen de Valores de la Parte Imaginaria de FRF

Casas	peak superior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	peak inferior de la parte imaginaria de FRF (Hz)	% de los peaks (Hz)
1	24,66	23,93	24,29
2	23,44	24,66	24,05
3	24,90	24,41	24,66
4	24,66	24,90	24,78
5	24,66	25,15	24,90
6	24,66	25,63	25,15
7	22,71	23,19	22,95
8	24,66	24,41	24,54
9	23,93	23,44	23,68
10	24,90	25,39	25,15
11	22,46	22,95	22,71
12	23,93	23,44	23,68

ANEXO E: METODOS DE DETERMINACIÓN ξ

Se describe como se determinaron los valores de la razón de amortiguamiento a través de los métodos de decaimiento de curva y de ancho de banda.

1. Método de Decaimiento de Curva

Para este método se separaron los gráficos para su interpretación, en donde los ξ corresponden a las partes superior e inferior de la curva sin promediar.

❖ Viviendas Modelo A

Casa 1

➤ Parte Superior de la Curva

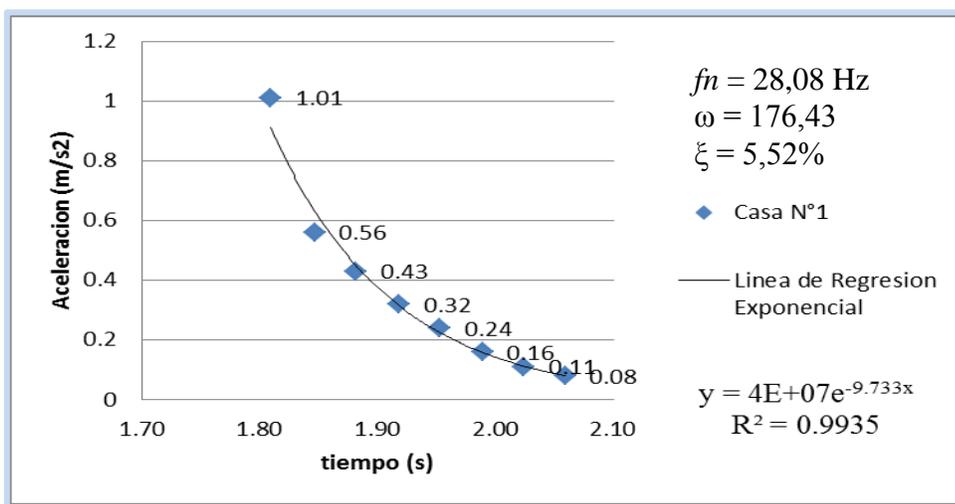


Figura E1. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.35%

➤ Parte Inferior de la Curva

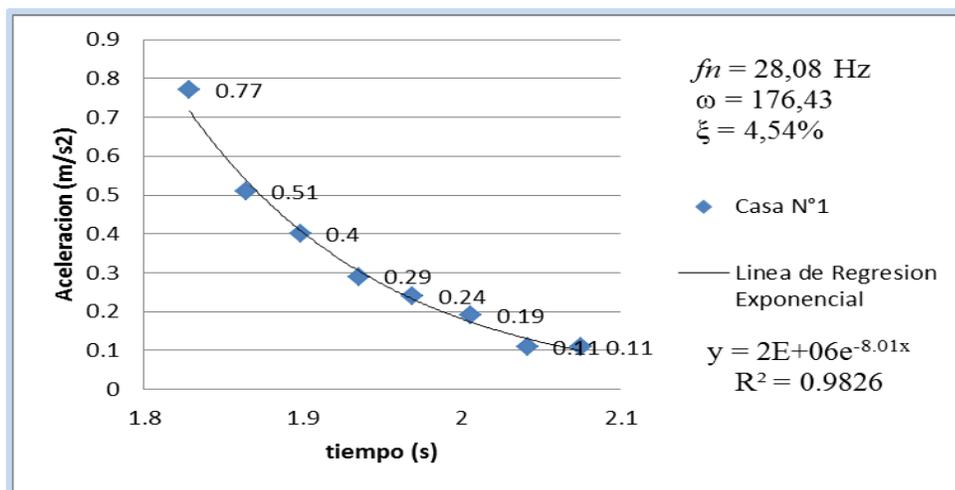


Figura E2. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.26%

Casa 2

➤ Parte Superior de la Curva

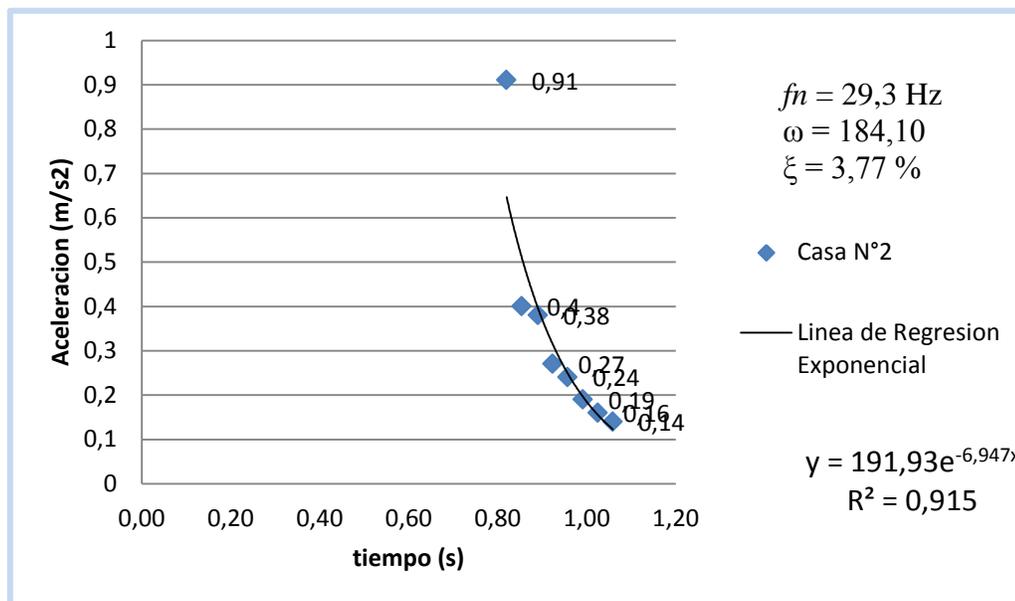


Figura E3. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 91.5%

➤ Parte Inferior de la Curva

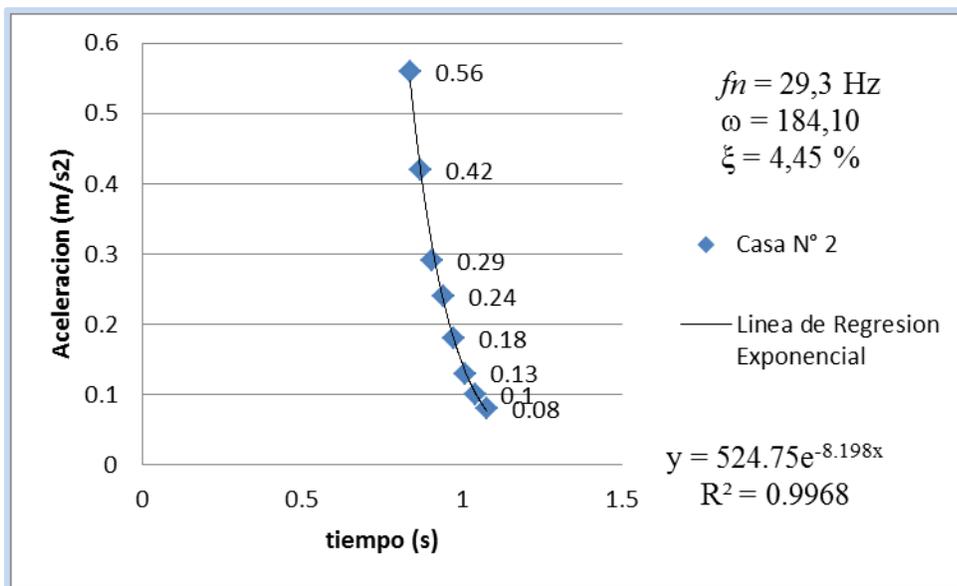


Figura E4. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.68%

Casa 3

➤ Parte Superior de la Curva

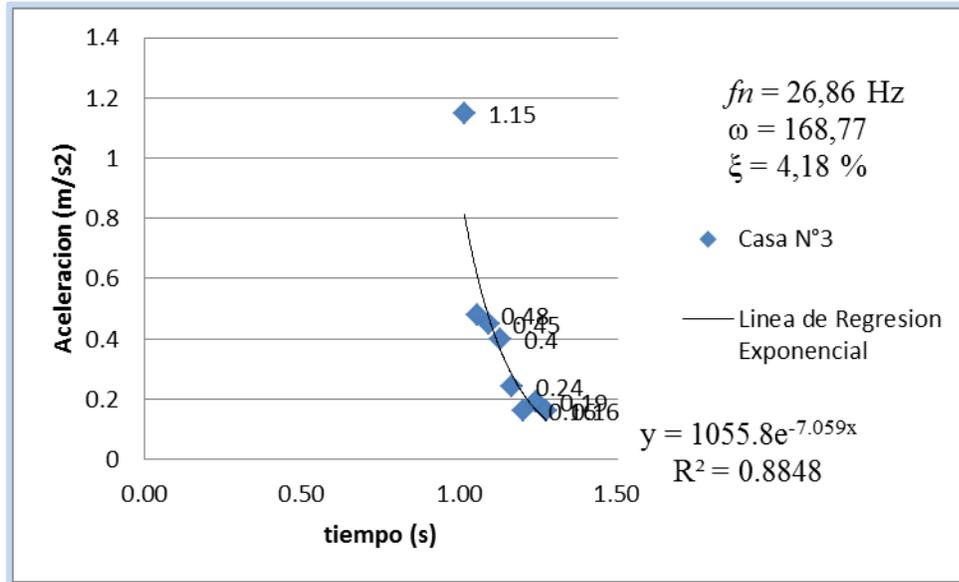


Figura E5. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 88.48%

➤ Parte Inferior de la Curva

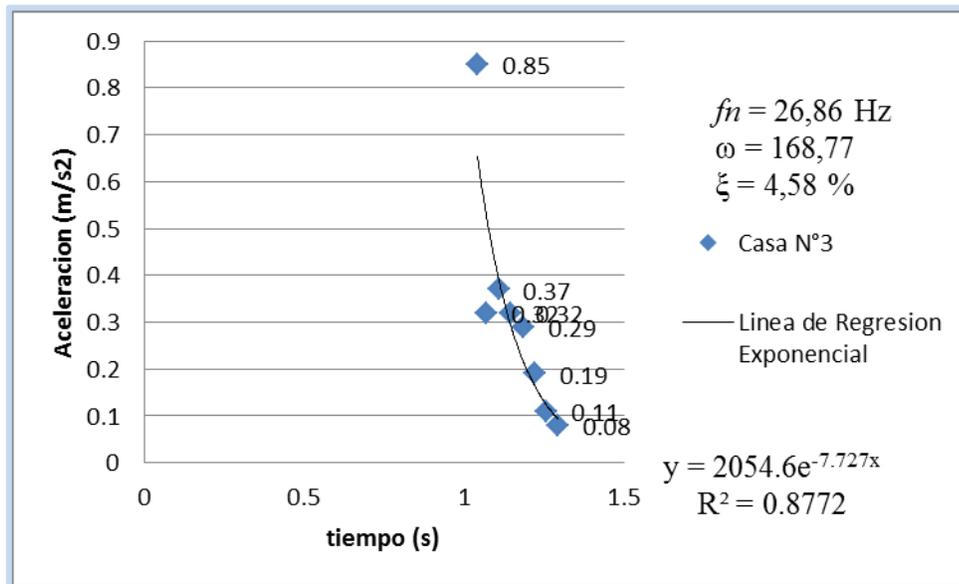


Figura E6. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 87.72%

Casa 4

➤ Parte Superior de la Curva

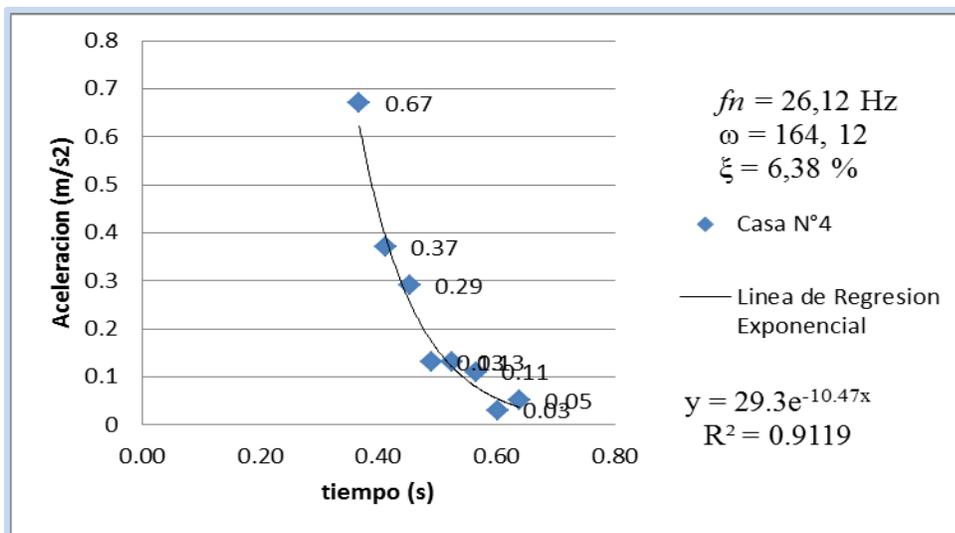


Figura E7. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 91.19%

➤ Parte Inferior de la Curva

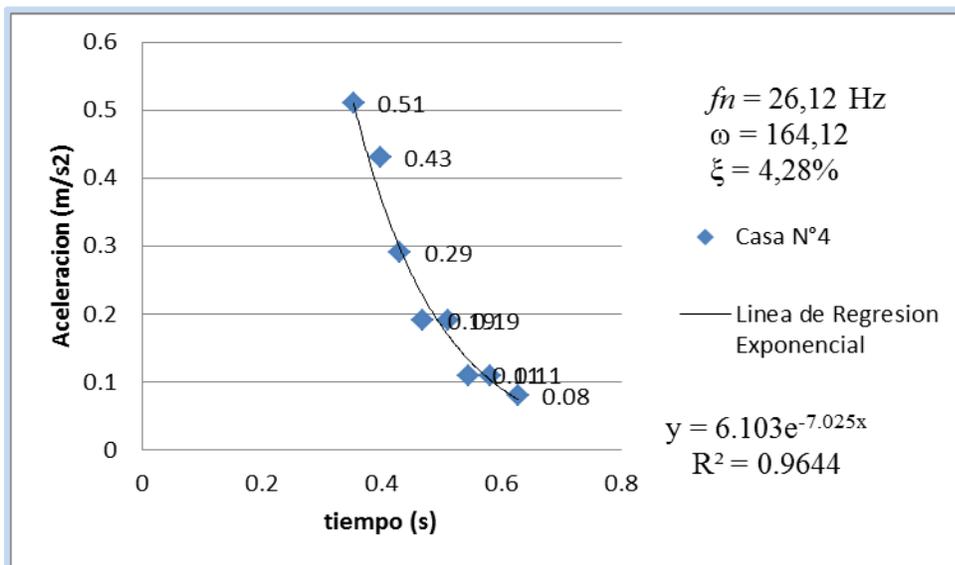


Figura E8. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.44%

