



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MICROTREPIDACIONES COMO EFECTO DEL
PASO DEL TREN CASO: ANDENES DE MASK'ABAMBA KM 84 RUTA
FERROVIARIA CUSCO-MACHUPICCHU

Presentado por:

Bach. Axel Valdivia Monteagudo

Para optar al título profesional de Ingeniero Civil

Asesor: Ing. Eigner Román Villegas

CUSCO – PERU

2023



Dedicatória

*A mis padres, Alexis y Sonia por ser pacientes
y tolerantes a lo largo de mi crecimiento, por
brindarme su apoyo a lo largo de mi formación
como profesional siendo parte fundamental para
poder culminar mi carrera y esta investigación.*

*A mi hermana Thalía por ser mi ejemplo de
constancia y superación.*

*A toda mi familia, primos, tíos, abuelos
que siempre me apoyaron y motivaron
para seguir adelante.*

Axel Valdivia Monteagudo



Agradecimientos

Agradezco infinitamente a la Ing. Carmen Cecilia Gil Rodríguez, la cual tuvo paciencia para resolver mis dudas relacionadas a la metodología de la investigación y que a pesar del poco tiempo que tenía, me brindó todo su apoyo.

Agradezco al Ing. Eigner Román Villegas por su conocimiento brindado, y su asesoramiento en el proceso de desarrollo de la tesis.

Agradezco a los Ingenieros Eliot Pezo Zegarra y Mitsy Elena Gudiel Cárdenas, por su apoyo, que desde su experiencia en la ingeniería guiaron esta investigación.

Así mismo, agradezco a mis amigos más cercanos, los cuales fueron un soporte emocional durante el desarrollo de esta investigación.

Finalmente, agradecer a la Universidad Andina del Cusco, por ser un segundo hogar en esta etapa de mi vida.



Resumen

El presente estudio compara las microtrepidaciones como efecto del paso del tren en la andenería de Mask'abamba, el cual este situado a pocos metros de la vía férrea, usando la teoría del método de Nakamura, el cual nos dice que para el estudio de las ondas R es necesario la componente vertical de las mismas.

Los parámetros los cuales se estudiaron fueron la velocidad, aceleración y desplazamiento a uno y dos metros de la vía férrea, así mismo se estudiaron los mismos parámetros en la andenería de Mask'abamba, a uno y dos metros de la primera pared del andén.

El uso de un sismógrafo RaspberryShake 4D fue vital para el presente estudio, además de softwares específicos tales como JamaSeis, para la grabación de ondas, Matlab, para el análisis de ondas, y Microsoft Excel para un análisis estadístico y validación de los resultados.

Se analizó los resultados obtenidos por el sismógrafo, en el cual se logró demostrar la poca significatividad de las vibraciones ocasionadas por el paso del tren en el andén, siendo detallados los resultados de cada parámetro en la andenería y en la zona aledaña a la vía férrea.

Palabras clave: Microtrepidaciones, vibraciones, ondas R, Nakamura, componente vertical.

Abstract

This study compares the microtremors as an effect of the passage of the train on the Mask'abamba platform, which is located a few meters from the railway, using the theory of the Nakamura method, which tells us that for the study of the R waves it is necessary the vertical component of the same.

The parameters that were studied were the frequency, speed, acceleration and displacement at one and two meters from the railway, likewise the same parameters were studied in the Mask'abamba platform, one and two meters from the first wall of the platform.

The use of a RaspberryShake 4D seismograph was vital for the present study, in addition to specific software such as JamaSeis, for wave recording, Matlab, for wave analysis, and Microsoft Excel for statistical analysis and validation of results.



The results obtained by the seismograph were analyzed, in which it was possible to demonstrate the little significance of the vibrations caused by the passage of the train on the platform, the results of each parameter being detailed in the terraces and in the area surrounding the railway.

Key words: Microtremors, vibrations, R waves, Nakamura, vertical component.

Introducción

En varios puntos de nuestra ciudad, hay varias edificaciones las cuales no cumplen la norma respecto a la construcción de edificaciones cercanas a las líneas férreas, si bien la norma no fue establecida por un posible daño estructural, este podría generar una serie de problemas.

A lo largo de los años, se formaron ciudades, pueblos y comunidades alrededor de estructuras incaicas. El desarrollo de cada una de estas ciudades y la necesidad de mantener a estas unidas, trajo consigo la necesidad de crear vías de acceso, dando inicio al transporte ferroviario, posteriormente a la creación de carreteras, etc.

El presente proyecto de investigación tiene como finalidad determinar la significatividad de las microtrepidaciones producidas por el paso del tren en los andenes de Mask'abamba ubicados en el km 84 ruta Cusco Machupicchu. Al obtener los resultados de esta investigación podremos concluir en si estas microtrepidaciones tienen efecto en los andenes; estudiando los parámetros de velocidad, aceleración y desplazamiento en la zona más cercana a la línea férrea al momento que pase el tren, para después estudiar estos mismos parámetros en la andenería y determinar en qué condición llega la microtrepidación originada por el paso del tren.

Para realizar esta investigación se usaron herramientas tales como el Raspberry Shake 4D, un pequeño sismógrafo que nos ayuda a medir vibraciones, y los softwares JamaSeis, Matlab y Microsoft Excel.

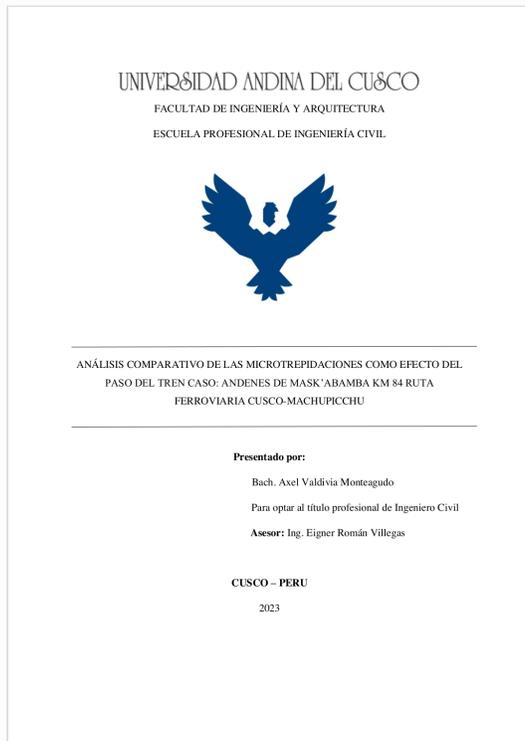


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Axel Axel Valdivia Monteagudo
Título del ejercicio:	MICROTREPIDACIONES
Título de la entrega:	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MICROTREPIDACIONES COM...
Nombre del archivo:	TESIS_FINAL_AXEL_VALDIVIA_MONTEAGUDO.pdf
Tamaño del archivo:	13.77M
Total páginas:	212
Total de palabras:	22,972
Total de caracteres:	132,080
Fecha de entrega:	11-abr.-2023 02:06p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entre...	2061819862





ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS MICROTREPIDACIONES COMO EFECTO DEL PASO DEL TREN CASO: ANDENES DE MASK'ABAMBA KM 84 RUTA FERROVIARIA CUSCO- MACHUPICCHU

por Axel Axel Valdivia Monteagudo

Fecha de entrega: 11-abr-2023 02:06p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2061819862

Nombre del archivo: TESIS_FINAL_AXEL_VALDIVIA_MONTEAGUDO.pdf (13.77M)

Total de palabras: 22972

Total de caracteres: 132080



COMO EFECTO DEL PASO DEL TREN CASO: ANDENES DE MASK'ABAMBA KM 84 RUTA FERROVIARIA CUSCO- MACHUPICCHU

INFORME DE ORIGINALIDAD

22%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	3%
2	upcommons.upc.edu Fuente de Internet	2%
3	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	www.scielo.cl Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
7	www.ricuc.cl Fuente de Internet	1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%



Índice General

Dedicat6ria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract.....	iv
Introducci6n.....	v
Índice General	vi
Índice de tablas.....	10
Índice de figuras	10
I. Planteamiento del problema	13
1.1 Identificaci6n del problema	13
1.1.1 Descripci6n del problema	13
1.1.2 Formulaci6n del problema general	16
1.1.3 Formulaci6n de los problemas específcos	16
1.2 Justificaci6n de la investigaci6n.....	17
1.2.1 Justificaci6n t6cnica	17
1.2.2 Justificaci6n social	17
1.2.3 Justificaci6n por viabilidad	17
1.2.4 Justificaci6n por relevancia.....	17
1.3 Limitaciones de la investigaci6n	18
1.3.1 Limitaci6n de lugar	18
1.3.2 Limitaci6n de software	18
1.3.3 Limitaci6n de procedencia de datos.....	18
1.4 Objetivo de la investigaci6n.....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específcos	18
II. Marco Te6rico de la Tesis	20
2.1. Antecedentes de la Tesis	20
2.1.1 Antecedentes a Nivel nacional.....	20
2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional	20
2.1.2.1 Antecedente Internacional 01	20
2.1.2.2 Antecedente Internacional 02	21
2.1.2.3 Antecedente Internacional 03	22
2.2. Bases Te6rico – Científicas.....	23
2.2.1 Peligro para el patrimonio cultural edificado.....	23