Casa 5

➤ Parte Superior de la Curva

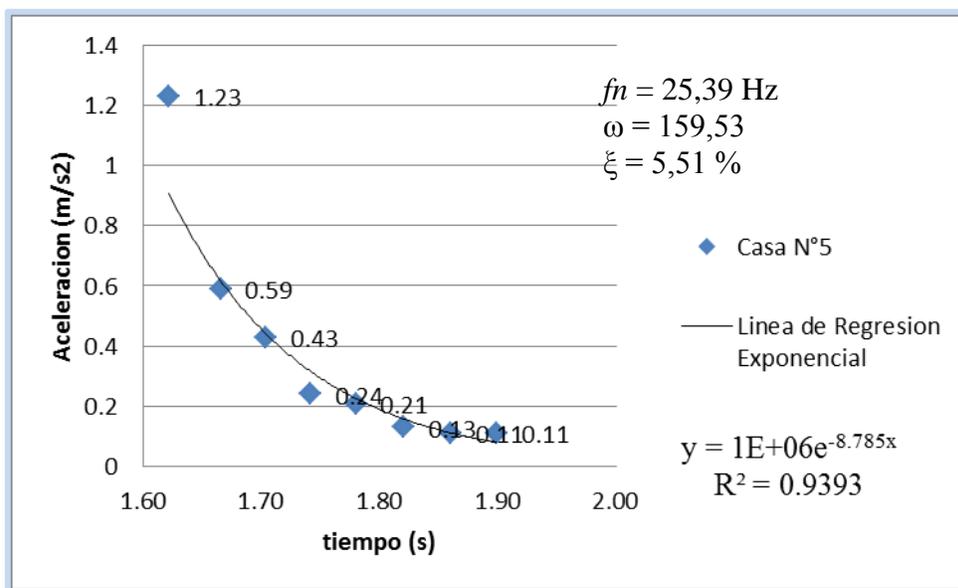


Figura E9. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.93%

➤ Parte Inferior de la Curva

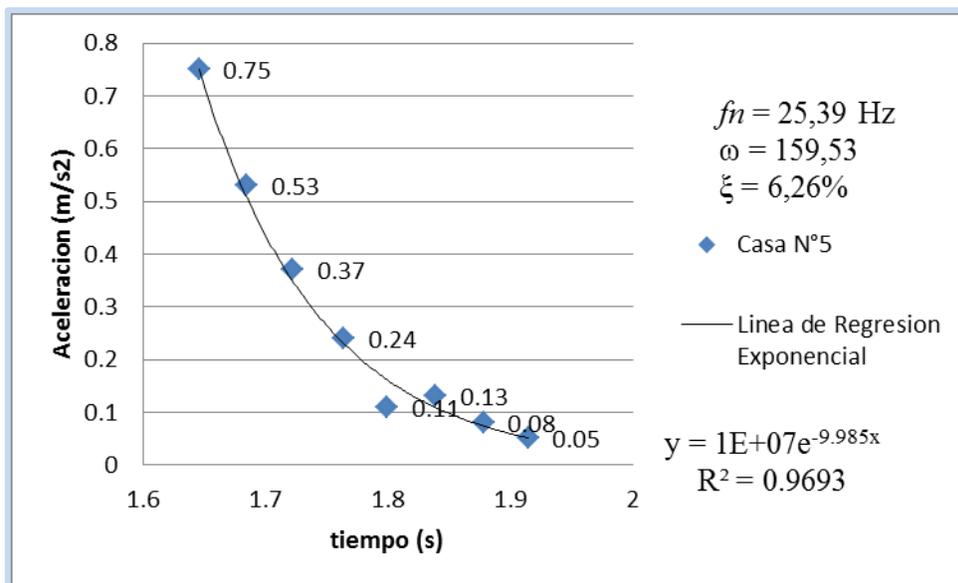


Figura E10. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.93%

Casa 6

➤ Parte Superior de la Curva

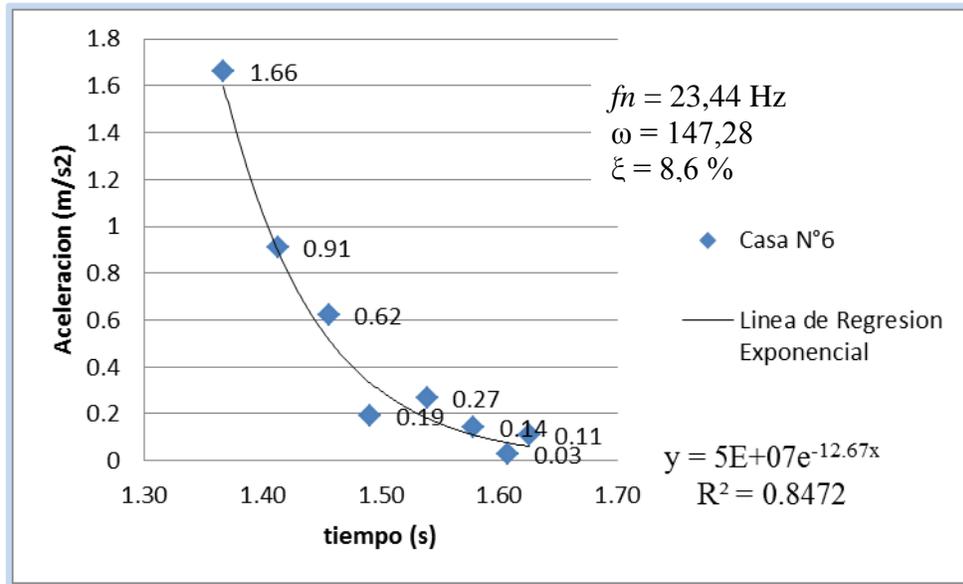


Figura E11. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 84.72%

➤ Parte Inferior de la Curva

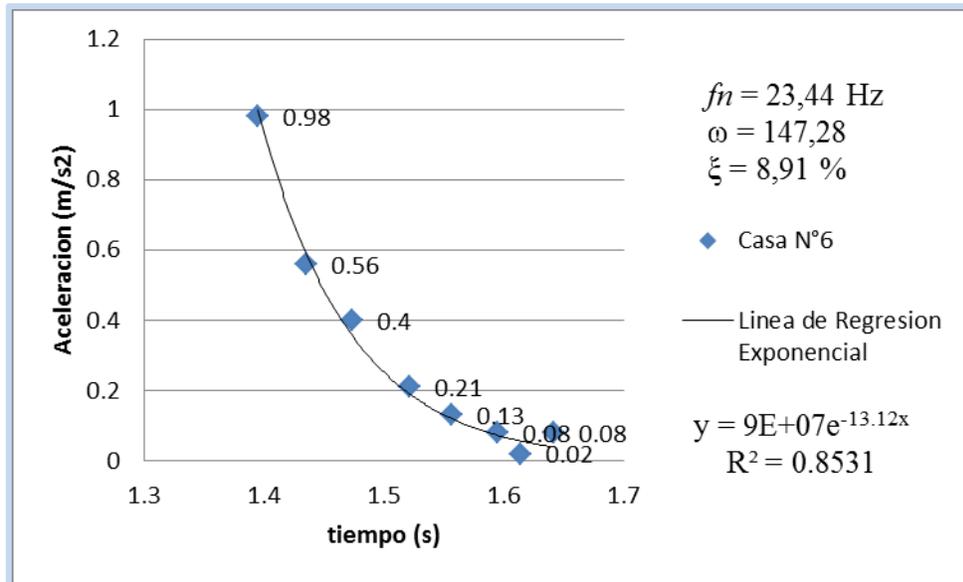


Figura E12. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 85.31%

Casa 7

➤ Parte Superior de la Curva

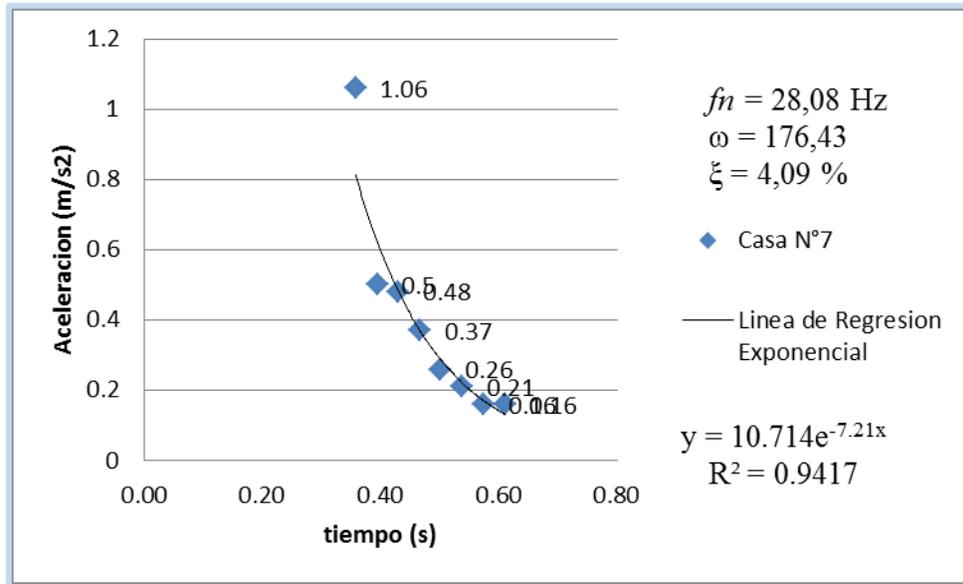


Figura E13. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 94.17%

➤ Parte Inferior de la Curva

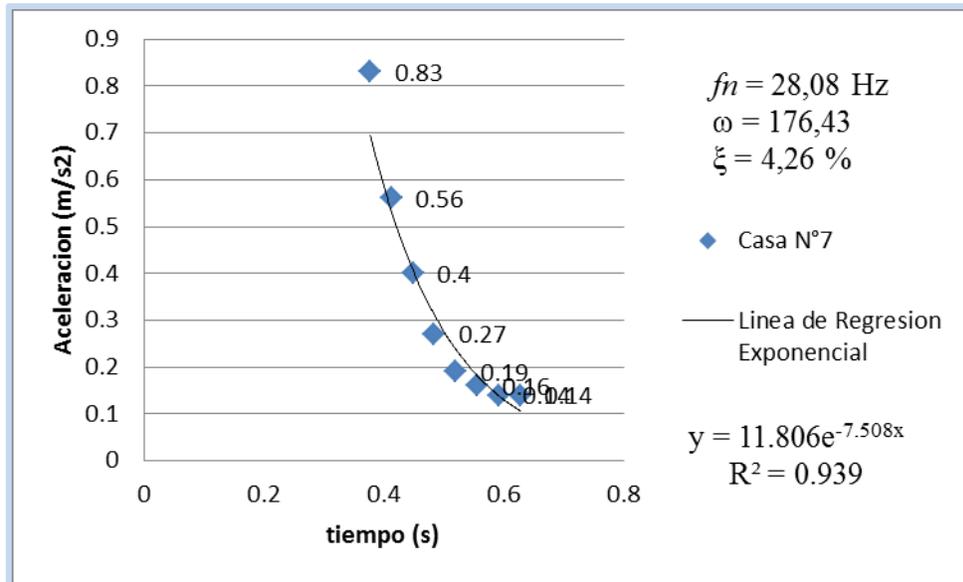


Figura E14. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.9%

Casa 8

➤ Parte Superior de la Curva

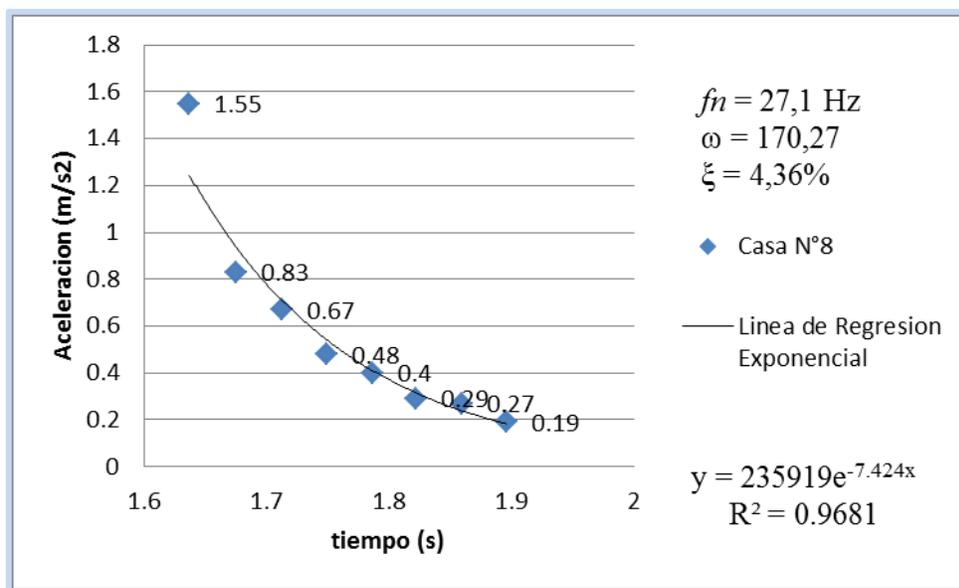


Figura E15. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.81%

➤ Parte Inferior de la Curva

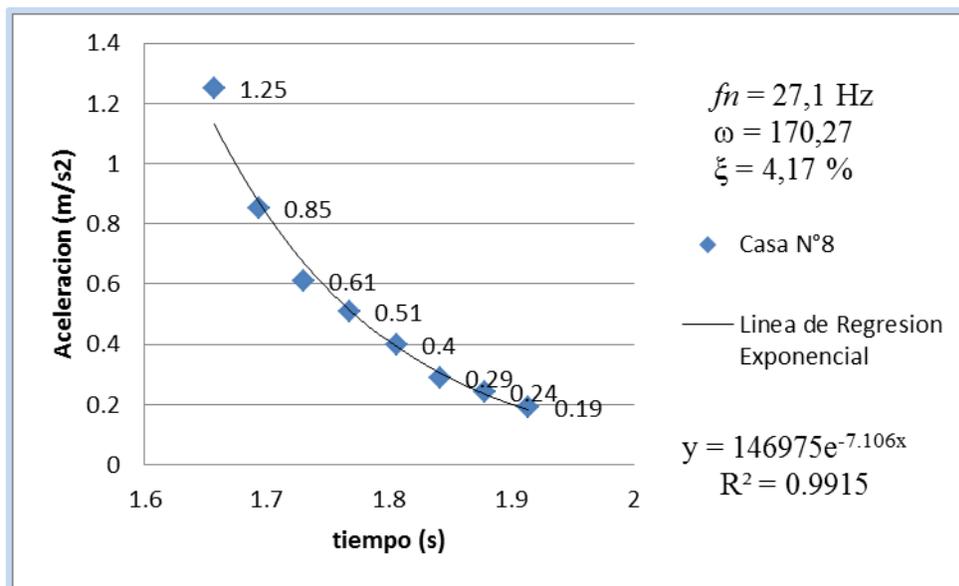


Figura E16. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.15%

Casa 9

➤ Parte Superior de la Curva

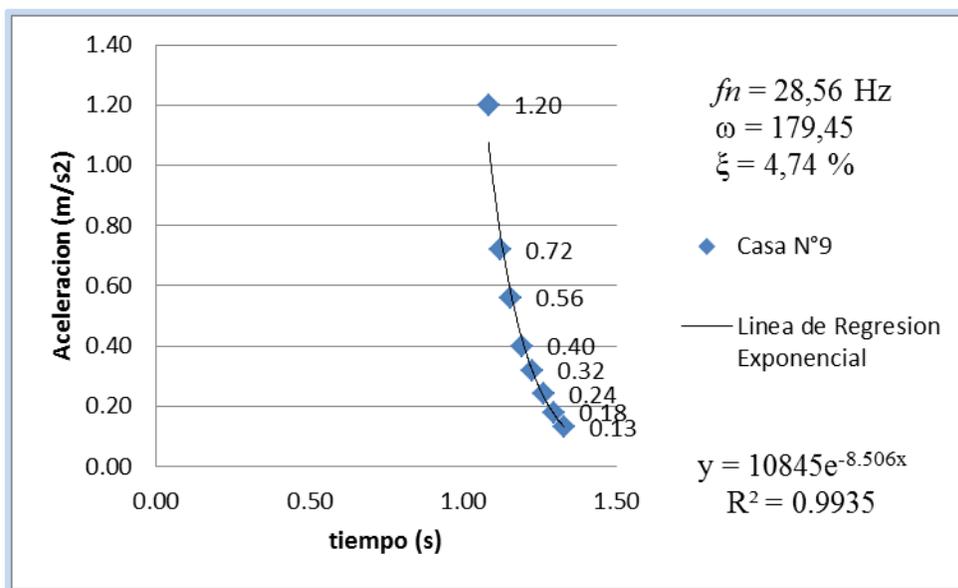


Figura E17. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.35%

➤ Parte Inferior de la Curva

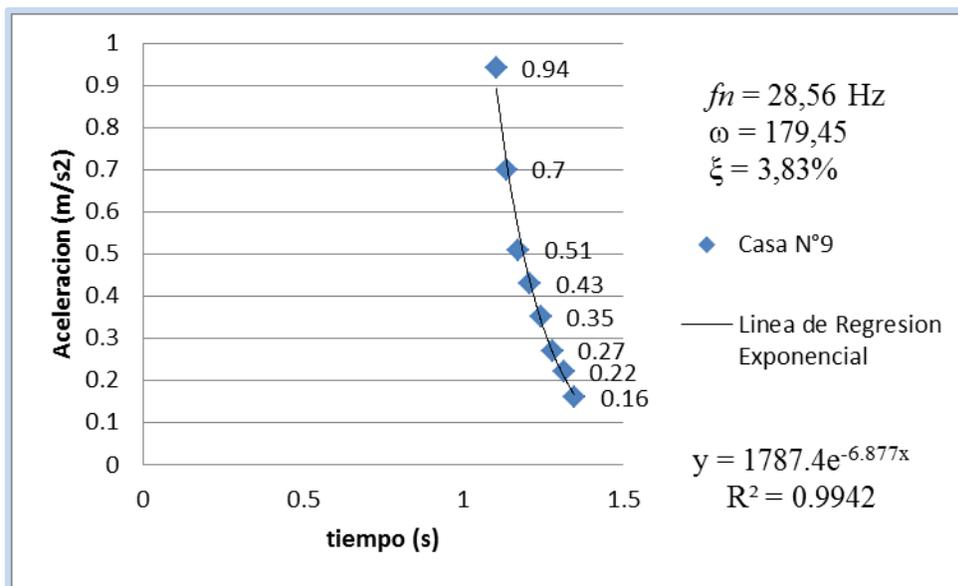


Figura E18. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.42%

Casa 10

➤ Parte Superior de la Curva

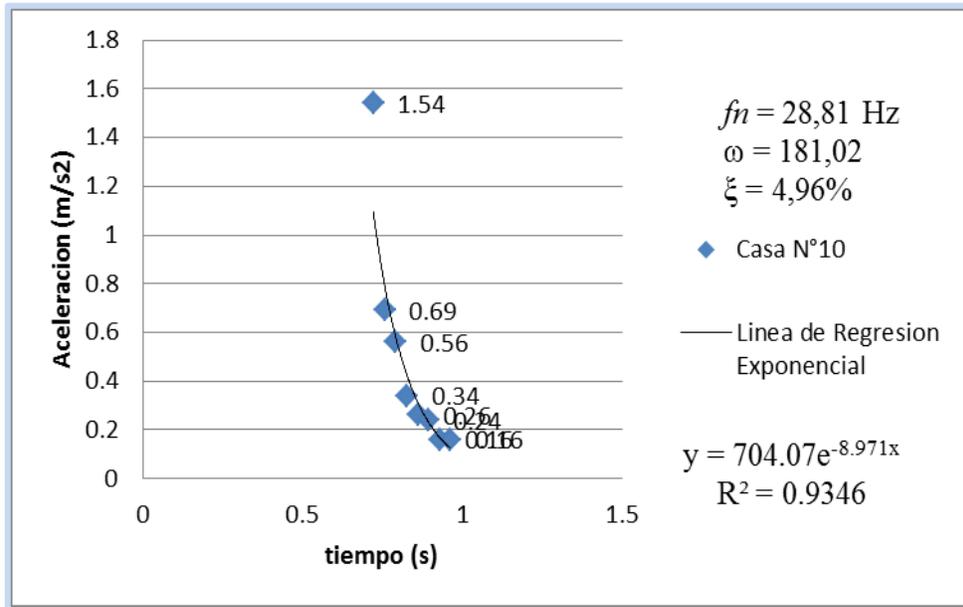


Figura E19. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.46%

➤ Parte Inferior de la Curva

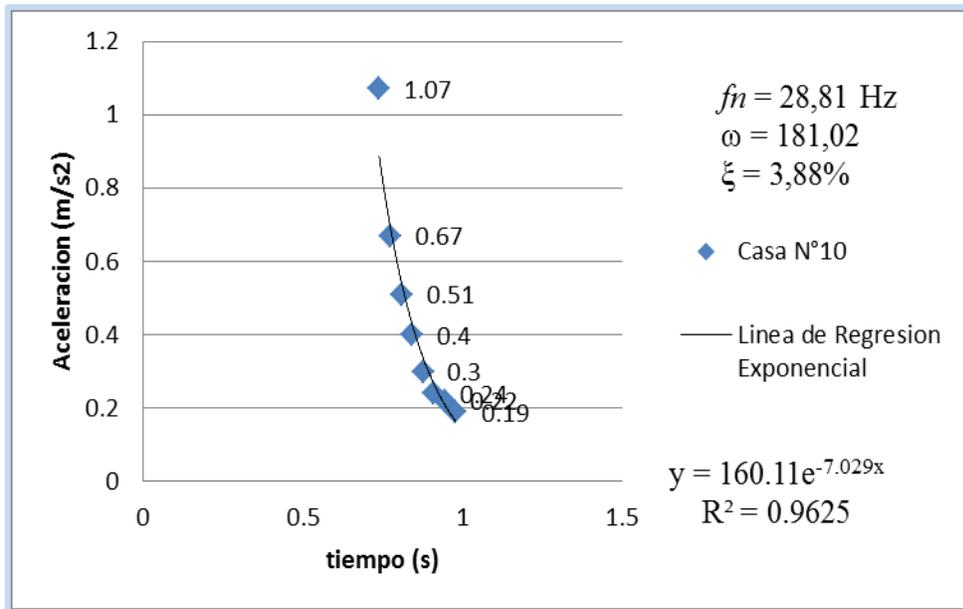


Figura E20. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.25%

Casa 11

➤ Parte Superior de la Curva

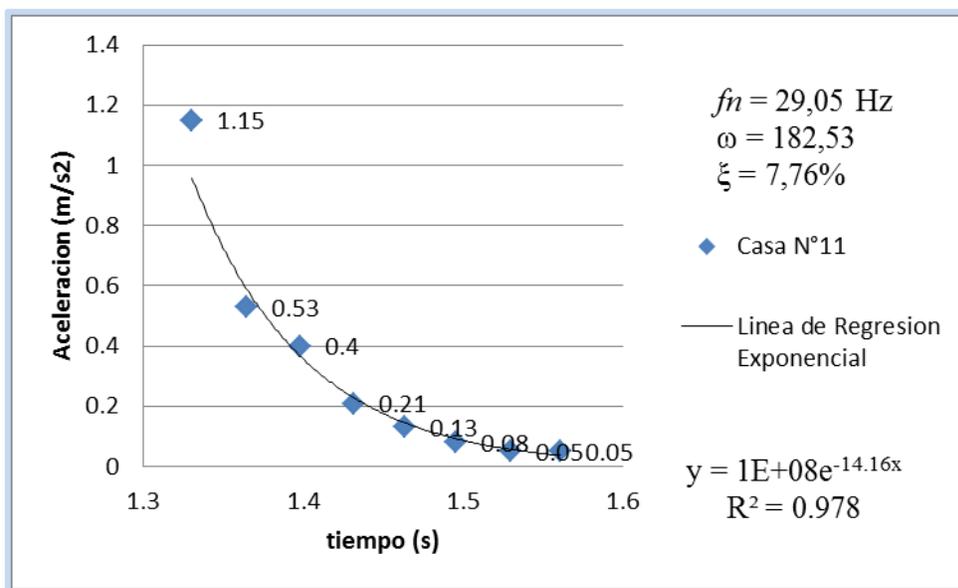


Figura E21. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.8%

➤ Parte Inferior de la Curva

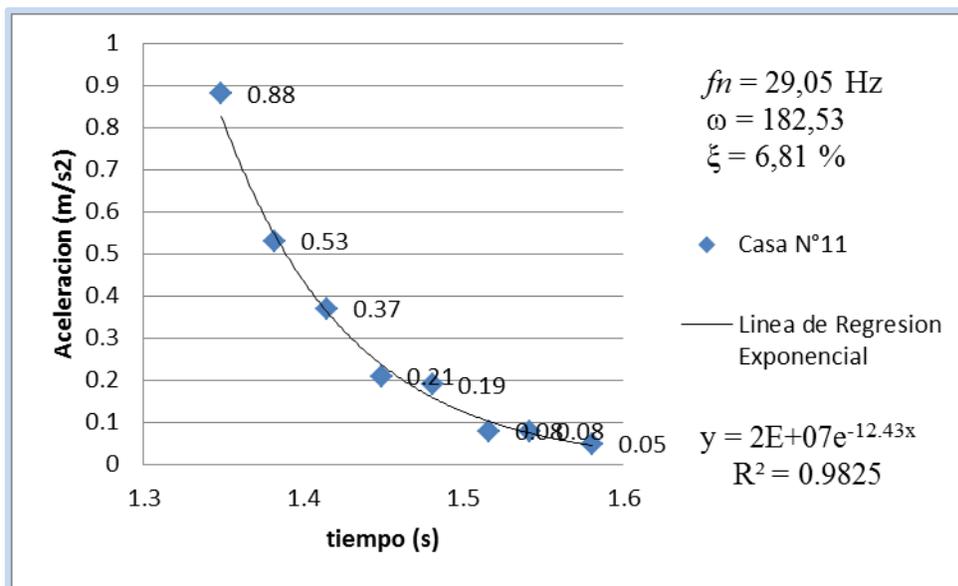