2.2.2	Respuesta sísmica de los suelos	24
2.2.2.1	Amplificación del movimiento del suelo	24
2.2.2.1.1	Amplificación geométrica	24
2.2.2.1.2	Amplificación dinámica	25
2.2.2.2	Métodos de evaluación de los efectos del suelo	25
2.2.3	Atenuación de las ondas sísmicas	27
2.2.3.1	Dispersión geométrica	28
2.2.3.2	Atenuación por dispersión	28
2.2.3.3	Trayectorias múltiples.....	29
2.2.3.4	Atenuación inelástica	29
2.2.3.5	Ley de atenuación de ondas	30
2.2.4	Respuesta dinámica del suelo	30
2.2.4.1	Velocidad de onda de corte.....	31
2.2.4.2	Módulo de cortante, módulo de cortante máximo	31
2.2.4.3	Factor de amortiguamiento	32
2.2.4.4	Periodo fundamental del suelo.....	33
2.2.5	Transformada de Fourier y ondas armónicas.....	33
2.2.6	Microtrepidaciones	34
2.2.6.1	Naturaleza de las Microtrepidaciones	35
2.2.6.1.1	Ondas sísmicas	36
2.2.6.1.1.1	Ondas superficiales o secundarias	37
2.2.6.1.1.2	Ondas L.....	38
2.2.6.1.1.3	Ondas R	39
2.2.6.2	Medición de Microtrepidaciones	39
2.2.6.3	Escala de Mercalli Modificada	40
2.2.6.4	Metodología de Nakamura.....	41
2.2.7	Andenería de Mask'abamba	42
2.2.8	Ley de patrimonio	44
2.2.9	Sismógrafo	44
2.2.9.1	Geófono.....	44
2.2.9.1.1	Geófono piezoeléctrico	45
2.2.9.2	Acelerómetro.....	45
2.2.9.2.1	Acelerómetros MEMS.....	45
2.2.9.3	RaspberryShake 4D	45
2.2.10	XLSTAT	46



2.2.10.1	Matriz de correlación	47
2.2.10.2	Estadísticos de multicolinealidad	47
2.2.10.3	Estadísticos de bondad	47
2.2.10.3.1	R-Cuadrado.....	47
2.2.10.4	Análisis de covarianza.....	47
2.2.10.5	Coefficiente estandarizado	47
2.2.10.6	Factor de inflación de varianza	47
2.3.	Hipótesis.....	48
2.3.1	Hipótesis General.....	48
2.3.2	Sub Hipótesis	48
2.4.	Variable	49
2.4.1.	Identificación de variable.....	49
2.4.1.1.	Variable Cuantitativa continua.....	49
2.5.	Cuadro de operacionalización de variables.....	50
III.	Metodología.....	51
3.1	Metodología de la investigación	51
3.1.1	Enfoque de la investigación	51
3.1.2	Nivel de la investigación.....	51
3.1.3	Método de la investigación	51
3.2	Diseño de la investigación.....	51
3.2.1	Diseño metodológico	51
3.2.2	Diseño de ingeniería	52
3.3	Población y muestra	53
3.3.1	Población.....	53
3.3.1.1	Descripción de la población.....	53
3.3.1.2	Cuantificación de la población.....	53
3.3.2	Muestra	53
3.3.2.1	Descripción de la muestra.....	53
3.3.2.2	Cuantificación de la muestra.....	53
3.3.2.3	Método de muestreo.....	53
3.3.2.4	Criterios de evaluación de la muestra	53
3.4	Instrumentos	54
3.4.1	Instrumentos metodológicos o de recolección de datos.....	54
3.4.1.1.	Entrevista.....	54
3.4.1.2.	Software de recolección de datos	54



3.4.2	Instrumentos de ingeniería.....	54
3.4.2.1.	Normativas	54
3.4.2.2.	Software de ingeniería.....	54
3.4.2.3.	Equipos.....	54
3.5	Procedimiento de recolección de datos	55
3.6	Procedimiento de obtención y análisis de datos.....	69
3.6.1	Obtención de datos mediante Matlab	69
3.6.2	Análisis de datos mediante Matlab.....	70
IV.	Resultados.....	71
4.1	Resultados del análisis en el código SedPro.m	71
4.2	Resultados del análisis en XLSTAT	73
4.2.1	Variable MaxAce.....	74
4.2.2	Variable MaxVel	79
4.2.3	Variable MaxDesp	83
4.3	Comparación de microtrepidaciones	86
4.4	Propiedades dinámicas del suelo.....	107
4.4.1	Velocidad de onda de corte	107
4.4.2	Módulo de cortante, módulo de cortante máximo.....	107
4.4.3	Factor de amortiguamiento	107
4.4.4	Periodo fundamental del suelo	107
4.4.5	Atenuación de ondas.....	109
V.	Discusión	114
5.1	Contraste de resultados con referentes del marco teórico	114
5.2	Interpretación de los resultados encontrados en la investigación	116
5.3	Comentario de la demostración de la hipótesis.....	117
5.4	Aporte de la investigación.....	117
5.5	Incorporación de temas nuevos que se presentaron en el proceso	118
	Glosario	119
	Conclusiones.....	121
	Recomendaciones	123
	Referencias	124
VI.	Anexos.....	126