Figura E22. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.25%

Casa 12

➤ Parte Superior de la Curva

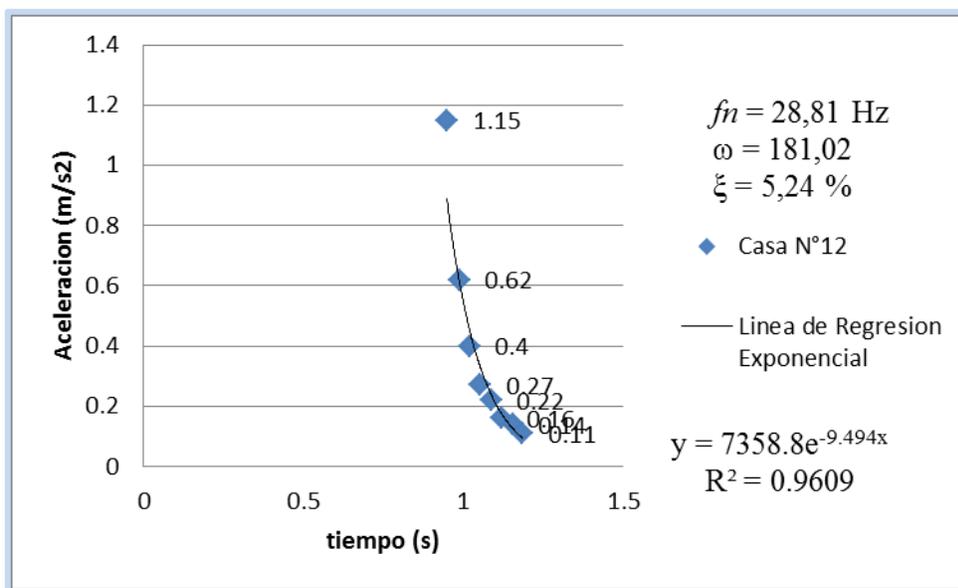


Figura E23. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.09%

➤ Parte Inferior de la Curva

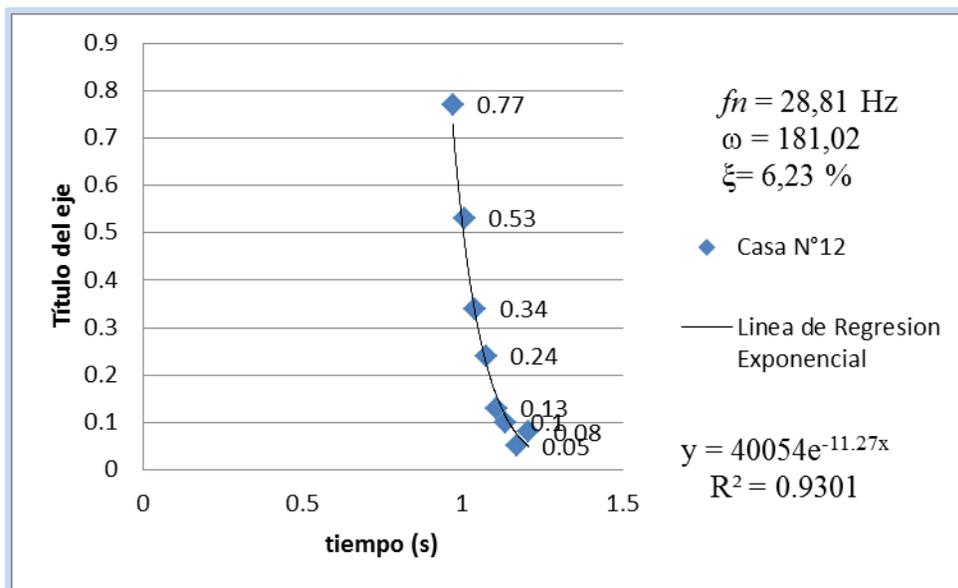


Figura E24. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.01%

Casa 13

➤ Parte Superior de la Curva

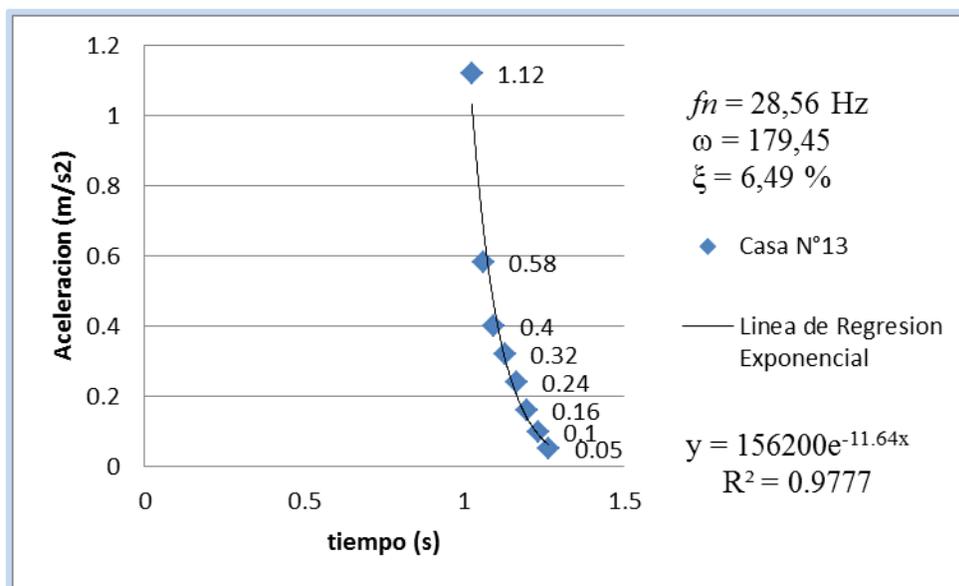


Figura E25. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.77%

➤ Parte Inferior de la Curva

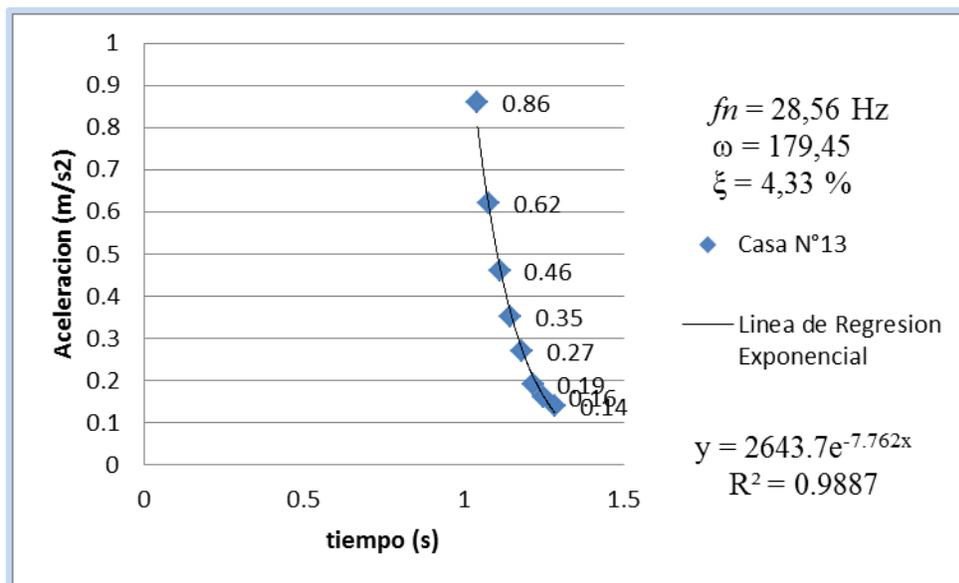


Figura E26. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.87%

Casa 14

➤ Parte Superior de la Curva

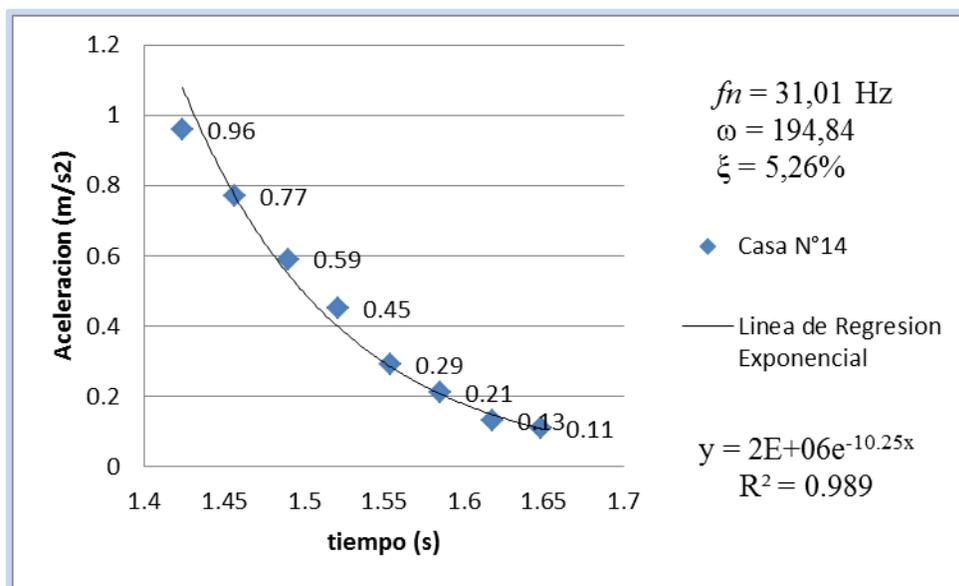


Figura E27. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.9%

➤ Parte Inferior de la Curva

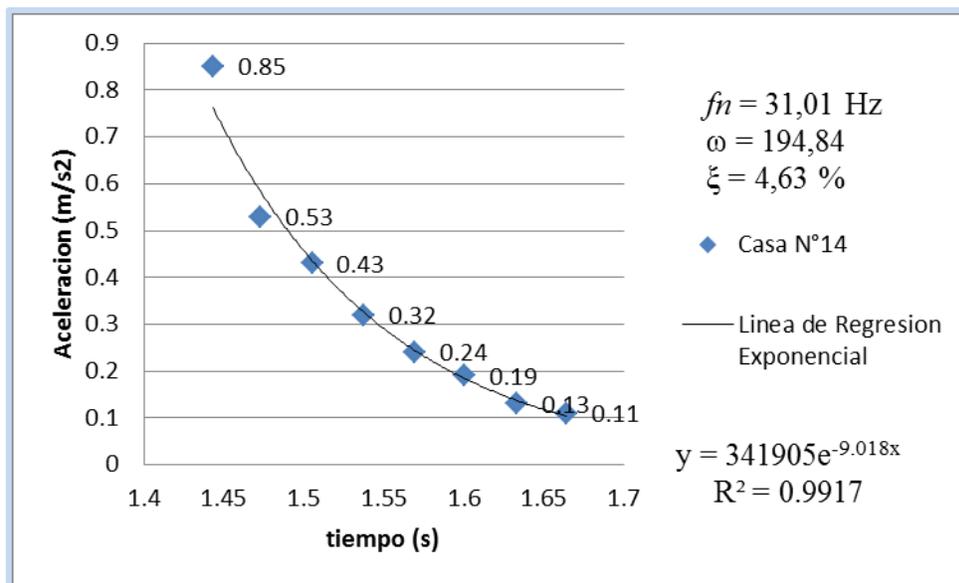


Figura E28. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.17%

Casa 15

➤ Parte Superior de la Curva

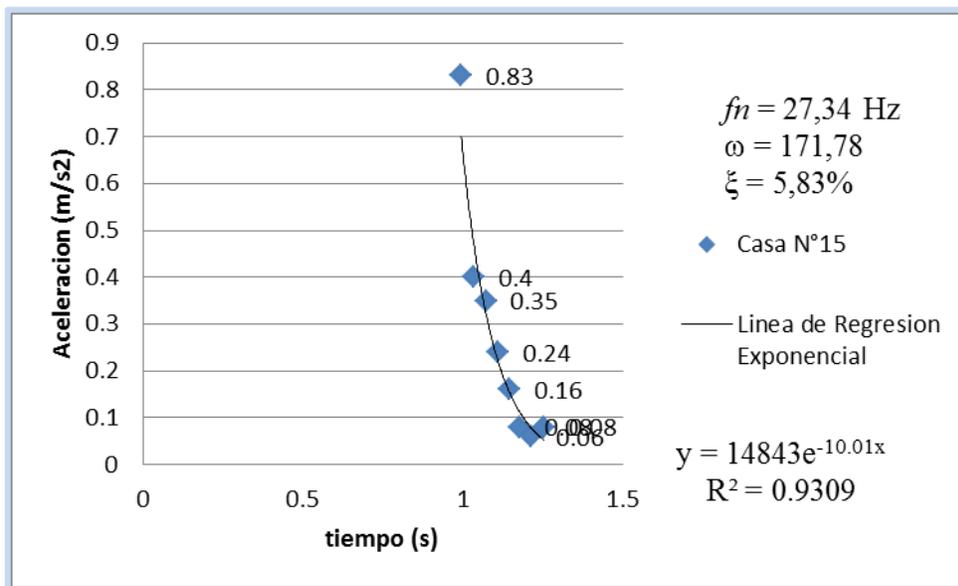


Figura E29. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.09%

➤ Parte Inferior de la Curva

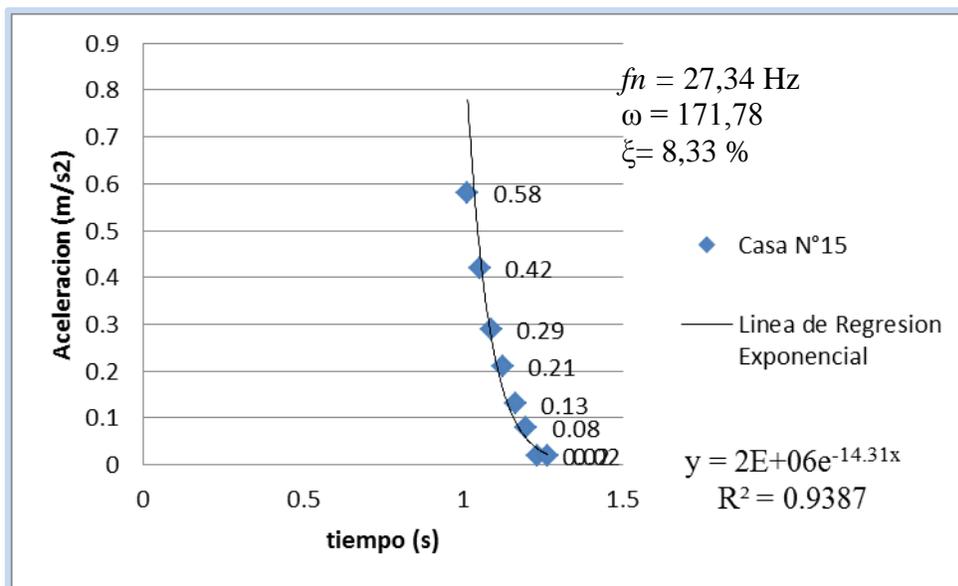


Figura E30. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 93.87%

A continuación se presentan los valores obtenidos de razón de amortiguamiento a través del método de decaimiento de curva, tanto e la parte superior de la curva como de la inferior los cuales fueron posteriormente promediados para su posterior comparación y evaluación.

Tabla E1. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva

Casas	Dec. de Curva Parte Superior	Dec. de Curva Parte Inferior	% Dec. de Curva
1	5,52%	4,54%	5,03%
2	3,77%	4,45%	4,11%
3	4,18%	4,58%	4,38%
4	6,38%	4,28%	5,33%
5	5,51%	6,26%	5,88%
6	8,60%	8,91%	8,76%
7	4,09%	4,26%	4,17%
8	4,36%	4,17%	4,27%
9	4,74%	3,83%	4,29%
10	4,98%	3,88%	4,42%
11	7,76%	6,81%	7,28%
12	5,24%	6,23%	5,74%
13	6,49%	4,33%	5,41%
14	5,26%	4,63%	4,94%
15	5,83%	8,33%	7,08%