Índice de tablas

<i>Tabla 1 Principales fuentes de ondas sísmicas</i>	35
<i>Tabla 2 Intensidad instrumental</i>	41
<i>Tabla 3 Cuadro de operacionalización de variables</i>	50
<i>Tabla 4 Resultados de los análisis en el código SedPro.m</i>	71
<i>Tabla 5 Máximos obtenidos</i>	72
<i>Tabla 6 Matriz de correlación</i>	73
<i>Tabla 7 Estadísticos de multicolinealidad</i>	74
<i>Tabla 8 Estadísticos de bondad de la aceleración</i>	74
<i>Tabla 9 Análisis de varianza de la aceleración</i>	75
<i>Tabla 10 Coeficientes estandarizados de la aceleración</i>	75
<i>Tabla 11 Valores medios de la aceleración</i>	76
<i>Tabla 12 Estadísticos de bondad de la velocidad</i>	79
<i>Tabla 13 Análisis de varianza de la velocidad</i>	80
<i>Tabla 14 Coeficientes estandarizados de la velocidad</i>	80
<i>Tabla 15 Valores medios de la velocidad</i>	81
<i>Tabla 16 Estadísticos de bondad del desplazamiento</i>	83
<i>Tabla 17 Análisis de varianza del desplazamiento</i>	83
<i>Tabla 18 Coeficientes estandarizados del desplazamiento</i>	84
<i>Tabla 19 Valores medios del desplazamiento</i>	85
<i>Tabla 20 Periodo fundamental del suelo</i>	108
<i>Tabla 21 Resumen de valores de parámetros comparados con ley de atenuación de ondas</i>	105

Índice de figuras

<i>Figura 1. Mapa de ubicación a nivel nacional de la región Cusco</i> (Google, 2010).....	14
<i>Figura 2. Mapa de ubicación a nivel departamental de la región Cusco</i> (Valderrama, 2015).....	14
<i>Figura 3. Mapa político administrativo de la provincia de Urubamba</i> (Google, 2006).....	15
<i>Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio a nivel distrital de Ollantaytambo</i> (Municipalidad Provincial de Urubamba, 2013)	15
<i>Figura 5. Frecuencias registradas en los distintos tipos de suelos</i> (Rodríguez, 2005)	26
<i>Figura 6. Atenuación de ondas sísmicas</i> (Gaspar, 2012).....	27
<i>Figura 7. Dispersión geométrica</i> (Gaspar, 2012).....	28
<i>Figura 8. Atenuación por dispersión</i> (Gaspar, 2012)	29
<i>Figura 9. Trayectorias múltiples</i> (Gaspar, 2012).....	29
<i>Figura 10. Variación de velocidad de ondas en un medio continuo</i> (Ólafsdóttir, 2016).....	31
<i>Figura 11. Esfuerzo cortante cíclico</i> (Vucetic & Dobry, 1991)	32
<i>Figura 12. Factor de amortiguamiento</i> (Vucetic & Dobry, 1991).....	32
<i>Figura 13. Registro de ondas armónicas</i> (Kanao, 2017)	34
<i>Figura 14. Ondas armónicas en la presente investigación</i>	34
<i>Figura 15. Tipos de onda sísmica</i> (Griem, 1998).....	37
<i>Figura 16. Deformaciones causadas por los diferentes tipos de ondas que generan los sismos</i> (Silva & Molina, 2006).....	38
<i>Figura 17. Forma de propagación de las ondas superficiales</i> (Silva & Molina, 2006)	39
<i>Figura 18. Ciudad de Ollantaytambo</i> (Protze, 2016).....	42