❖ Viviendas Modelo B

Casa 1

➤ Parte Superior de la Curva

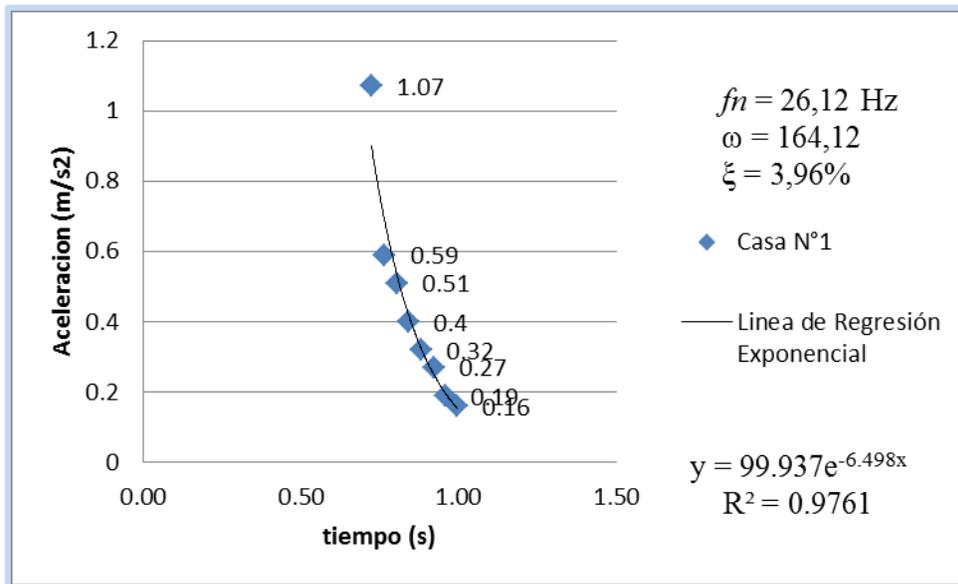


Figura E31. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.61%

➤ Parte Inferior de la Curva

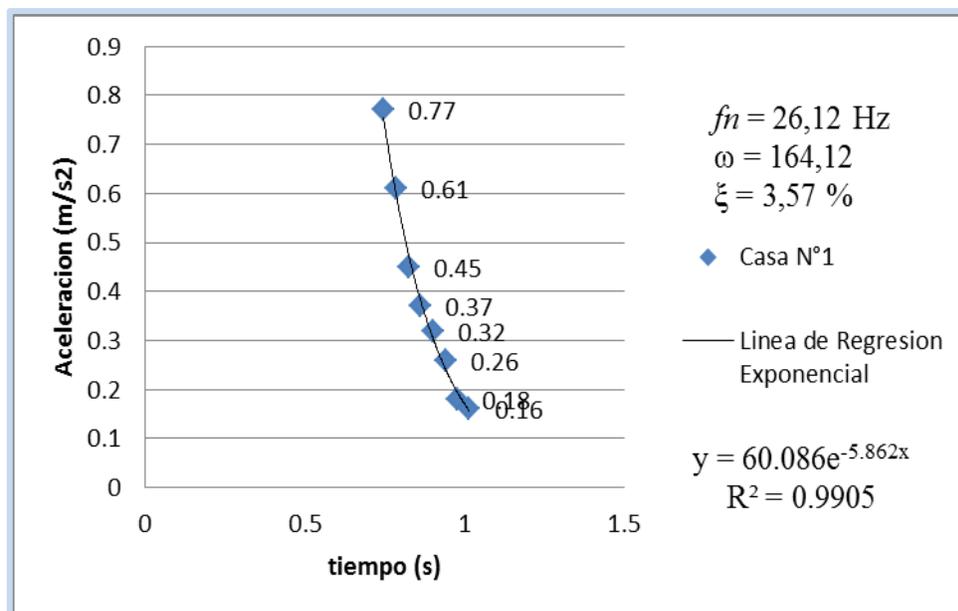


Figura E32. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.05%

Casa 2

➤ Parte Superior de la Curva

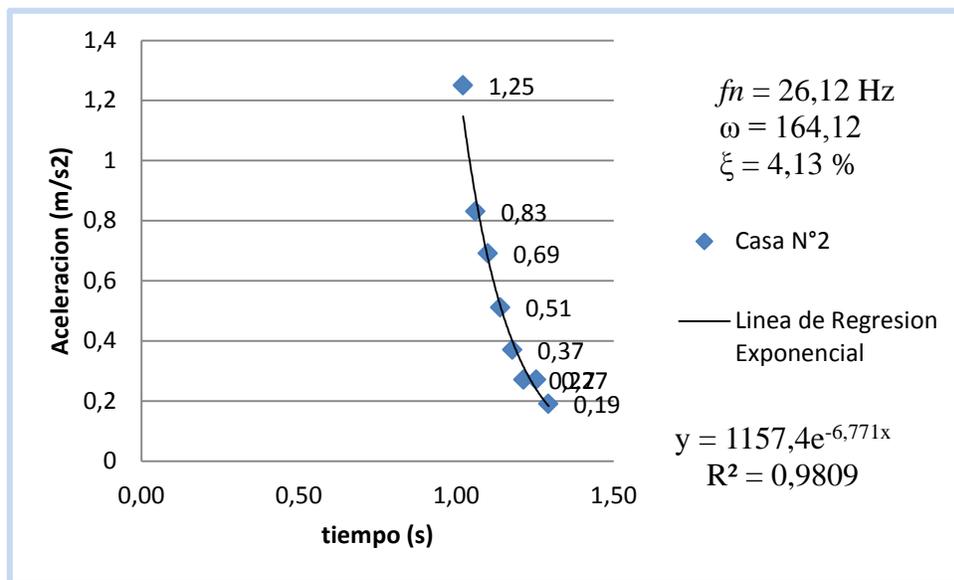


Figura E33. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.09%

➤ Parte Inferior de la Curva

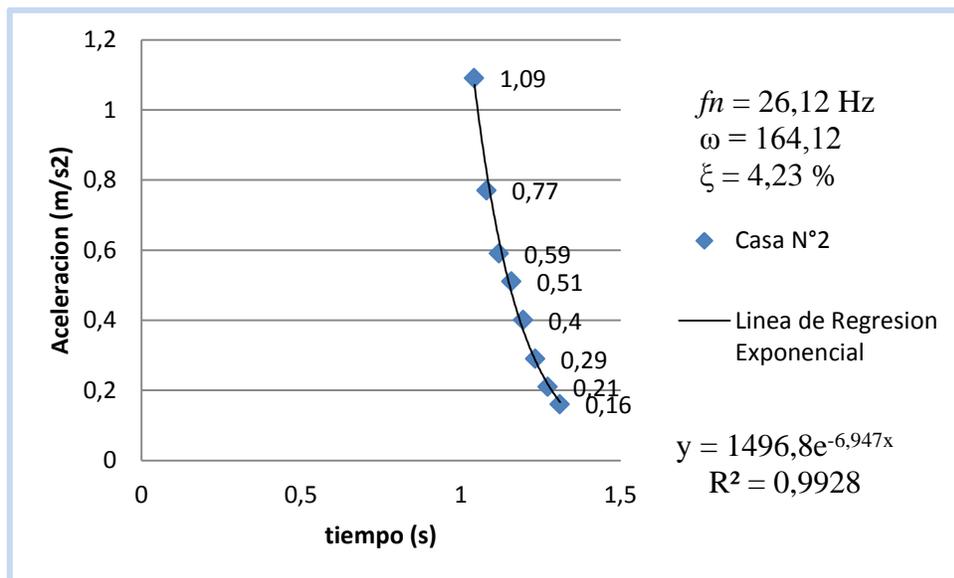


Figura E34. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.28%

Casa 3

➤ Parte Superior de la Curva

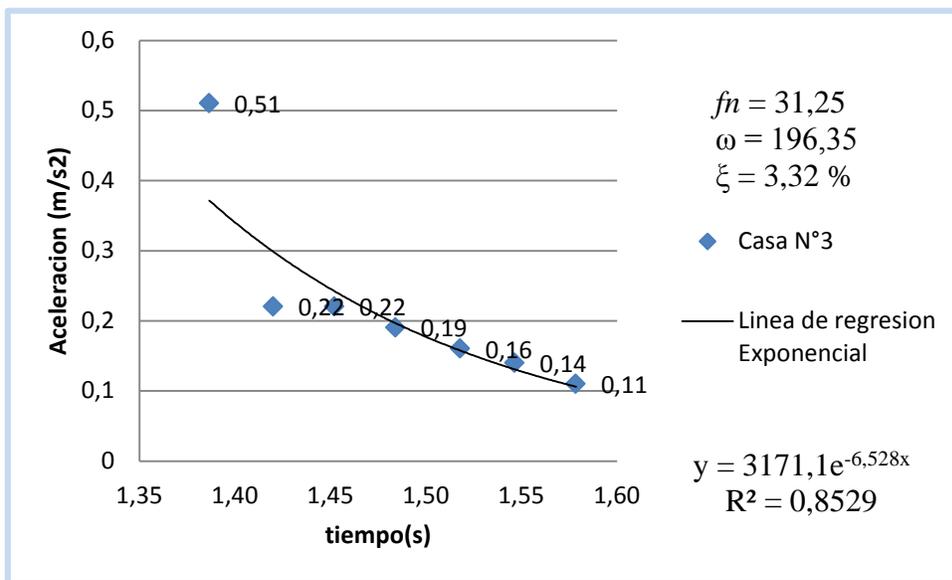


Figura E35. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 85.29%

➤ Parte Inferior de la Curva

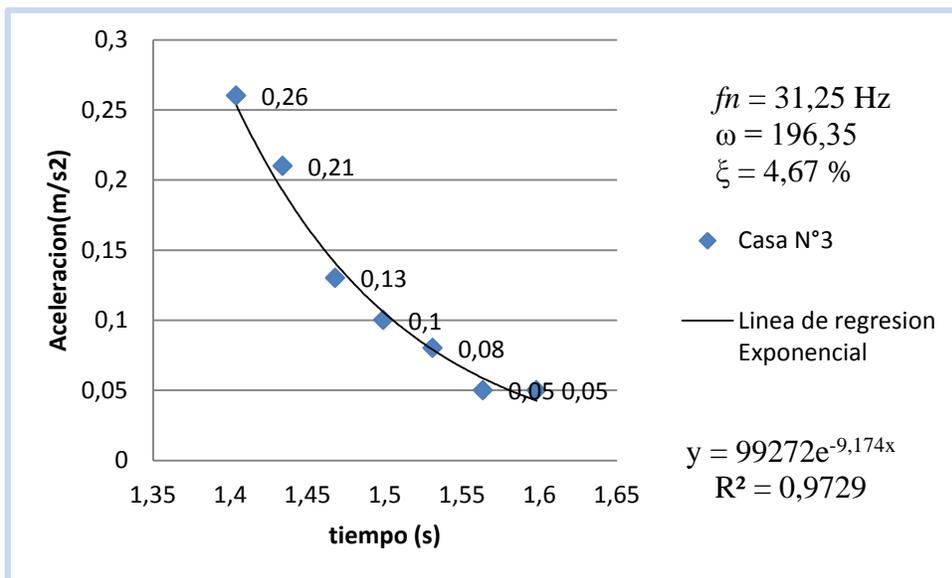


Figura E36. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.29%

Casa 4

➤ Parte Superior de la Curva

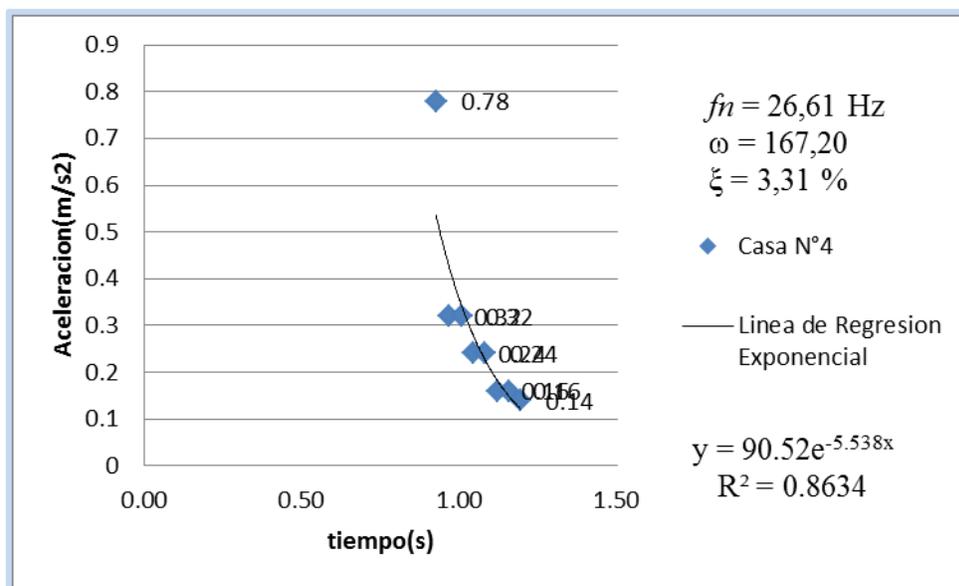


Figura E37. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 86.34%

➤ Parte Inferior de la Curva

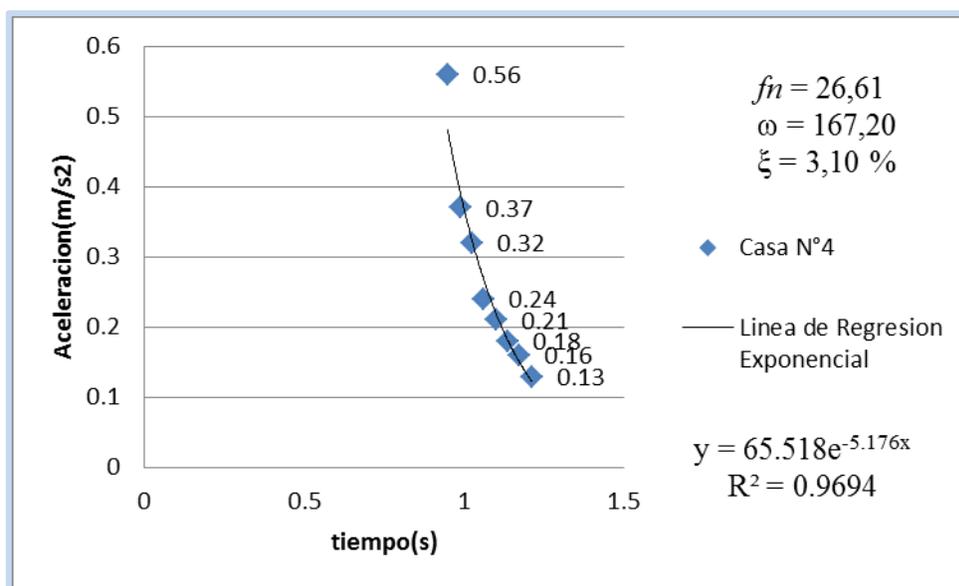


Figura E38. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.94%

Casa 5

➤ Parte Superior de la Curva

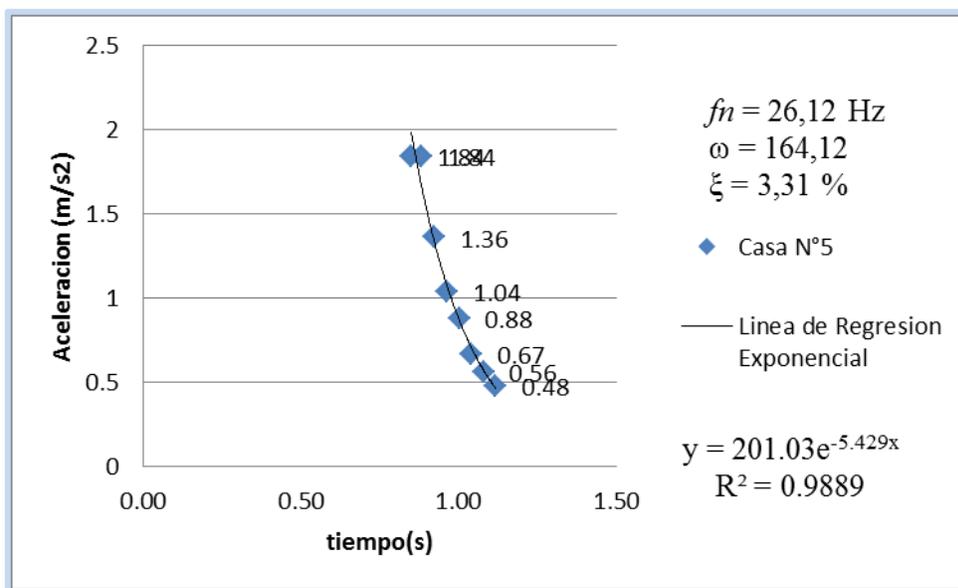


Figura E39. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.89%

➤ Parte Inferior de la Curva

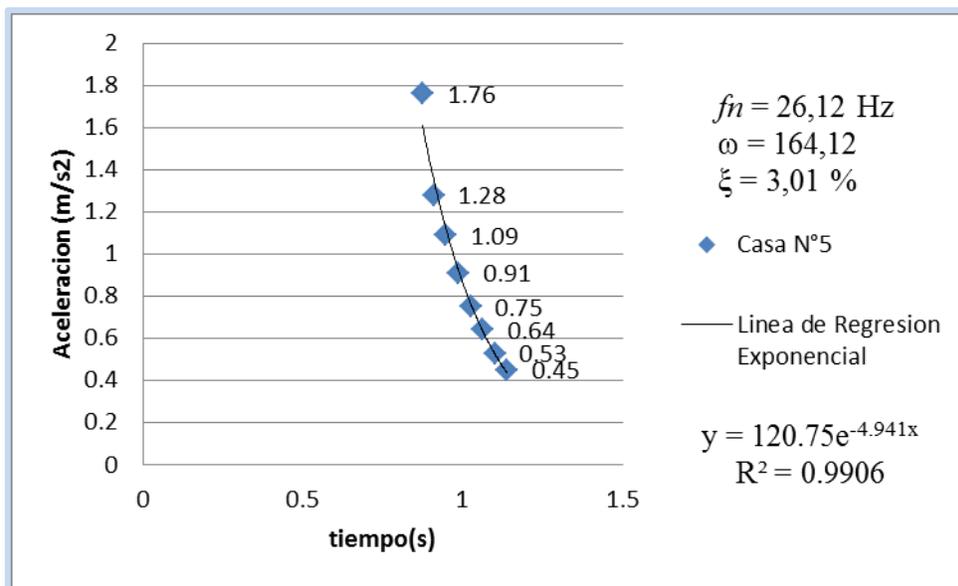


Figura E40. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.06%

Casa 6

➤ Parte Superior de la Curva

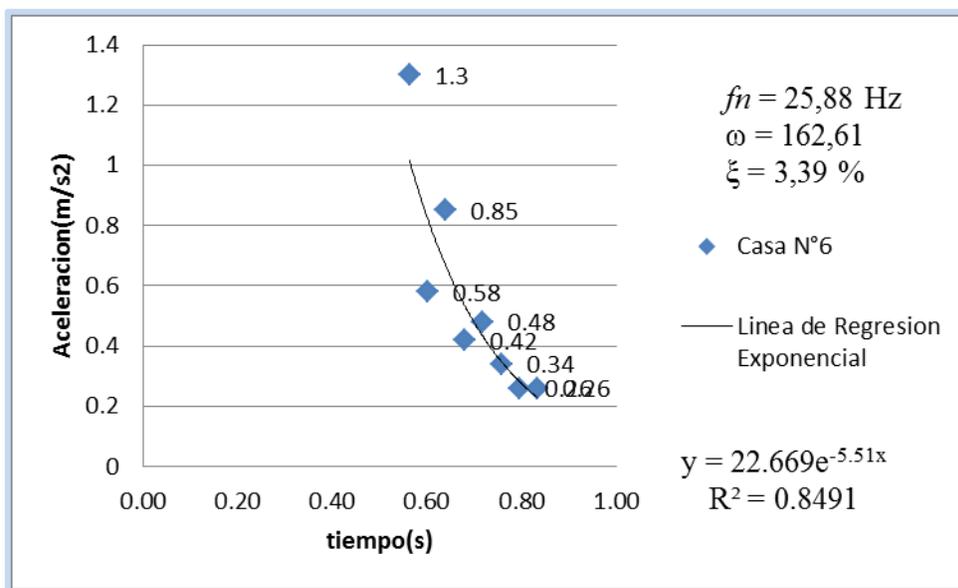


Figura E41. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 84.91%

➤ Parte Inferior de la Curva

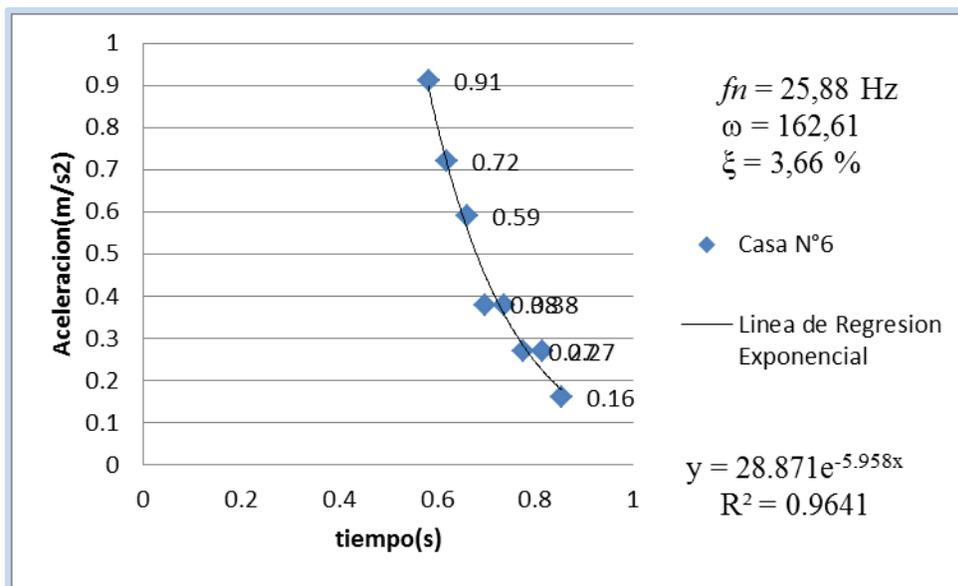


Figura E42. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 96.41%

Casa 7

➤ Parte Superior de la Curva

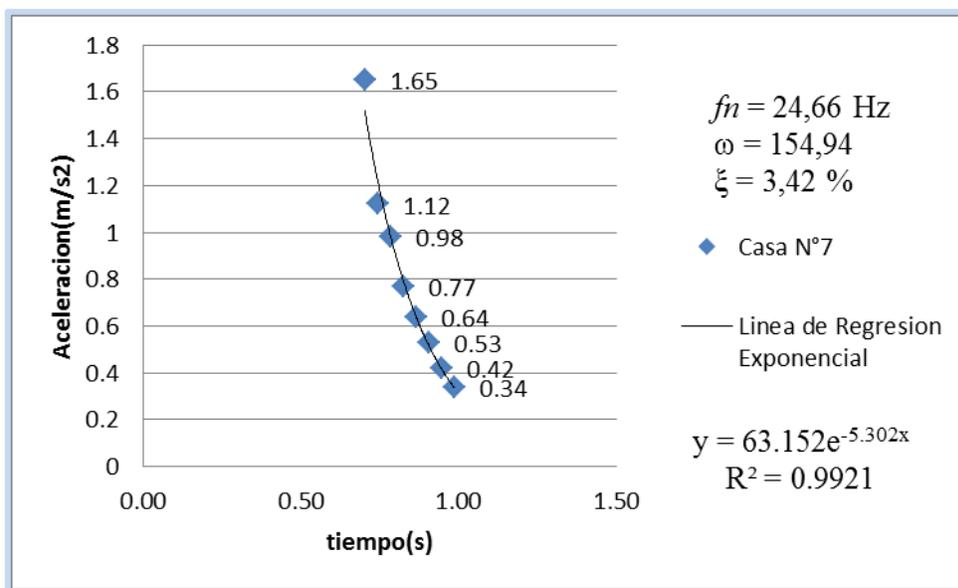


Figura E43. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.21%

➤ Parte Inferior de la Curva

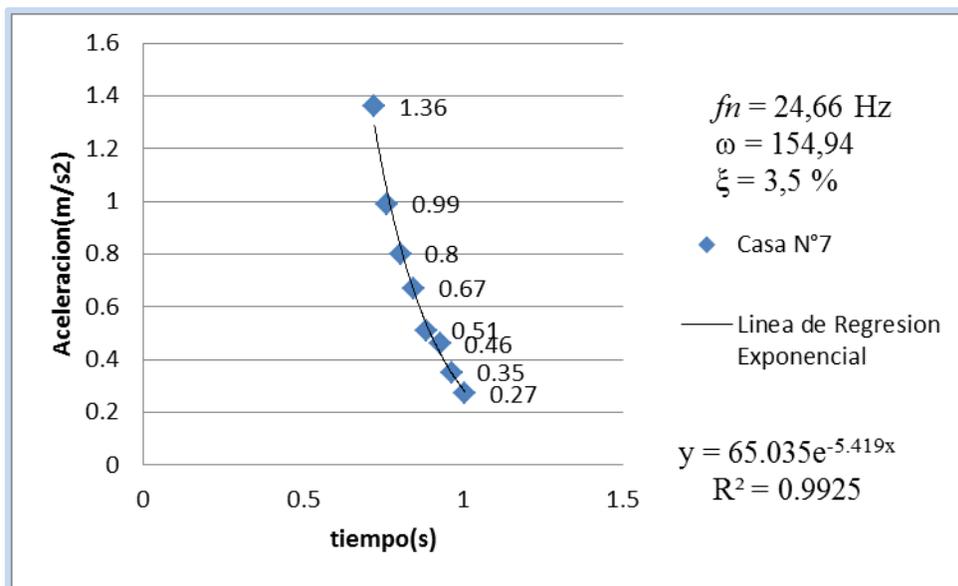


Figura E44. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.25%

Casa 8

➤ Parte Superior de la Curva

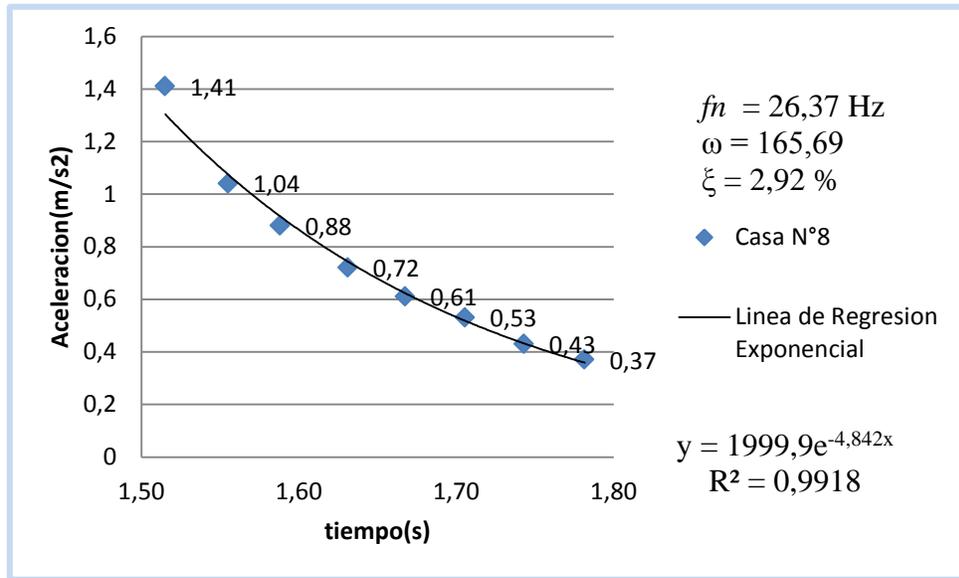


Figura E45. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.18%