Figura 19. Corte transversal de andenería en Cusco (Abelardo, 2015).....	43
Figura 20. RaspberryShake 4D Fuente: (RaspberryShake).....	46
Figura 21. Diseño de ingeniería	52
Figura 22. Batería recargable de 12 voltios.....	55
Figura 23. Inversor de Energía.....	56
Figura 24. RaspberryShake 4D	56
Figura 25. Software JamaSeis (iris, 2017)	57
Figura 26. Andenería de Mask'abamba	58
Figura 27. Ubicación de los puntos de grabación.....	58
Figura 28. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte	59
Figura 29. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte	59
Figura 30. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte	60
Figura 31. Conexión a los servidores de RaspberryShake	60
Figura 32. Interfaz de datos del software JamaSeis	61
Figura 33. Toma de datos en la andenería de Mask'abamba	61
Figura 34. Posicionamiento del sismógrafo y grabación de las microtrepidaciones.....	62
Figura 35. Grabación de microtrepidaciones en la zona aledaña a la vía férrea	62
Figura 36. Grabación de microtrepidaciones en la andenería de Mask'abamba.....	63
Figura 37. Posicionamiento del sismógrafo y demás herramientas	63
Figura 38. Toma de datos en la andenería de Mask'abamba	64
Figura 39. Toma de datos en la zona aledaña a la vía férrea.....	64
Figura 40. Código rsac.m	65
Figura 41. Código SedPro.m.....	66
Figura 42. Resultados de los parámetros investigados, distancia del punto de grabación y cantidad de coches.....	67
Figura 43. Rango de frecuencias de excitación del tren.....	72
Figura 44. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados de la aceleración.....	76
Figura 45. Gráfico comparativo de los valores medios de la aceleración	77
Figura 46. Mapa de aceleraciones máximas normalizadas (PUCP).....	78
Figura 47. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados de la velocidad	81
Figura 48. Gráfico comparativo de los valores medios de la velocidad.....	82
Figura 49. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados del desplazamiento.....	84
Figura 50. Gráfico comparativo de los valores medios del desplazamiento	85
Figura 51. Aceleración Punto 1 Figura 52. Aceleración Punto 21	87
Figura 53. Superposición de ondas 1 - 21	87
Figura 54. Aceleración Punto 2 Figura 55. Aceleración Punto 22	88
Figura 56. Superposición de ondas 2 - 22	88
Figura 57. Aceleración Punto 3 Figura 58. Aceleración Punto 23	89
Figura 59. Superposición de ondas 3 - 23	89
Figura 60. Aceleración Punto 4 Figura 61. Aceleración Punto 24.....	90
Figura 62. Superposición de ondas 4 - 24	90
Figura 63. Aceleración Punto 5 Figura 64. Aceleración Punto 25.....	91
Figura 65. Superposición de ondas 5 - 25.....	91
Figura 66. Aceleración Punto 6 Figura 67. Aceleración Punto 26.....	92
Figura 68. Superposición de ondas 6 - 26	92
Figura 69. Aceleración Punto 7 Figura 70. Aceleración Punto 27	93
Figura 71. Superposición de ondas 7 - 27	93
Figura 72. Aceleración Punto 8 Figura 73. Aceleración Punto 28	94
Figura 74. Superposición de ondas 8 - 28	94
Figura 75. Aceleración Punto 9 Figura 76. Aceleración Punto 29	95
Figura 77. Superposición de ondas 9 - 29	95



<i>Figura 78. Aceleración Punto 10</i>	<i>Figura 79. Aceleración Punto 30</i>	96
<i>Figura 80. Superposición de ondas 10 - 30</i>		96
<i>Figura 81. Aceleración Punto 11</i>	<i>Figura 82. Aceleración Punto 31</i>	97
<i>Figura 83. Superposición de ondas 11 - 31</i>		97
<i>Figura 84. Aceleración Punto 12</i>	<i>Figura 85. Aceleración Punto 32</i>	98
<i>Figura 86. Superposición de ondas 12 - 32</i>		98
<i>Figura 87. Aceleración Punto 13</i>	<i>Figura 88. Aceleración Punto 33</i>	99
<i>Figura 89. Superposición de ondas 13 - 33</i>		99
<i>Figura 90. Aceleración Punto 14</i>	<i>Figura 91. Aceleración Punto 34</i>	100
<i>Figura 92. Superposición de ondas 14 - 34</i>		100
<i>Figura 93. Aceleración Punto 15</i>	<i>Figura 94. Aceleración Punto 35</i>	101
<i>Figura 95. Superposición de ondas 15 - 35</i>		101
<i>Figura 96. Aceleración Punto 16</i>	<i>Figura 97. Aceleración Punto 36</i>	102
<i>Figura 98. Superposición de ondas 16 - 36</i>		102
<i>Figura 99. Aceleración Punto 17</i>	<i>Figura 100. Aceleración Punto 37</i>	103
<i>Figura 101. Superposición de ondas 17 - 37</i>		103
<i>Figura 102. Aceleración Punto 18</i>	<i>Figura 103. Aceleración Punto 38</i>	104
<i>Figura 104. Superposición de ondas 18 - 38</i>		104
<i>Figura 105. Aceleración Punto 19</i>	<i>Figura 106. Aceleración Punto 39</i>	105
<i>Figura 107. Superposición de ondas 19 - 39</i>		105
<i>Figura 108. Aceleración Punto 20</i>	<i>Figura 109. Aceleración Punto 40</i>	106
<i>Figura 110. Superposición de ondas 20 - 40</i>		106
<i>Figura 111. Formulas establecidas en la calculadora científica</i>		110
<i>Figura 112. Valor de la aceleración con $R=1.5$</i>		110
<i>Figura 113. Valor de la aceleración con $R=8.325$</i>		110
<i>Figura 114. Valor de la velocidad con $R=1.5$</i>		111
<i>Figura 115. Valor de la velocidad con $R=8.325$</i>		111
<i>Figura 116. Valor del desplazamiento con $R=1.5$</i>		112
<i>Figura 117. Valor del desplazamiento con $R=8.325$</i>		112



I. Planteamiento del problema

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del problema

En varios puntos de nuestra ciudad, hay varias edificaciones las cuales no cumplen la norma respecto a la construcción de edificaciones cercanas a las líneas férreas. En nuestra región, no varió mucho en lo que respecta la zona de influencia del ferrocarril (norma N° 032- 2005-MTC Reglamento de Ferrocarriles, artículo 19) el cual nos señala en el punto b, que, desde 10 metros del límite de la zona del ferrocarril se pueden construir muros, cercos o edificaciones hasta de 5 metros de altura con salida hacia la vía férrea. Si bien la norma no fue establecida por un posible daño estructural, este podría generar una serie de problemas.