➤ Parte Inferior de la Curva

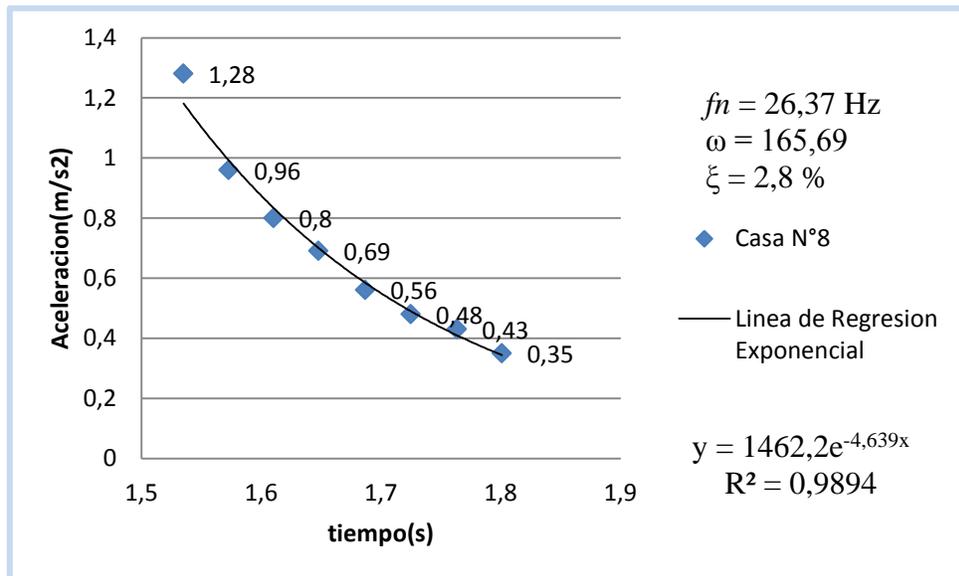


Figura E46. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.94%

Casa 9

➤ Parte Superior de la Curva

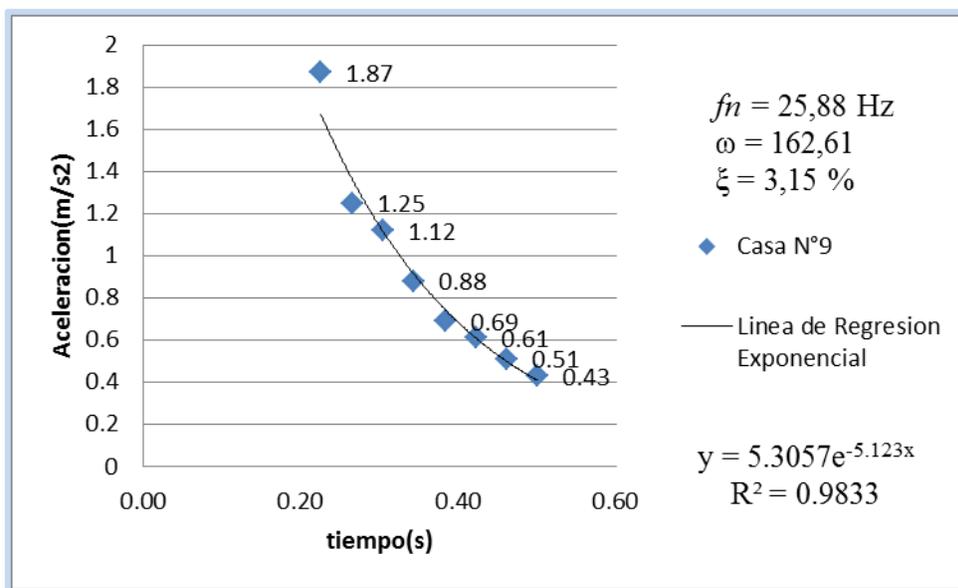


Figura E47. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.33%

➤ Parte Inferior de la Curva

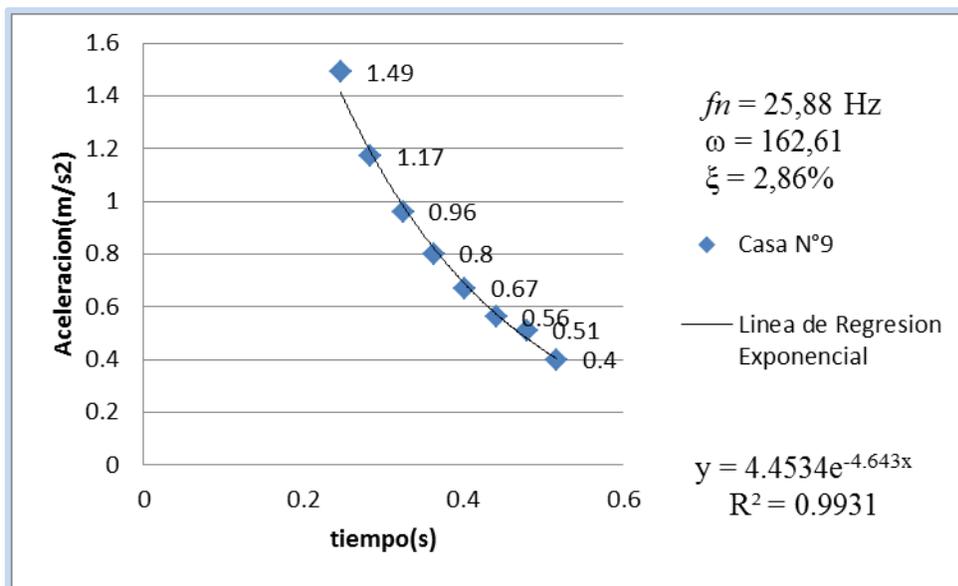


Figura E48. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.31%

Casa 10

➤ Parte Superior de la Curva

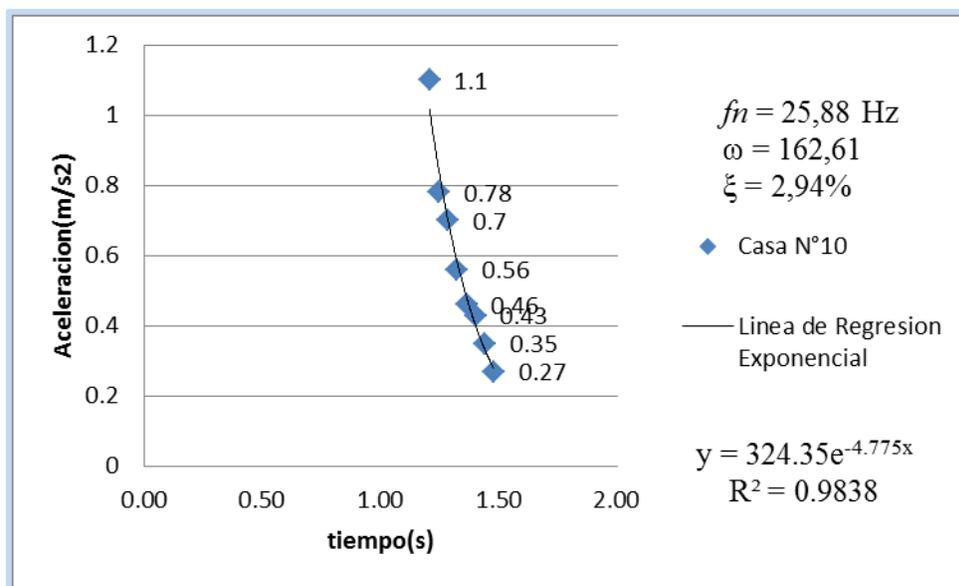


Figura E49. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.38%

➤ Parte Inferior de la Curva

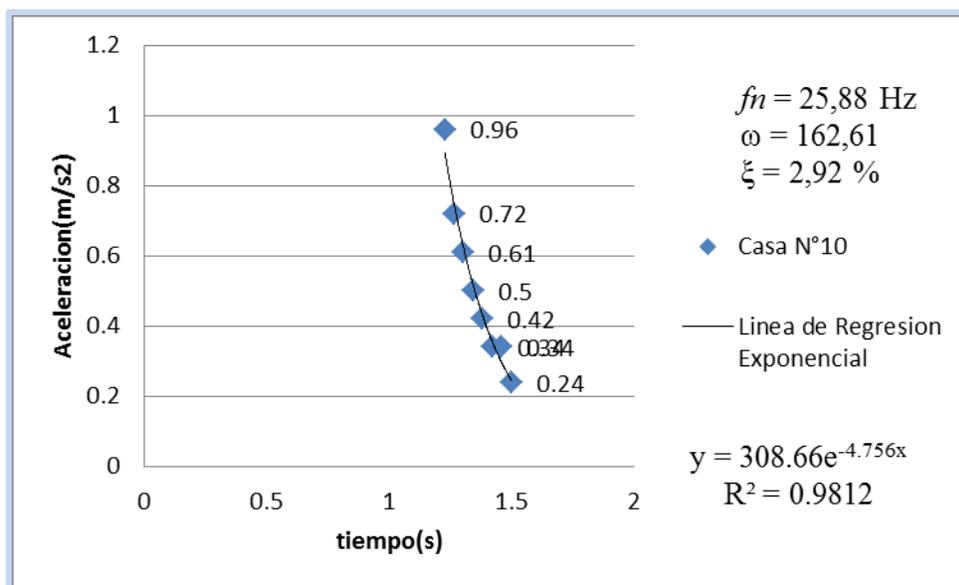


Figura E50. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.12%

Casa 11

➤ Parte Superior de la Curva

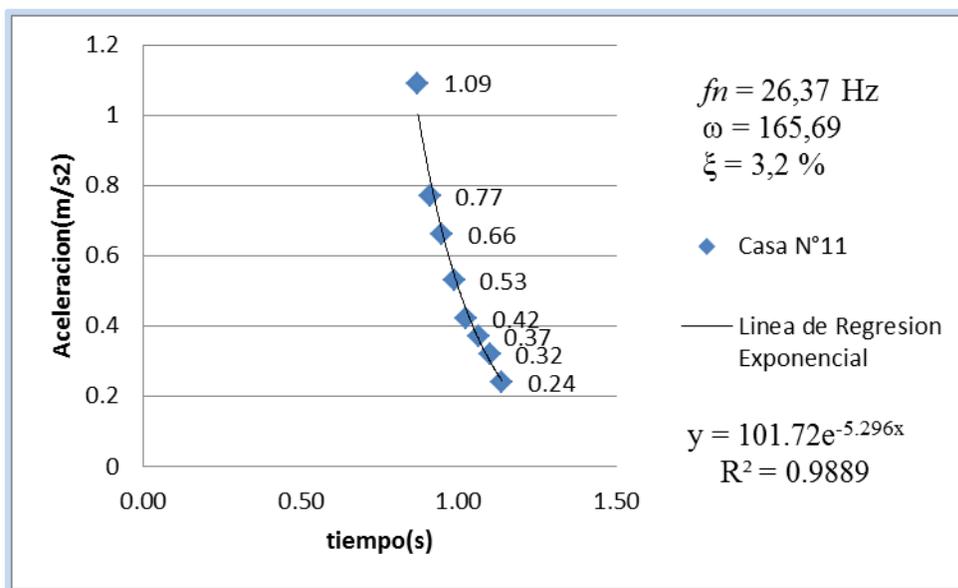


Figura E51. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.89%

➤ Parte Inferior de la Curva

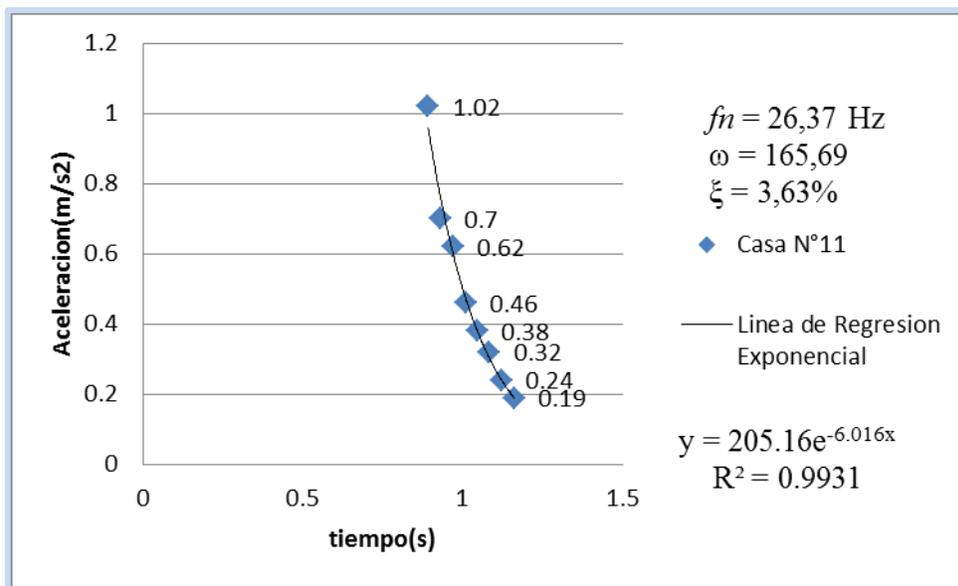


Figura E52. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.31%

Casa 12

➤ Parte Superior de la Curva

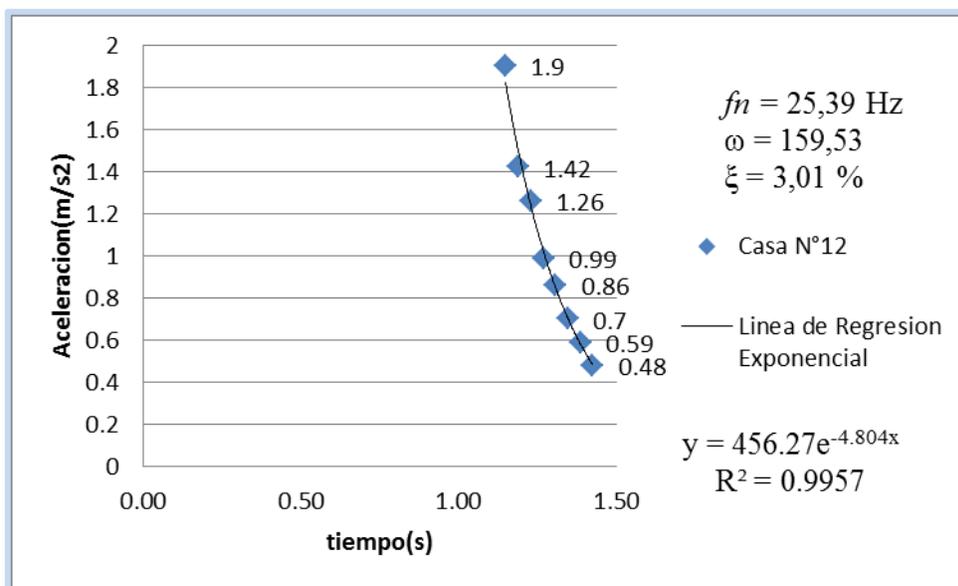


Figura E53. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.57%

➤ Parte Inferior de la Curva

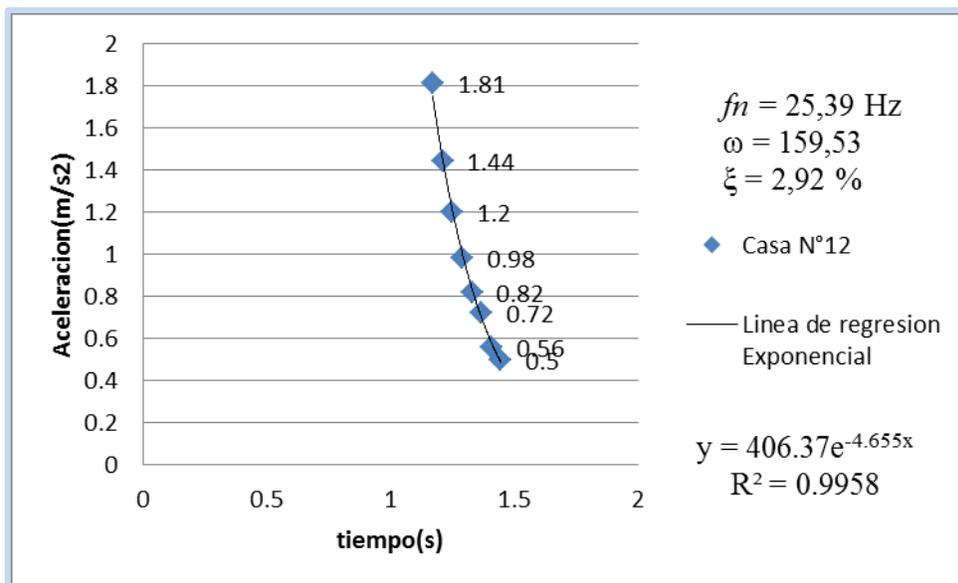


Figura E54. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.58%

Casa 13

➤ Parte Superior de la Curva

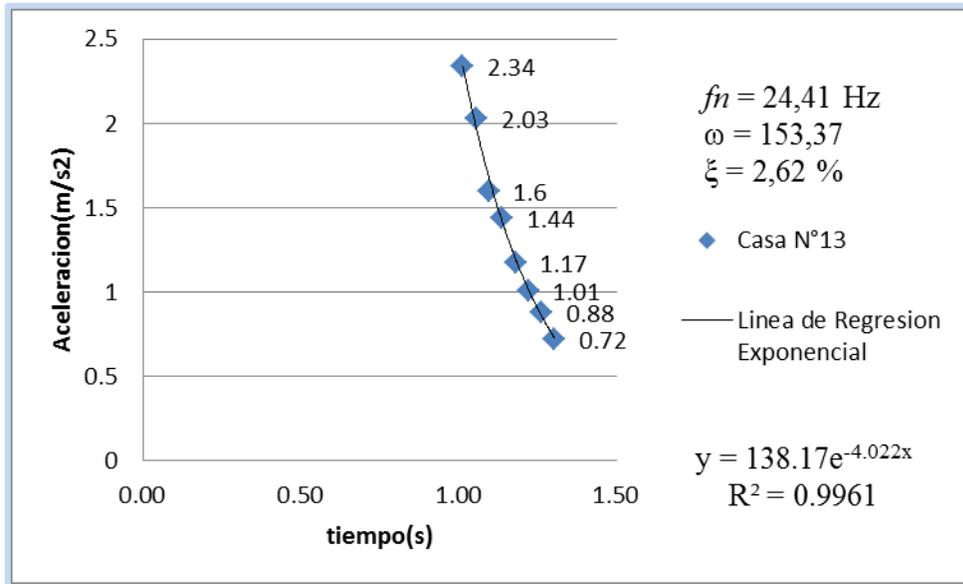


Figura E55. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.61%

➤ Parte Inferior de la Curva

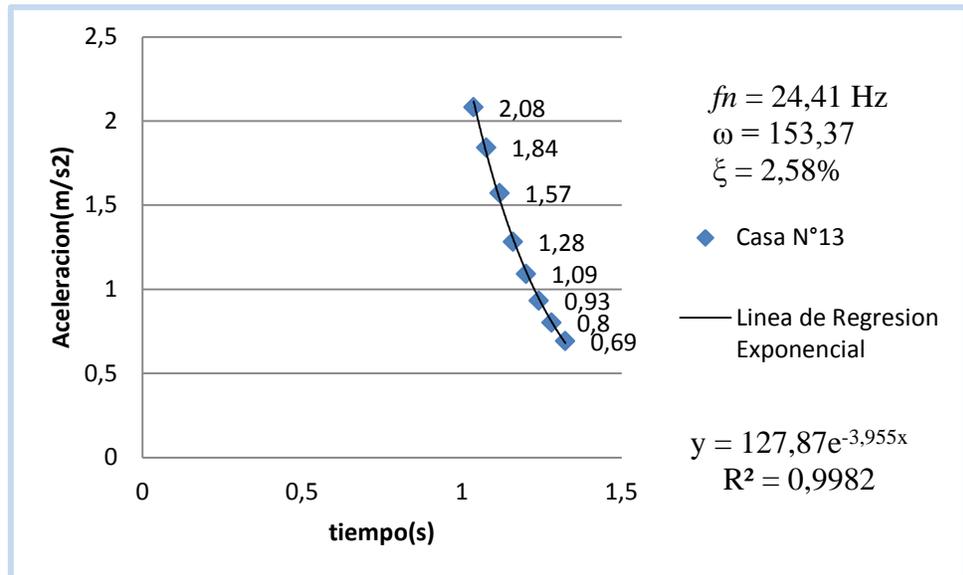


Figura E56. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.82%

Casa 14

➤ Parte Superior de la Curva

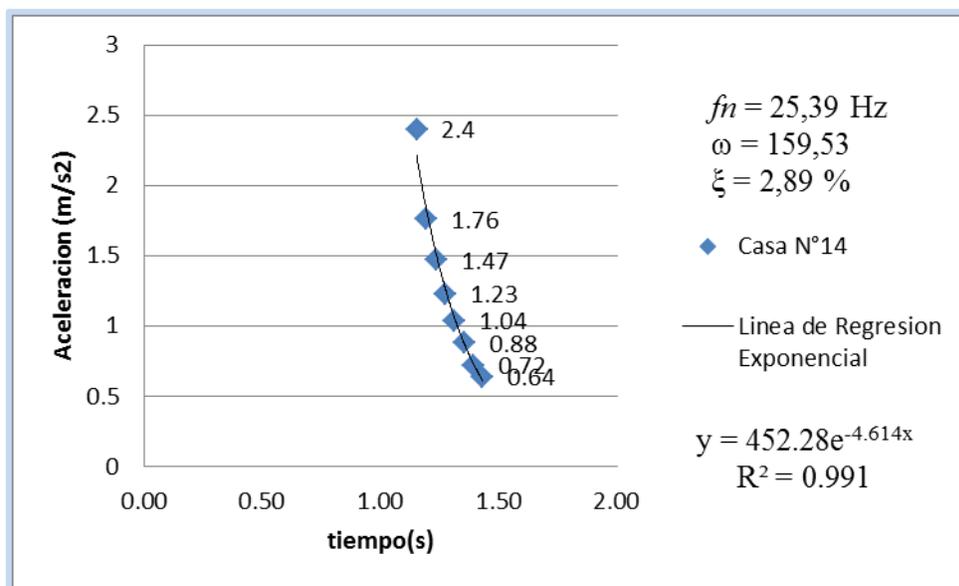


Figura E57. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.1%

➤ Parte Inferior de la Curva

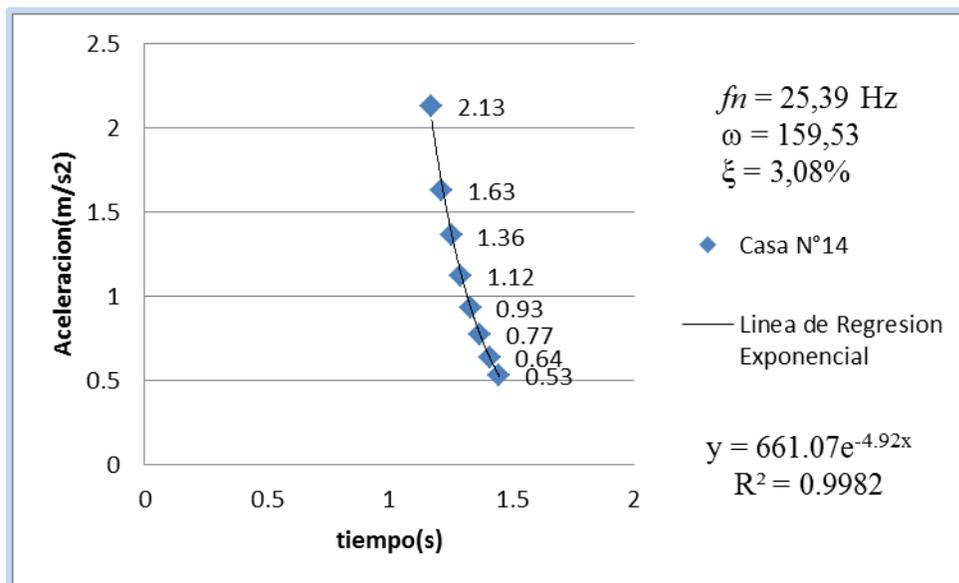


Figura E58. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.82%

Casa 15

➤ Parte Superior de la Curva

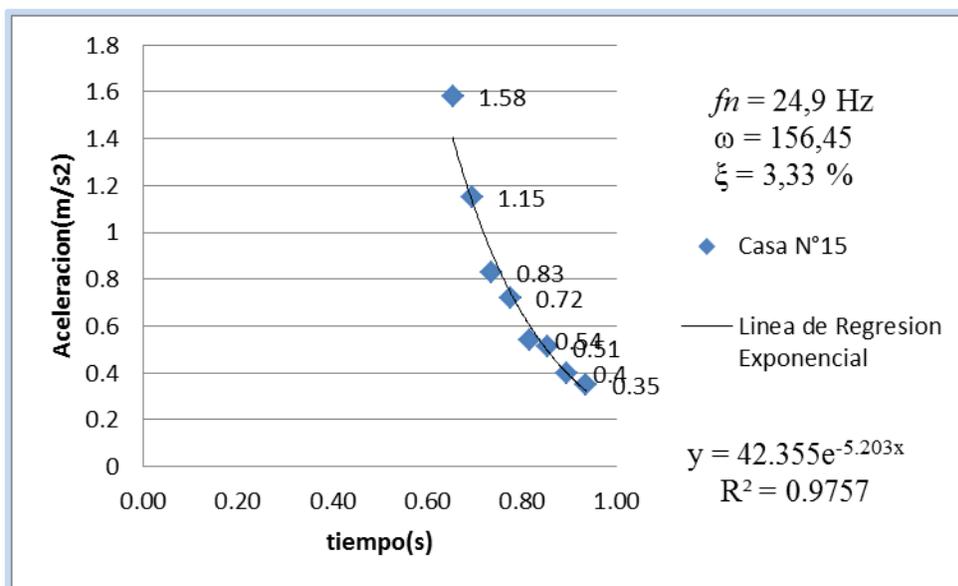


Figura E59. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.57%

➤ Parte Inferior de la Curva

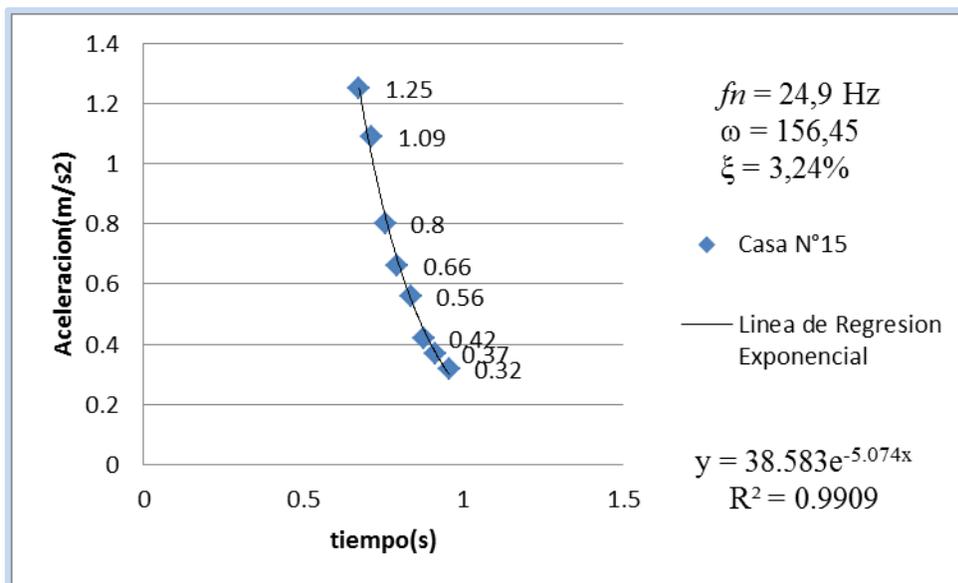


Figura E60. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.09%

Casa 16

➤ Parte Superior de la Curva

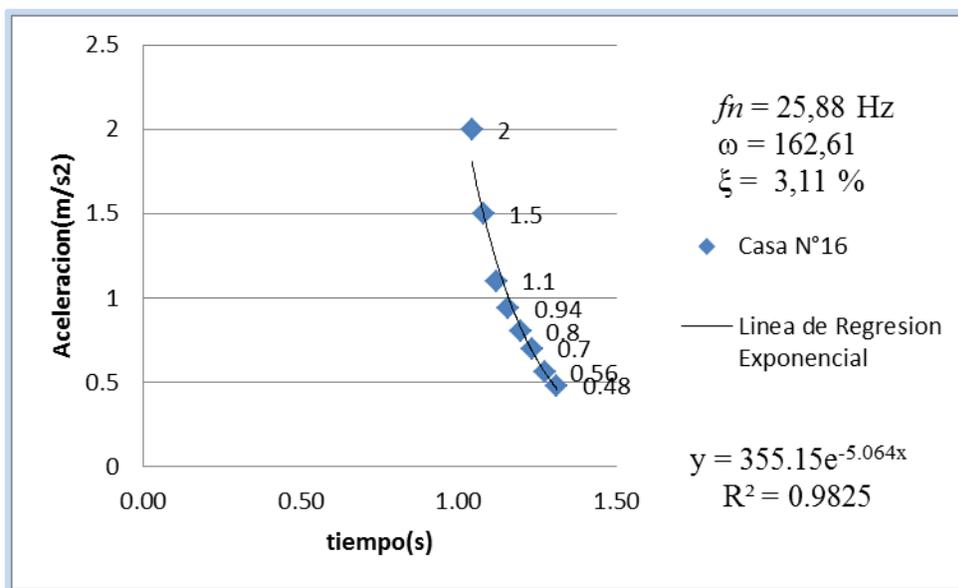


Figura E61. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.25%

➤ Parte Inferior de la Curva

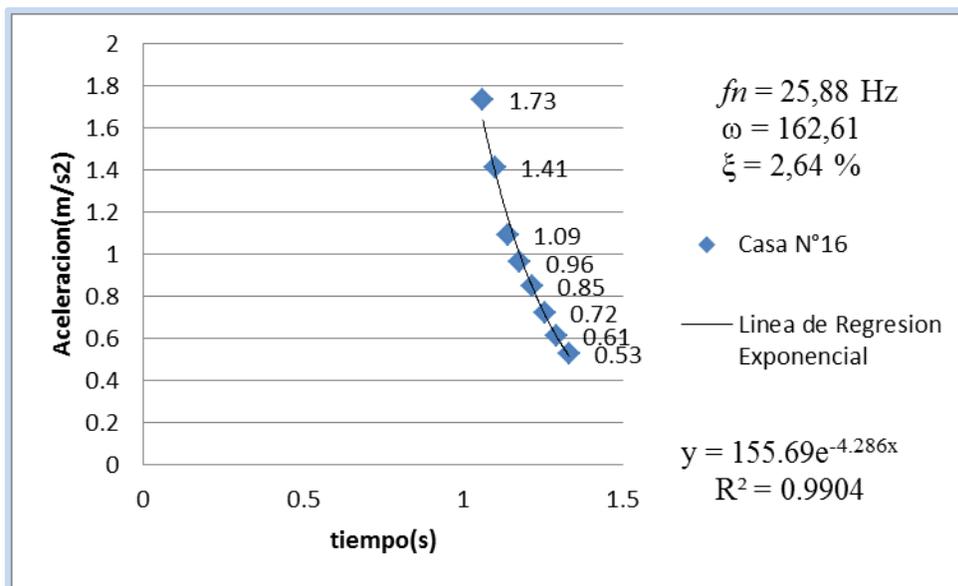


Figura E62. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.04%

Casa 17

➤ Parte Superior de la Curva

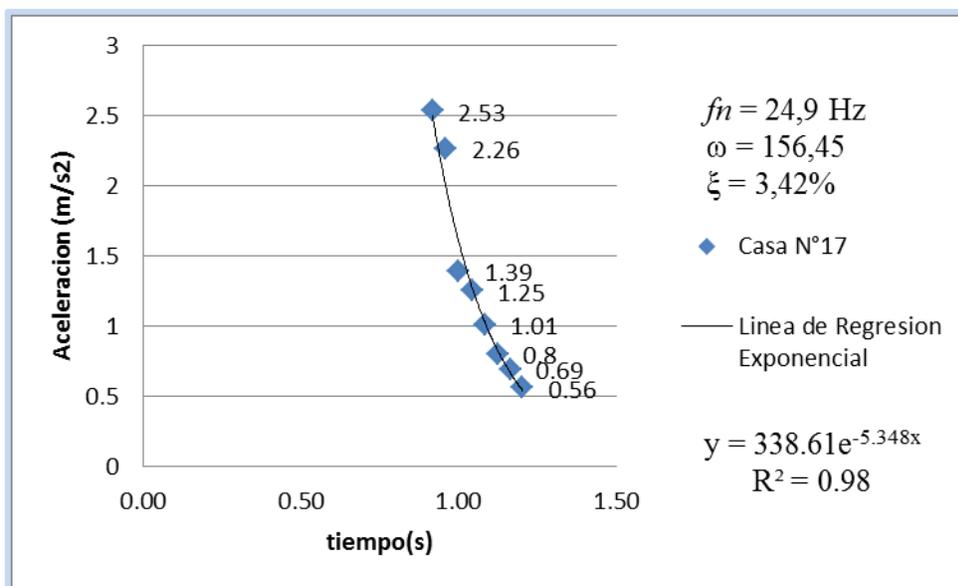


Figura E63. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98%

➤ Parte Inferior de la Curva

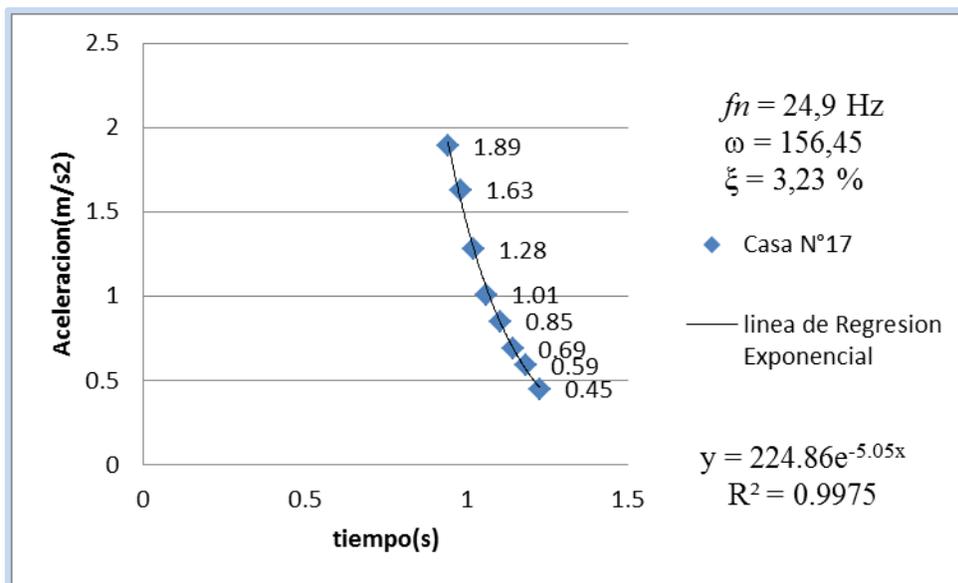


Figura E64. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.75%

Casa 18

➤ Parte Superior de la Curva

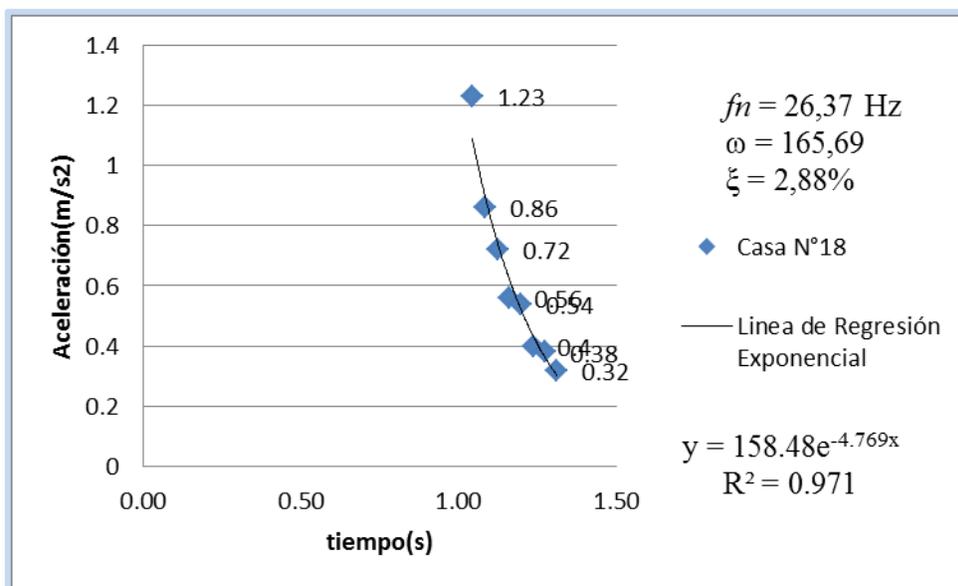


Figura E65. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.1%

➤ Parte Inferior de la Curva

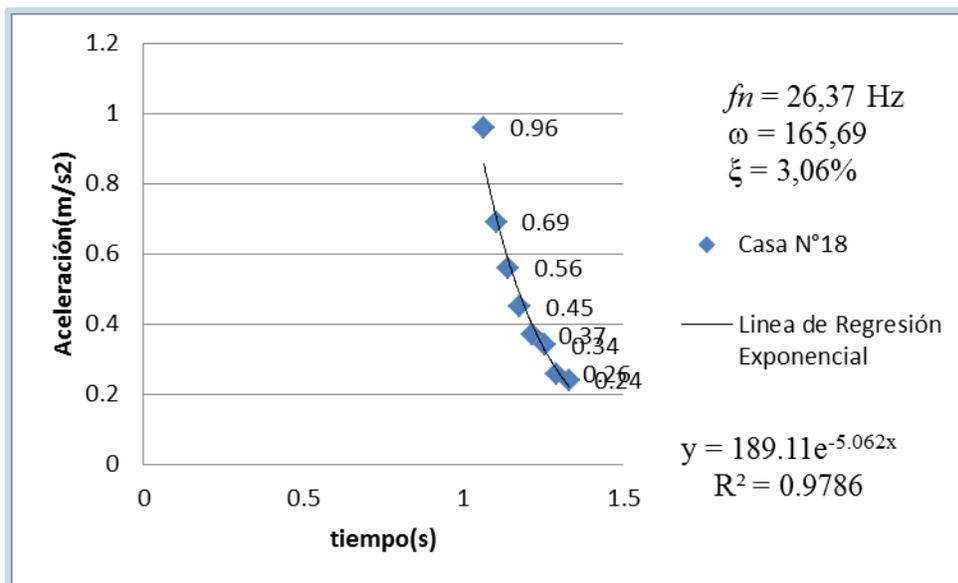


Figura E66. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.86%

Casa 19

➤ Parte Superior de la Curva

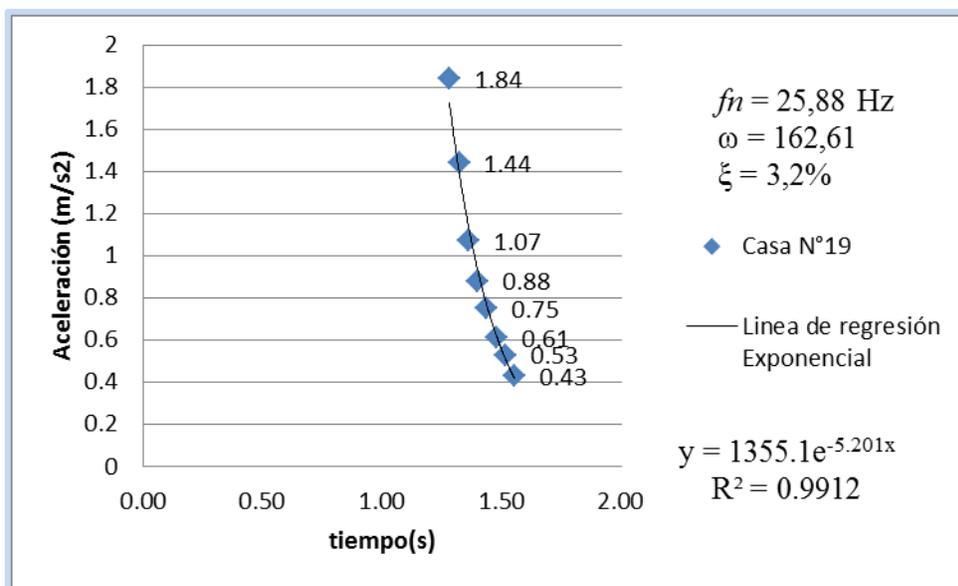


Figura E67. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.12%

➤ Parte Inferior de la Curva

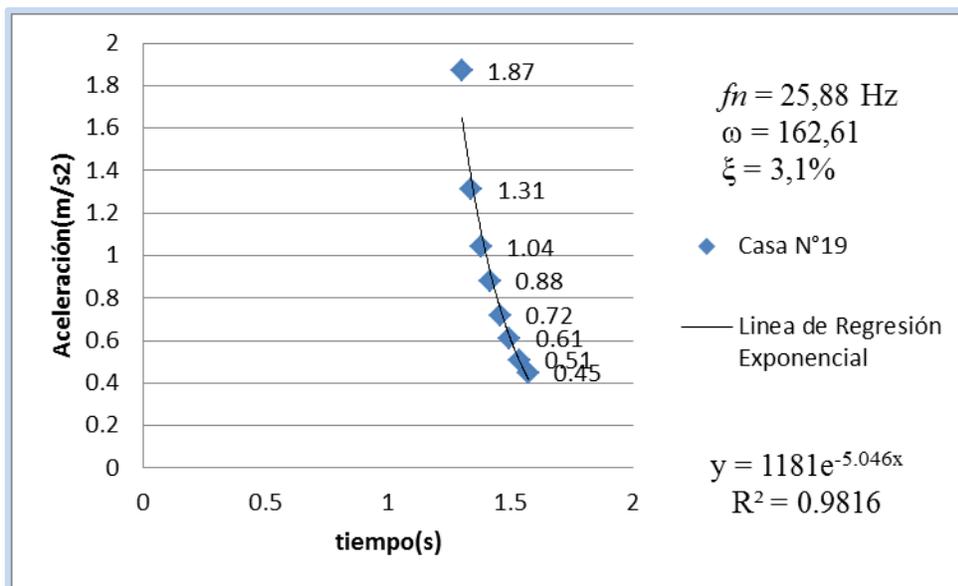


Figura E68. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.16%

Casa 20

➤ Parte Superior de la Curva

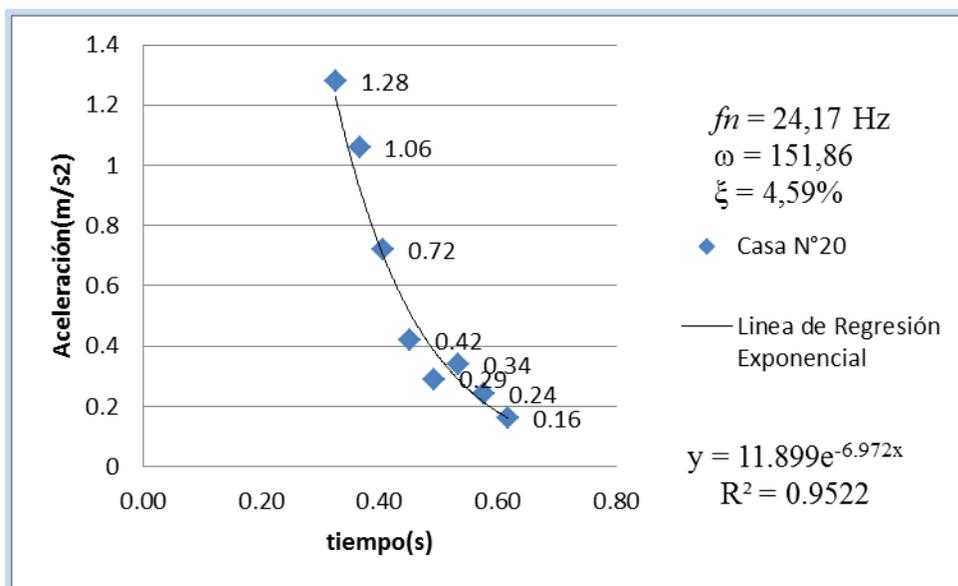


Figura E69. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 95.22%

➤ Parte Inferior de la Curva

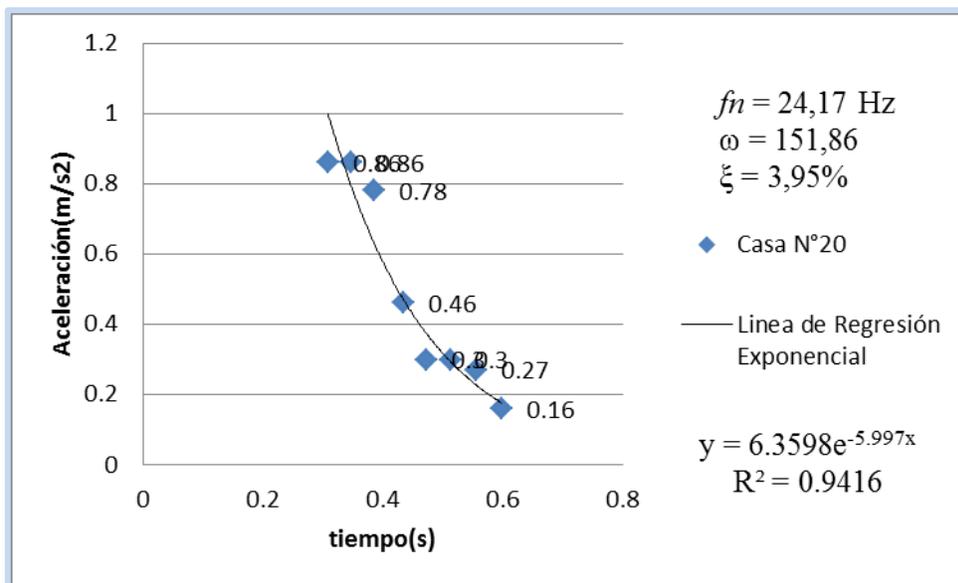


Figura E70. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 94.16%

A continuación se presentan los valores obtenidos de razón de amortiguamiento a través del método de decaimiento de curva, tanto e la parte superior de la curva como de la inferior los cuales fueron posteriormente promediados para su posterior comparación y evaluación.

Tabla E2. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva

Casas	Dec. de Curva Parte Superior	Dec. de Curva Parte Inferior	% Dec. de Curva
1	3,96%	3,57%	3,77%
2	4,13%	4,23%	4,18%
3	3,32%	4,67%	4,00%
4	3,31%	3,10%	3,20%
5	3,31%	3,01%	3,16%
6	3,39%	3,66%	3,53%
7	3,42%	3,50%	3,46%
8	2,92%	2,80%	2,86%
9	3,15%	2,86%	3,00%
10	2,94%	2,92%	2,93%
11	3,20%	3,63%	3,41%
12	3,01%	2,92%	2,96%
13	2,62%	2,58%	2,60%
14	2,89%	3,08%	2,99%
15	3,33%	3,24%	3,28%
16	3,11%	2,64%	2,87%
17	3,42%	3,23%	3,32%
18	2,88%	3,06%	2,97%
19	3,20%	3,10%	3,15%
20	4,59%	3,95%	4,27%