Nuestra región es una zona rica en patrimonio cultural heredado por parte de los incas, sus obras llegaron a trascender a lo largo de los años, y es por eso que muchas de estas están ubicadas en zonas cercanas a la actividad humana.

Los andenes de agricultura fueron de uso muy común en la época incaica, estas son terrazas las cuales sirvieron para la siembra de alimentos, este también ayudaba evitando la erosión del suelo; Todas estas estructuras, por ser de mucha importancia, estaban construidos cerca a la población, muchos caminos llevaron a estas maravillosas estructuras. En la actualidad, algunos de esos caminos se usaron para poder hacer vías férreas, como es en nuestro caso, el camino ubicado en el km 84 ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu, que está ubicada a unos escasos metros de los andenes de Mask'abamba, Ollantaytambo.

Es por eso que en esta oportunidad se estudiarán las microtrepidaciones producidas por paso del tren, y así poder determinar en qué condición llegan estas a los andenes de Mask'abamba ubicados en el km 84 ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu.



Figura 1. Mapa de ubicación a nivel nacional de la región Cusco (Google, 2010)



Figura 2. Mapa de ubicación a nivel departamental de la región Cusco (Valderrama, 2015)



Figura 3. Mapa político administrativo de la provincia de Urubamba (Google, 2006)

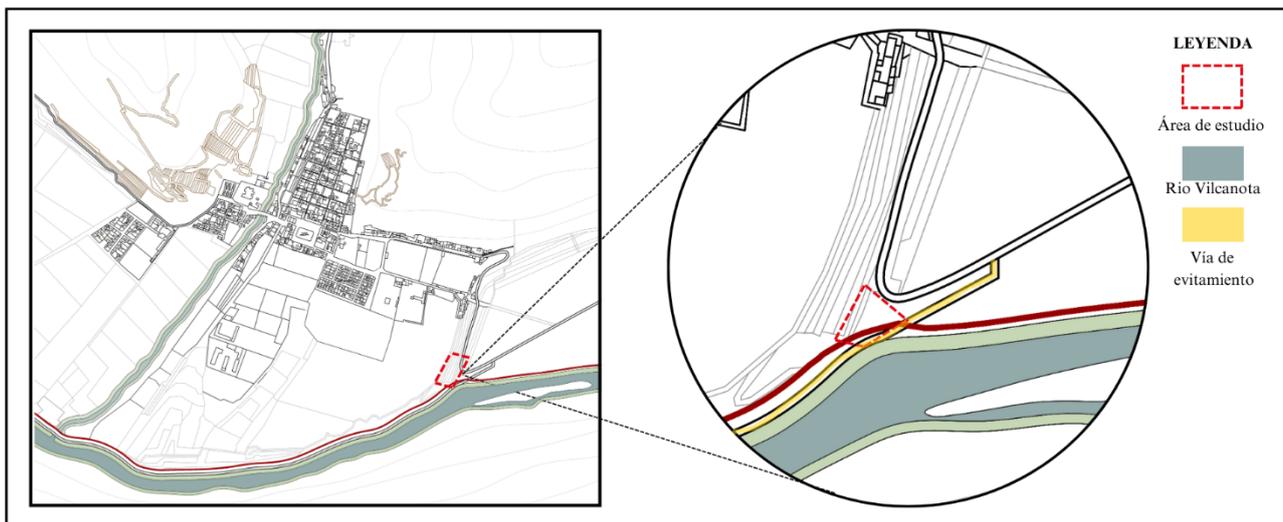


Figura 4. Mapa de ubicación del área de estudio a nivel distrital de Ollantaytambo (Municipalidad Provincial de Urubamba, 2013)



1.1.2 Formulación del problema general

¿Son afectados de forma negativa los andenes de Mask'abamba ubicados en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu por las microtrepidaciones producidas por el paso del tren?

1.1.3 Formulación de los problemas específicos

1. ¿Qué valor tiene la magnitud del parámetro de velocidad en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?
2. ¿Qué valor tiene la magnitud del parámetro de aceleración en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?
3. ¿Qué valor tiene la magnitud del parámetro de desplazamiento en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?
4. ¿En qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de velocidad en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?
5. ¿En qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de aceleración en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?
6. ¿En qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de desplazamiento en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu materia de la presente investigación?