❖ Viviendas Modelo C

Casa 1

➤ Parte Superior de la Curva

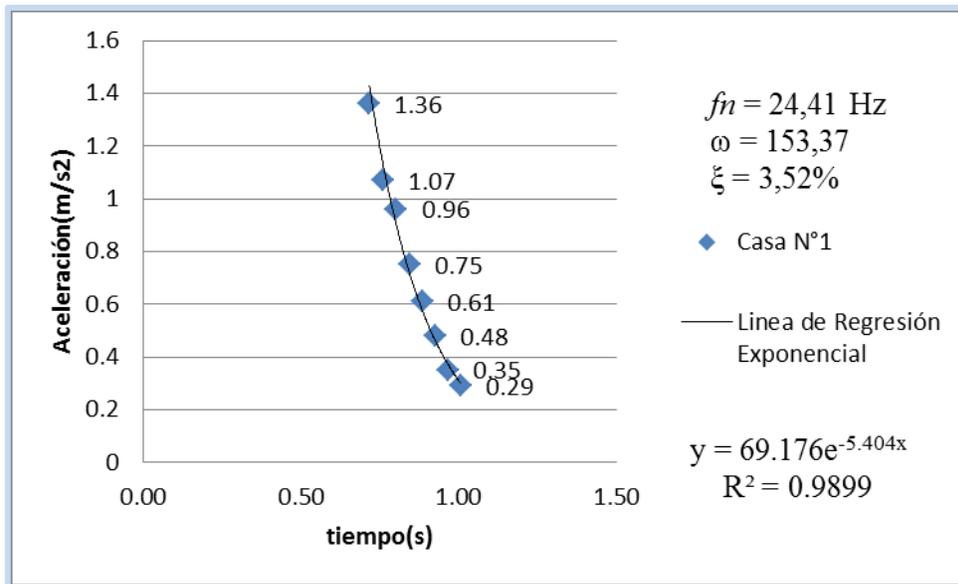


Figura E71. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.99%

➤ Parte Inferior de la Curva

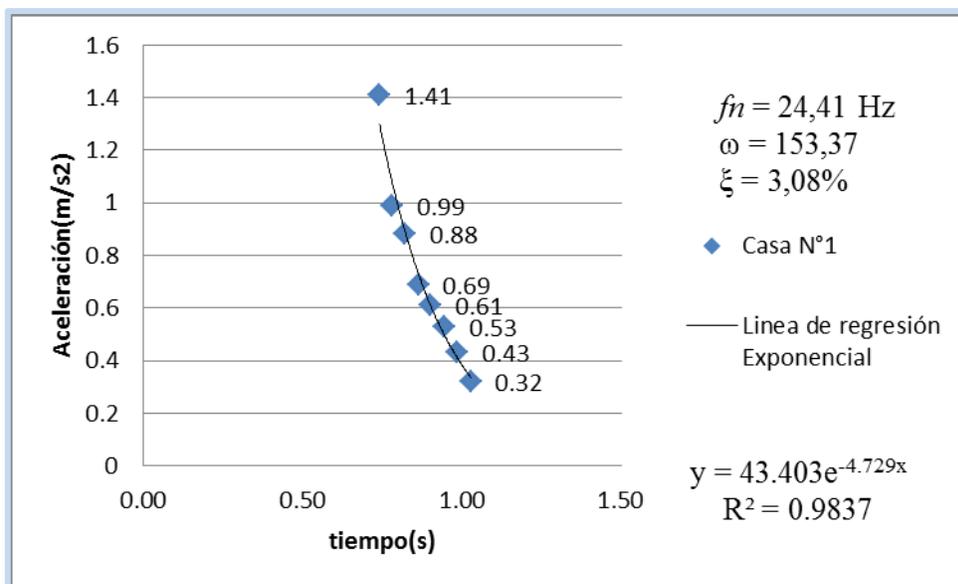


Figura E72. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.37%

Casa 2

➤ Parte Superior de la Curva

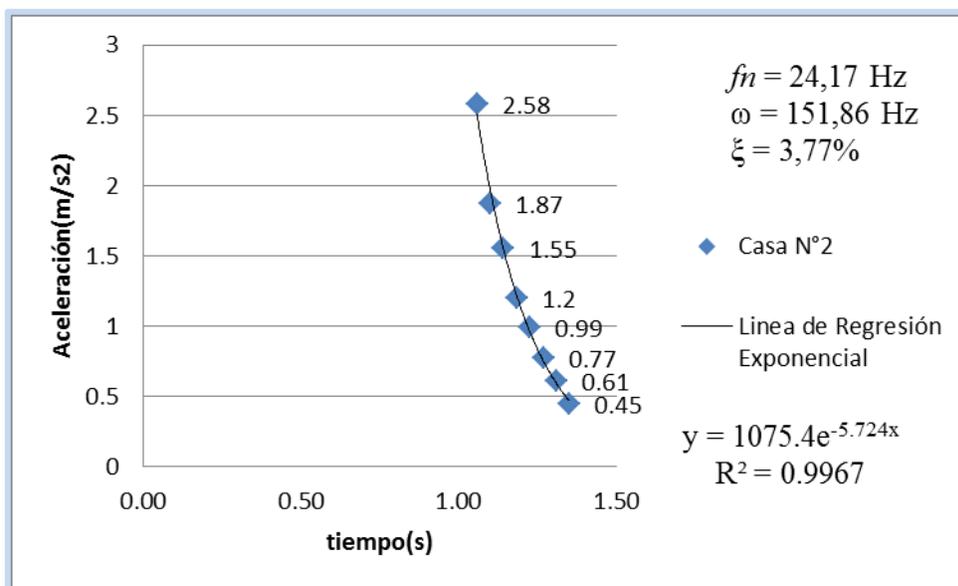


Figura E73. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.67%

➤ Parte Inferior de la Curva

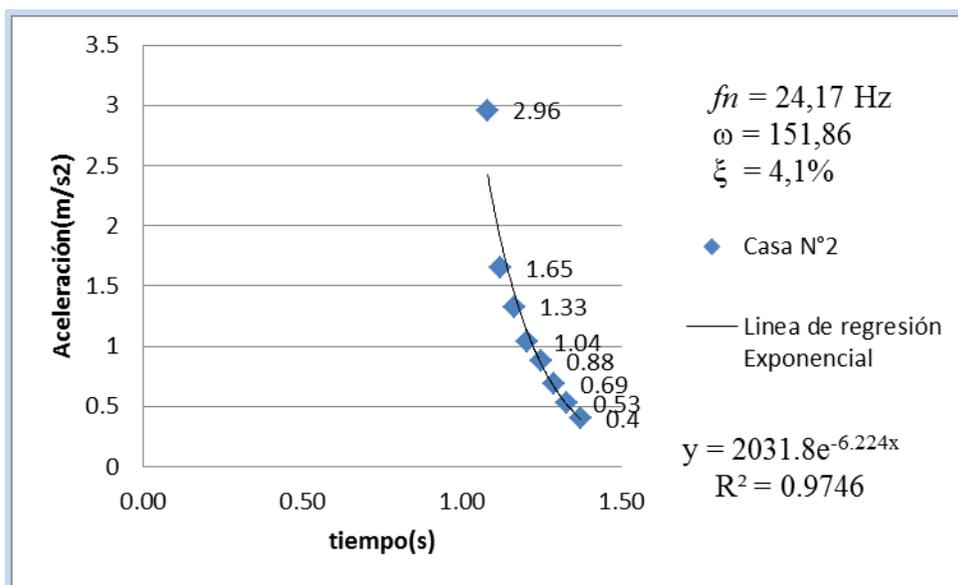


Figura E74. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 97.46%

Casa 3

➤ Parte Superior de la Curva

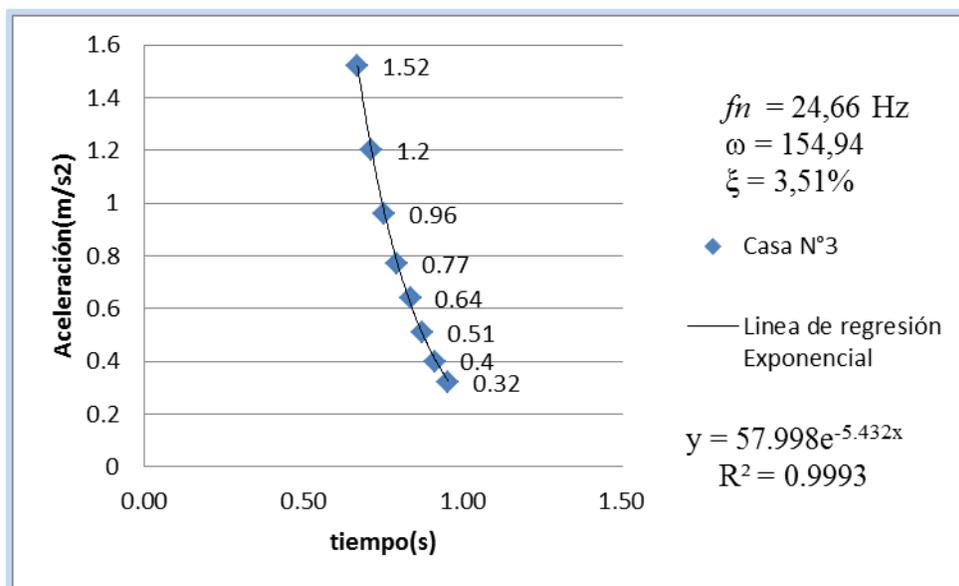


Figura E75. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.93%

➤ Parte Inferior de la Curva

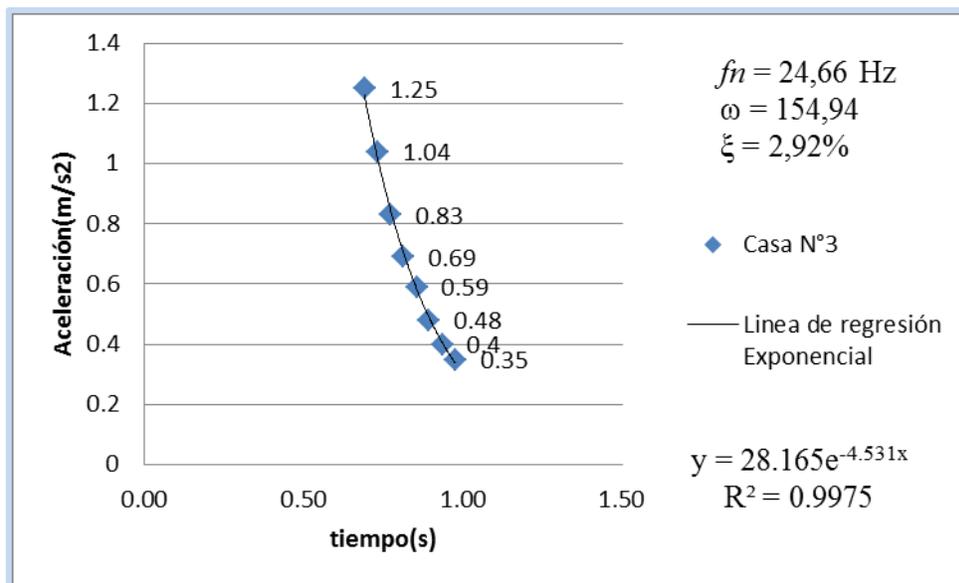


Figura E76. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.75%

Casa 4

➤ Parte Superior de la Curva

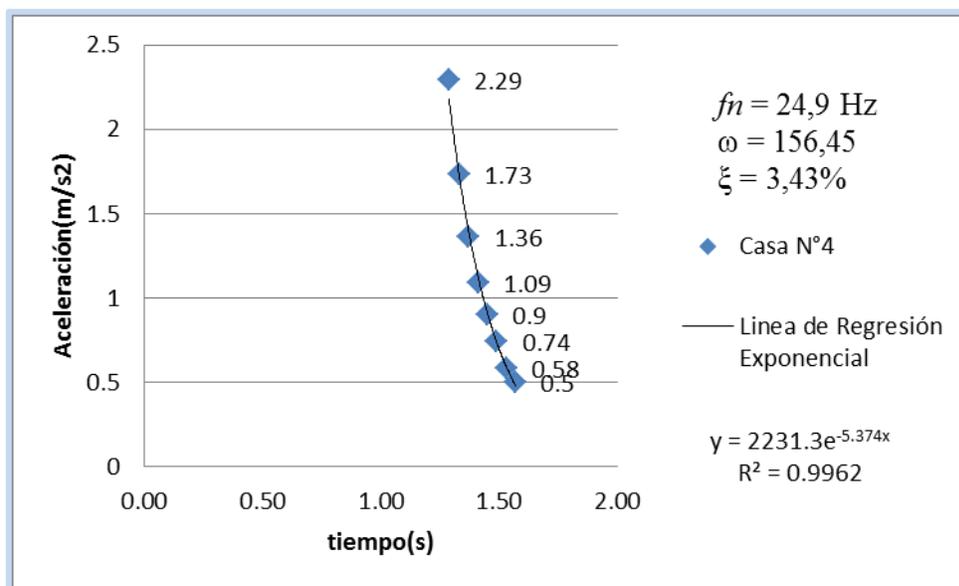


Figura E77. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.62%

➤ Parte Inferior de la Curva

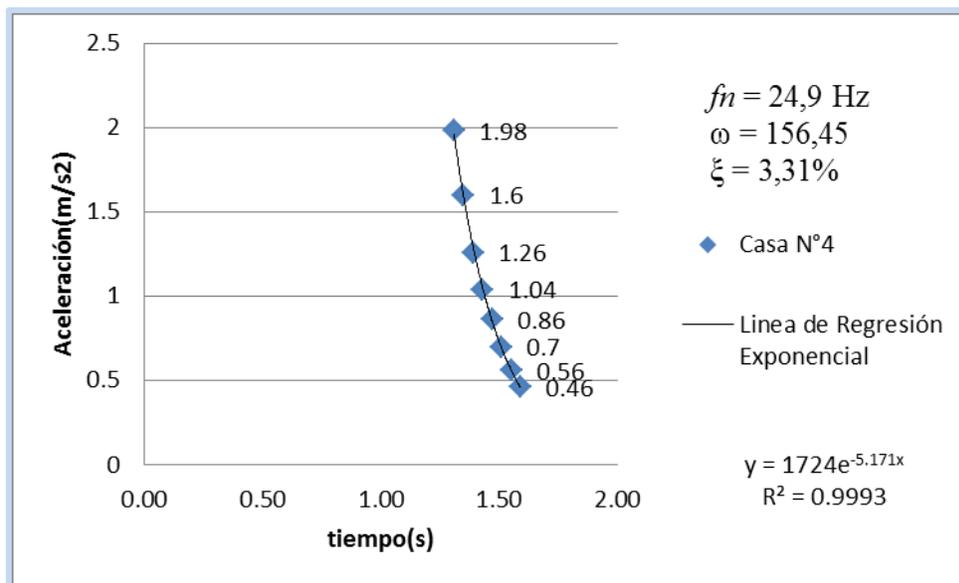


Figura E78. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.93%

Casa 5

➤ Parte Superior de la Curva

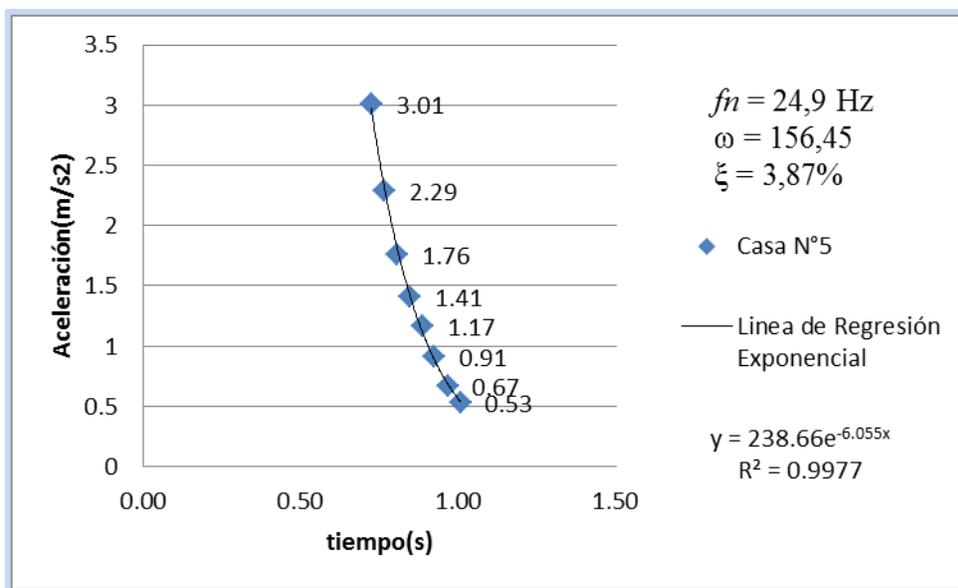


Figura E79. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.77%

➤ Parte Inferior de la Curva

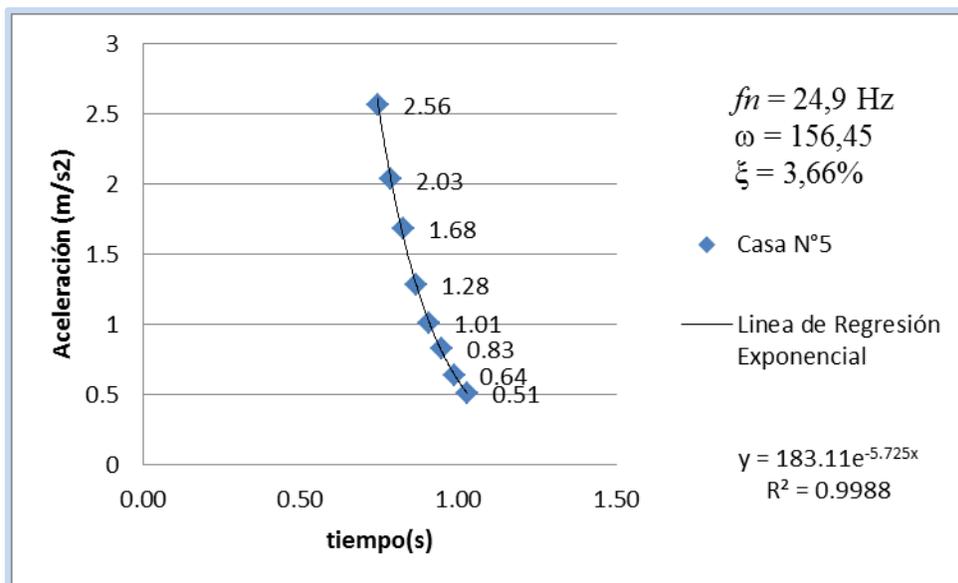


Figura E80. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.88%

Casa 6

➤ Parte Superior de la Curva

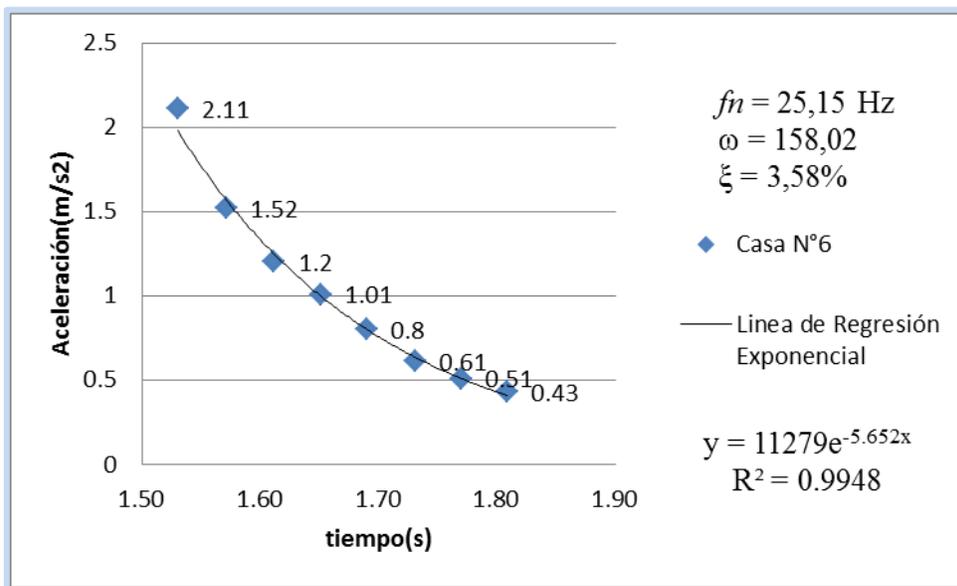


Figura E81. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.48%

➤ Parte Inferior de la Curva

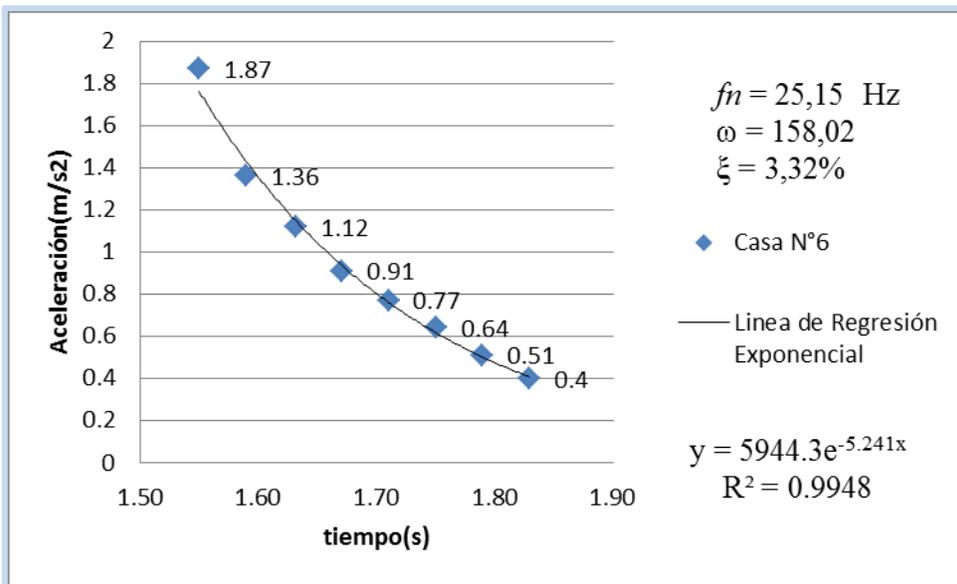


Figura E82. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.48%

Casa 7

➤ Parte Superior de la Curva

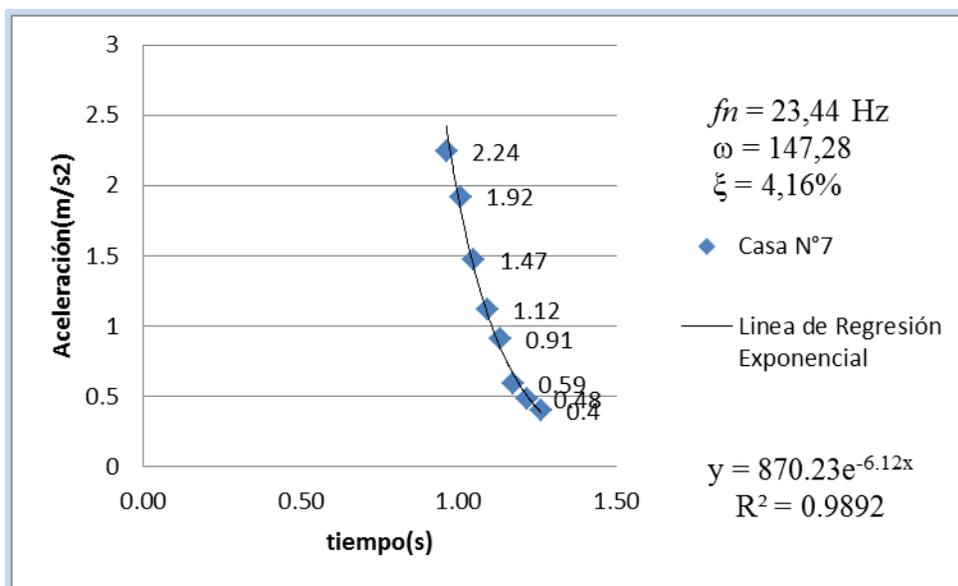


Figura E83. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.92%

➤ Parte Inferior de la Curva

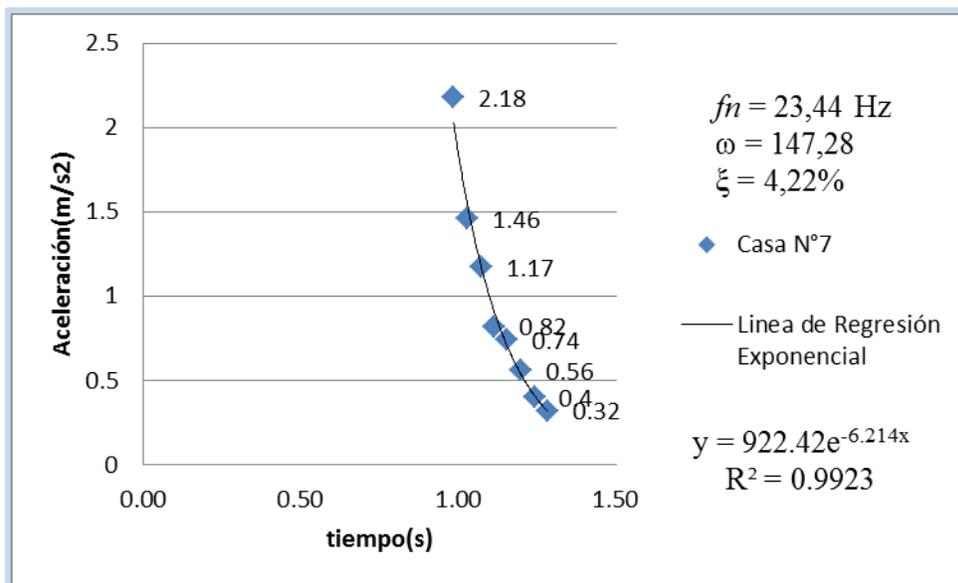


Figura E84. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.23%

Casa 8

➤ Parte Superior de la Curva

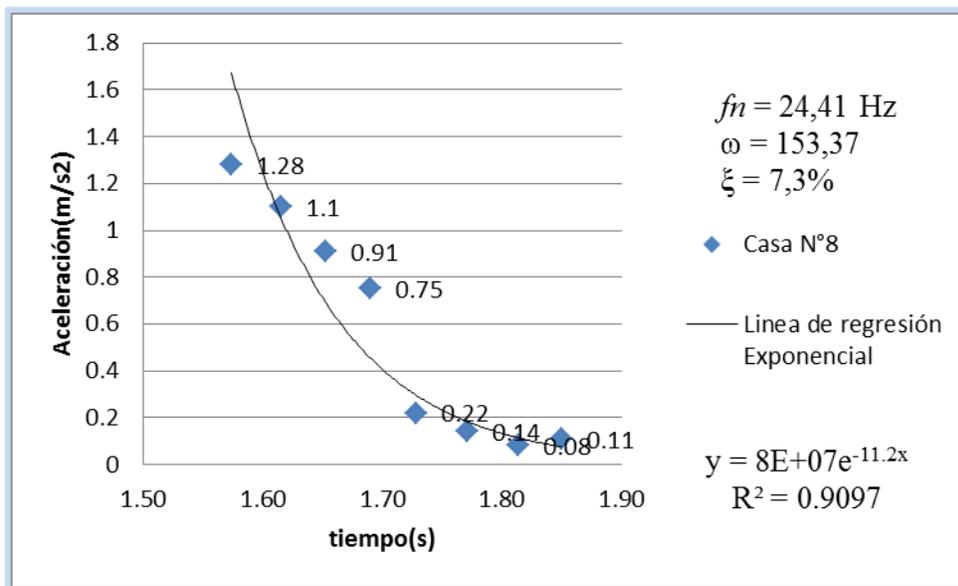


Figura E85. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 90.97%

➤ Parte Inferior de la Curva

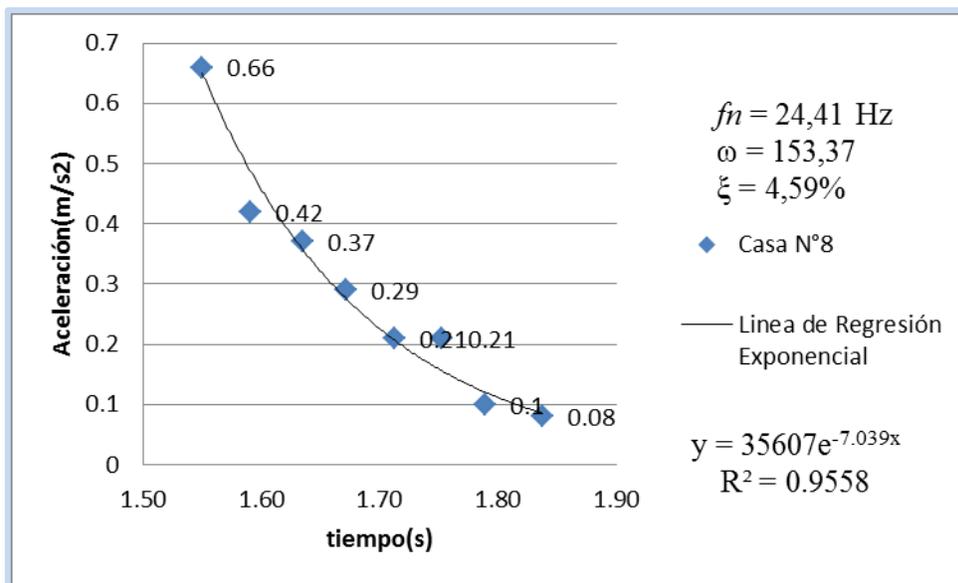


Figura E86. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 95.58%

Casa 9

➤ Parte Superior de la Curva

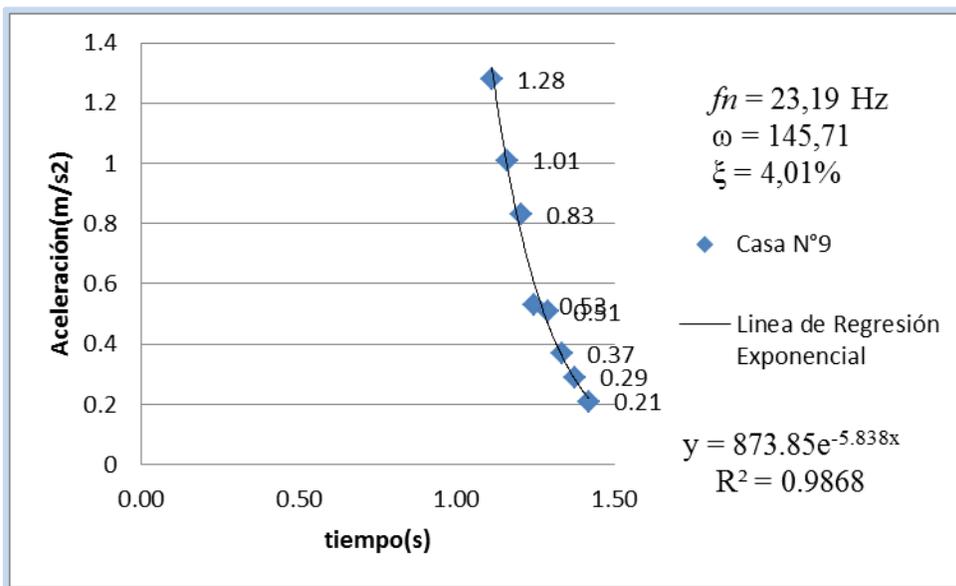


Figura E87. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.68%

➤ Parte Inferior de la Curva

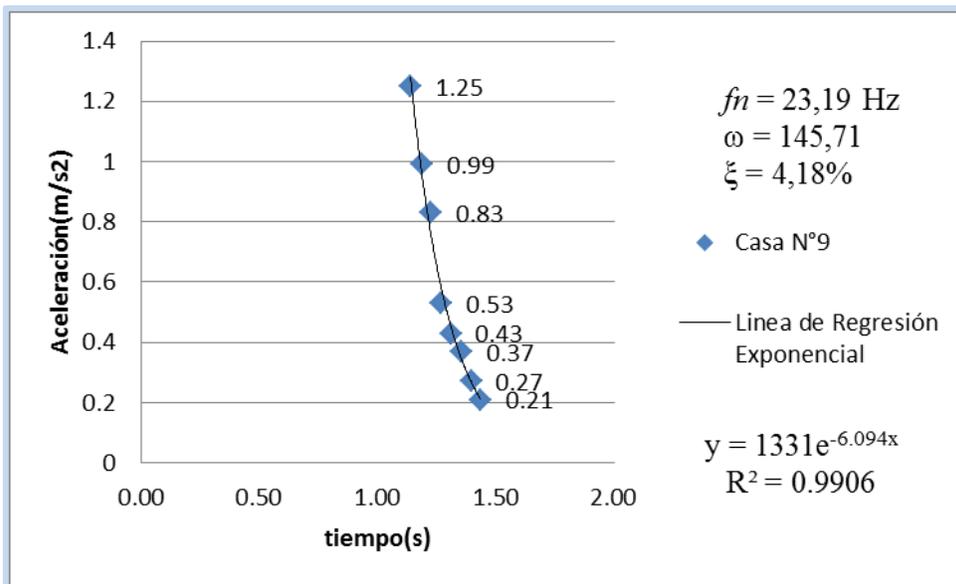


Figura E88. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.06%

Casa 10

➤ Parte Superior de la Curva

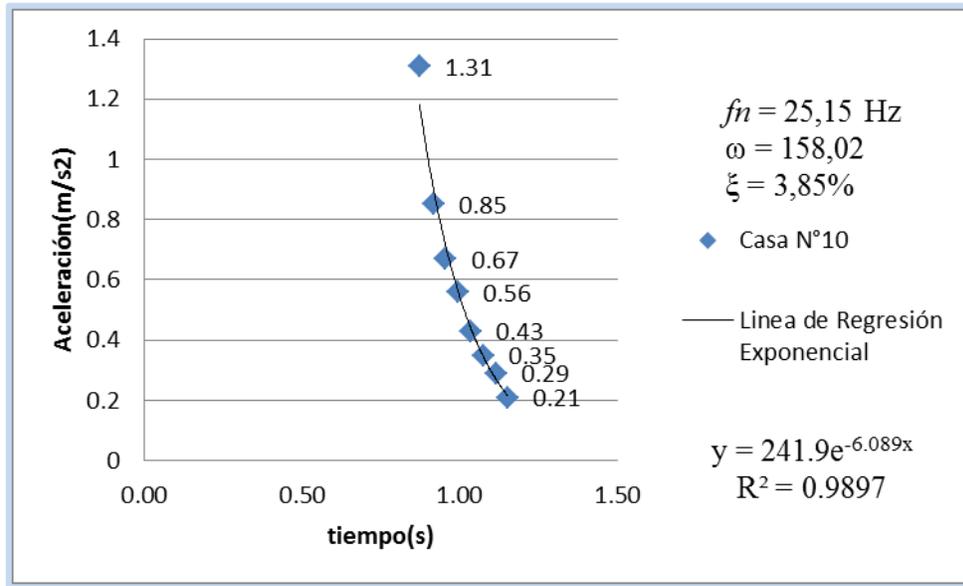


Figura E89. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.97%

➤ Parte Inferior de la Curva

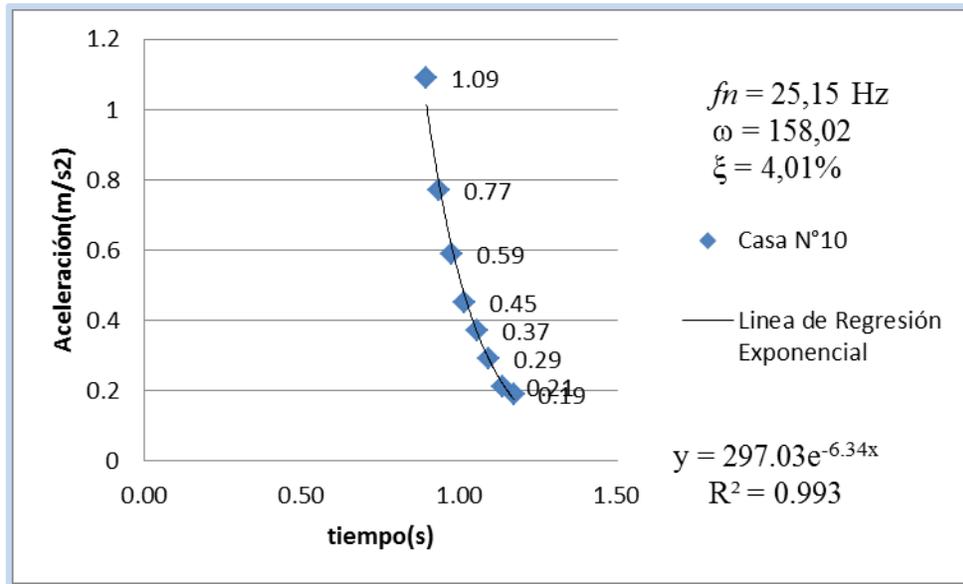


Figura E90. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.3%

Casa 11

➤ Parte Superior de la Curva

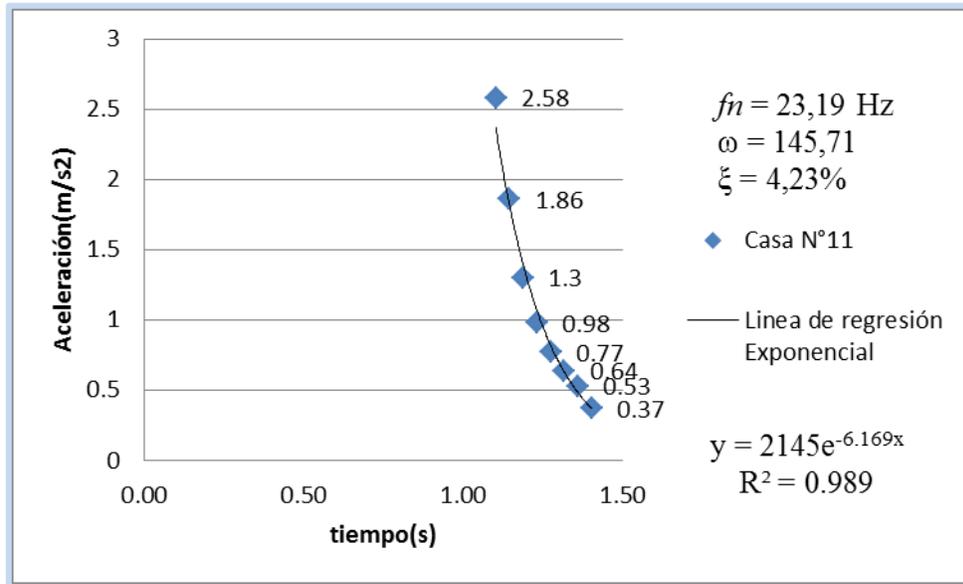


Figura E91. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.9%

➤ Parte Inferior de la Curva

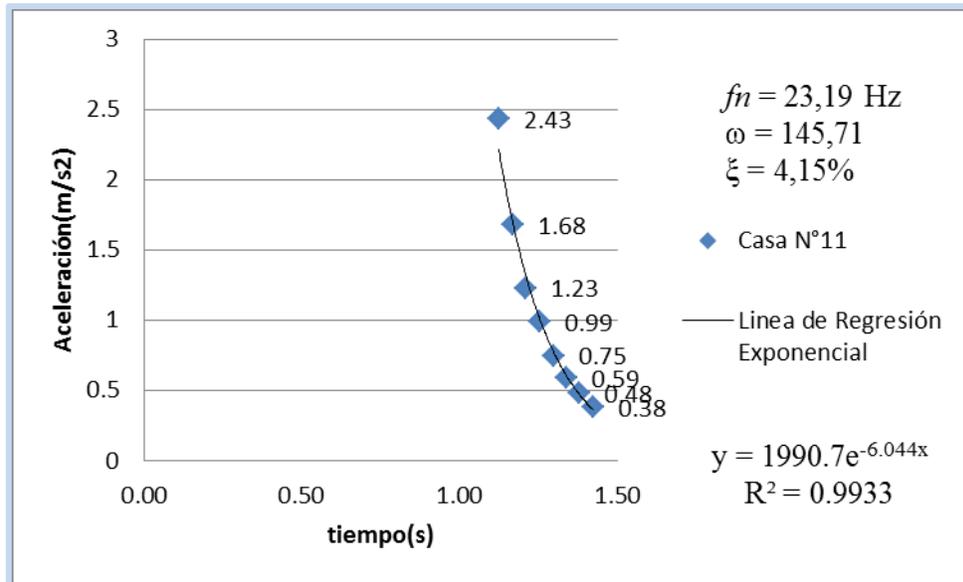


Figura E92. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.33%

Casa 12

➤ Parte Superior de la Curva

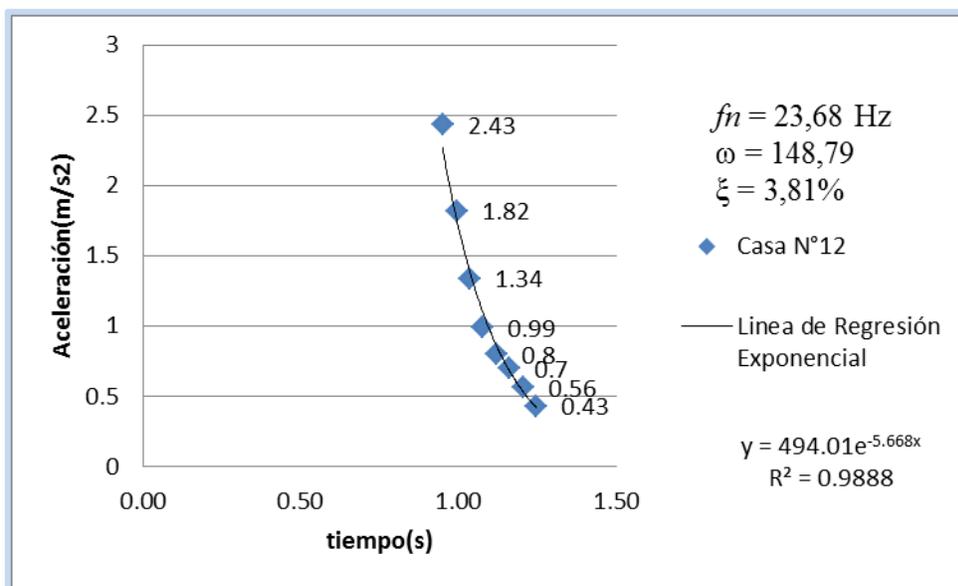


Figura E93. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 98.88%

➤ Parte Inferior de la Curva

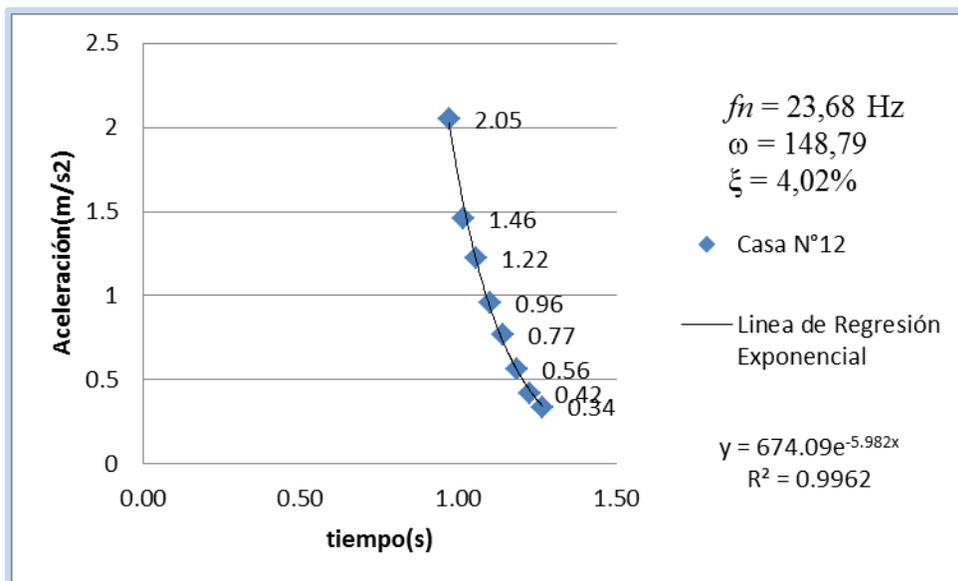


Figura E90. Acelerograma con Calidad de Regresión de un 99.62%

A continuación se presentan los valores obtenidos de razón de amortiguamiento a través del método de decaimiento de curva, tanto e la parte superior de la curva como de la inferior los cuales fueron posteriormente promediados para su posterior comparación y evaluación.

Tabla E3. Resumen de valores Obtenidos del Met. Dec. De Curva.

Casas	Dec. de Curva Parte Superior	Dec. de Curva Parte Inferior	% Dec. de Curva
1	3,52%	3,08%	3,30%
2	3,77%	4,10%	3,94%
3	3,51%	2,92%	3,22%
4	3,43%	3,31%	3,37%
5	3,87%	3,66%	3,77%
6	3,58%	3,32%	3,45%
7	4,16%	4,22%	4,19%
8	7,30%	4,59%	5,95%
9	4,01%	4,18%	4,10%
10	3,85%	4,01%	3,93%
11	4,23%	4,15%	4,19%
12	3,81%	4,02%	3,92%

2. Método de Ancho de Banda

Para la obtención de valores de razón de amortiguamiento a través del método de determinación de Ancho de banda, se utilizaron los gráficos de la transformada rápida de Fourier expuestos en el Anexo D.

➤ Viviendas Modelo A

Tabla E4. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier

Casas	Amplitud Max	A Max/raiz(2)	Frecuencias (Hz)			ξ
	—	—	f_1	f_c	f_2	—
1	0,038	0,027	26,13	28,32	29,26	5,65%
2	0,033	0,019	27,45	29,30	30,16	4,70%
3	0,041	0,029	25,74	26,86	28,13	4,44%
4	0,023	0,016	24,24	26,12	26,98	5,35%
5	0,039	0,027	23,23	25,39	26,92	7,36%
6	0,049	0,034	20,44	23,93	25,17	10,37%
7	0,040	0,028	26,29	27,83	29,08	5,04%
8	0,063	0,045	25,55	27,34	28,21	4,95%
9	0,051	0,036	26,99	28,81	29,57	4,56%
10	0,056	0,040	27,79	28,81	29,73	3,37%
11	0,030	0,021	26,44	29,30	31,81	9,22%
12	0,036	0,025	27,56	28,56	30,72	5,42%
13	0,040	0,028	27,33	28,56	30,48	5,45%
14	0,039	0,028	29,45	31,01	32,77	5,34%
15	0,031	0,022	25,03	27,34	27,89	5,40%

➤ Viviendas Modelo B

Tabla E5. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier

Casas	Amplitud Max	A max/raiz(2)	Frecuencias (Hz)			ξ
	—	—	f_1	f_e	f_2	—
1	0,054	0,038	24,86	25,9	26,72	3,61%
2	0,063	0,045	24,51	26,23	27,04	4,91%
3	0,012	0,009	29,82	31,16	32,45	4,22%
4	0,034	0,024	25,25	26,56	27,31	3,92%
5	0,135	0,095	25,23	25,9	26,84	3,09%
6	0,065	0,046	24,83	25,9	26,7	3,63%
7	0,094	0,067	23,58	24,57	25,69	4,28%
8	0,103	0,073	25,53	26,23	27,01	2,82%
9	0,126	0,089	24,94	25,9	26,35	2,75%
10	0,076	0,054	25,09	25,9	26,59	2,90%
11	0,064	0,046	25,26	26,23	27,16	3,62%
12	0,141	0,100	24,47	25,57	26,05	3,13%
13	0,198	0,140	23,59	24,57	25,04	2,98%
14	0,169	0,119	24,47	25,24	26,04	3,11%
15	0,100	0,071	24,14	25,24	25,75	3,23%
16	0,139	0,098	25,17	25,9	26,7	2,95%
17	0,159	0,113	23,72	24,9	25,48	3,58%
18	0,070	0,050	25,14	26,23	27	3,57%
19	0,129	0,091	24,96	25,9	26,62	3,22%
20	0,075	0,053	23,21	24,24	24,87	3,45%

➤ Viviendas Modelo C

Tabla E6. Valores obtenidos de la transformada rápida de Fourier

Casas	Amplitud Max	A max/raiz(2)	Frecuencias (Hz)			ξ
			f ₁	f _e	f ₂	
	—	—	f ₁	f _e	f ₂	—
1	0,102	0,072	23,5	24,57	25,16	3,41%
2	0,159	0,112	23	24,24	24,95	4,07%
3	0,102	0,072	23,68	24,57	25,33	3,37%
4	0,147	0,104	23,98	25,24	25,78	3,62%
5	0,185	0,131	23,86	24,9	25,7	3,71%
6	0,136	0,096	24,37	25,24	25,93	3,10%
7	0,135	0,096	22,24	23,58	24,32	4,47%
8	0,041	0,029	23,38	24,24	25,47	4,28%
9	0,084	0,059	22,27	23,24	24,1	3,95%
10	0,066	0,047	23,71	25,24	25,97	4,55%
11	0,149	0,105	22,14	23,24	24,12	4,28%
12	0,142	0,101	22,46	23,58	24,44	4,22%