1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

El estudio se encuentra dentro de la especialidad de ingeniería estructural e ingeniería sísmica, el cual, al momento de indagar en el estudio, se pretende determinar la significatividad de las microtrepidaciones producidas por el paso de un tren en los andenes de Mask'abamba, este estudio brindara un mejor conocimiento de las vibraciones superficiales y de los parámetros más importantes al momento de realizar el diseño de una estructura, a su vez, este podrá brindar una mejora en el conocimiento del impacto cercano a la vía férrea, ya que puede llegar a causar reacciones no deseadas en los alrededores.

1.2.2 Justificación social

La siguiente investigación tiene como finalidad brindar resultados de un tema ignorado en nuestro entorno, los cuales darán conocimiento a la población sobre las microtrepidaciones, siendo los resultados valiosos para tener en conocimiento si las estructuras cercanas a la vía férrea se encuentran expuestas a algún daño producido por las vibraciones generadas por el paso del tren.

1.2.3 Justificación por viabilidad

La presente investigación es viable de desarrollar ya que cuenta con los recursos necesarios y capacidades técnicas, las cuales se indica a continuación:

- El investigador tiene los recursos necesarios (tiempo, equipamiento y asesoría) para realizar la investigación.

De las afirmaciones anteriores, la investigación resulta ser viable.

1.2.4 Justificación por relevancia

Determinar la significatividad de las microtrepidaciones producidas por el paso del tren en los andenes de Mask'abamba, para poder conocer la condición de estas microtrepidaciones en el origen, vía férrea, y en la andenería, y así con el estudio, obtener resultados los cuales sirvan como base de datos para futuras construcciones que se realicen a cierta distancia de la vía férrea.



1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitación de lugar

La andenería de Mask'abamba es una zona accesible, por lo que será posible hacer las mediciones necesarias para el proyecto, sin embargo, se recurrirá a documentos de INDECI para poder revisar la clasificación de suelos en la zona, ya que no será posible hacer calicatas.

1.3.2 Limitación de software

Para la obtención de datos mediante software, se analizará un amplio listado de estos utilizados internacionalmente en este tipo de investigaciones, optándonos por el uso de JamaSeis, Matlab y Microsoft Excel.

1.3.3 Limitación de procedencia de datos

Es de importancia mencionar que los datos proceden de un estudio in-situ, y los resultados proceden de un análisis en software. Así mismo, estos resultados tendrán una validación estadística.

1.3.4 Limitación de equipos empleados en la recolección de datos

La limitación de equipos se basa en la calibración de los mismos, no se requiere calibración de equipos cuando estos son nuevos o tienen poco tiempo de uso debido al poco tiempo de funcionalidad del mismo.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Determinar si los andenes de Mask'abamba ubicados en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu son afectados de forma negativa por las microtrepidaciones producidas por el paso del tren.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar qué valor tiene la magnitud del parámetro de velocidad en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.
- Determinar qué valor tiene la magnitud del parámetro de aceleración en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.



- Determinar qué valor tiene la magnitud del parámetro de desplazamiento en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.
- Determinar en qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de velocidad en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.
- Determinar en qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de aceleración en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.
- Determinar en qué proporción se modificó el valor de la magnitud del parámetro de desplazamiento en los andenes de Mask'abamba influenciada por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación.



II. Marco Teórico de la Tesis

2.1. Antecedentes de la Tesis

2.1.1 Antecedentes a Nivel nacional

No se encontraron antecedentes a nivel nacional

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

2.1.2.1 Antecedente Internacional 01

Vacca et al. (2011) en su investigación, buscaron medir e interpretar de vibraciones producidas por el tráfico en Bogotá D.C. Se hicieron mediciones para registrar las vibraciones debidas al tren de la sabana, Transmilenio (buses articulados) y servicio público principalmente. Se determinaron curvas de atenuación en aceleración y velocidad. Se determinó que para las condiciones actuales las vibraciones pueden llegar a ser molestas para las personas, pero no generan problemas a las estructuras. No obstante, estos valores deben tomarse como punto de referencia de mediciones futuras cuando se incremente el tráfico, el peso de los vehículos (metro) y las velocidades de circulación. Estas vibraciones, dependen, entre otros aspectos, de las características mecánicas de los suelos. Teniendo en cuenta los planes futuros de construcción de sistemas transporte en Bogotá, se registraron vibraciones de tráfico vehicular y ferroviario en 6 sitios de Bogotá. En estos lugares se identificaron suelos típicos del estudio de microzonificación sísmica. En general se encontró que los valores máximos de aceleración y velocidad a distancias superiores a 45 m de la fuente, tienden a ser similares a los valores del ruido base. Los rangos de desplazamiento estimados están entre 0.0001 mm y 0.1 mm. La velocidad pico de partícula máxima registrada para tráfico vehicular fue de 1.04 mm/s y la aceleración máxima registrada para tráfico vehicular fue de 9.6 mg. Estos datos se establecieron para velocidades de los vehículos entre 28 y 53 km/h. Por su parte para los registros tomados para el paso del tren de la sabana (circulando a 33 km/h) presentan los valores más altos de aceleración (293 mg) y de velocidad (13.2 mm/s). La mayoría de las vibraciones registradas desde 0.1 m de la fuente hasta 50 metros de la misma pueden catalogarse como fácilmente perceptibles y perceptibles a personas y únicamente las vibraciones generadas por el tren se catalogarían como intensas para personas. A la luz de los resultados experimentales, a mayor velocidad de onda "S" las amplitudes de



desplazamiento registradas disminuyen y la frecuencia de los registros se incrementa debido a que la rigidez del suelo aumenta.

Vacca Gámez, H., Rodríguez, J. A., & Ruiz Valencia, D. (abril de 2011). *Medición e interpretación de vibraciones producidas por el tráfico*, Bogotá D.C. (Artículo de investigación). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.

2.1.2.2 Antecedente Internacional 02

Zhao et al. (2021) buscan en su investigación determinar el desplazamiento superficial y estimar el daño causado por Una serie de terremotos de pequeña magnitud (M_w 2.9~ M_w 4.9) ocurrió en el condado de Rong, provincia de Sichuan, China, entre el 30 de marzo de 2018 y diciembre de 2020, que amenazó la seguridad de residentes locales. Se analizó la influencia de algunos factores involucrados en el desplazamiento de la superficie, incluida la magnitud del terremoto, la profundidad focal y la distancia desde el epicentro de la falla. La medida anterior para terremotos de pequeña magnitud y el análisis estadístico para el desplazamiento no se han realizado antes, por lo que esto puede ayudar a comprender mejor las características de desplazamiento de los terremotos de pequeña magnitud, que son importantes para la evaluación de peligros y prevención de desastres. Este artículo utiliza el método D-InSAR integrado con la corrección atmosférica de GACOS para extraer el desplazamiento del grupo de terremotos de pequeña magnitud a partir de imágenes de Sentinel-1. GACOS puede corregir el retraso atmosférico, que mejora la precisión de seguimiento del desplazamiento de la superficie. Se encontró que no todos los eventos $M_w < 4$ tienen desplazamientos visibles en los datos de InSAR, mientras que se puede medir claramente cierto desplazamiento del terremoto de $M_w > 4.0$. Con base en la medición en este estudio, encontramos que la distancia del epicentro desde la falla activa principal conocida juega un papel en el desplazamiento observado. Los desplazamientos superficiales están relacionados con la magnitud del terremoto, la profundidad focal y la distancia de los epicentros a la falla. Cuanto menor sea la profundidad focal, mayor será la magnitud del terremoto, cuanto más cerca está la falla de los epicentros, más evidente es el desplazamiento. Esta información ayuda a comprender el peligro de desplazamiento causado por terremotos de pequeña magnitud, para ayudar en la evaluación del desastre posterior al terremoto y el rescate posterior al desastre, teniendo un resultado del desplazamiento vertical



por encima de 1 cm, siendo este desplazamiento dañino para las viviendas cercanas.

Zhao, L., Liang, R., Shi, X., Dai, K., Cheng, J., & Cao, J. (agosto de 2021). *Detecting and Analyzing the Displacement of a Small-Magnitude Earthquake Cluster in Rong County, China by the GACOS Based InSAR Technology*. (Artículo de investigación). Chengdu University of Technology, Chengdu.

2.1.2.3 Antecedente Internacional 03

Mallafre (2015) investiga la reducción de las vibraciones producidas por ferrocarriles mediante bloques de hormigón enterrados junto a la vía, donde indica que las barreras situadas por debajo de la superficie de las vías de tráfico ferroviario para impedir la propagación de vibraciones pueden ser utilizadas para reducir las vibraciones del suelo y proteger las estructuras colindantes. Su trabajo modeliza el efecto de las barreras activas y su eficiencia en la reducción de las vibraciones mediante un análisis de elementos finitos en dos dimensiones en un plano perpendicular al eje de la vía. La respuesta a la carga dinámica de un tren de alta velocidad se calcula mediante la integración de Newmark usando el criterio de MohrCoulomb para la deformación plástica del suelo. Con el fin de entender cómo actúan las barreras para impedir la propagación de vibraciones se describe en primer lugar la base teórica que describe el comportamiento del suelo sometido a una excitación en las condiciones creadas por la inserción de una barrera y el consecuente cambio de rigidez del conjunto. La parametrización del problema usando como variables las características de rigidez y peso específico del suelo y la profundidad de la barrera permite obtener la respuesta en diferentes situaciones y contrastar su eficiencia respecto a la vibración obtenida sin la utilización de un método para impedir la propagación de las vibraciones. La respuesta consiste en la medición de las aceleraciones verticales y horizontales soportadas por el suelo a partir de la plataforma de la vía en dirección perpendicular a esta con el fin de deducir el caso de máxima reducción de las condiciones estudiadas. La reducción de las aceleraciones verticales y horizontales en superficie mediante la utilización de un bloque de hormigón enterrado se pone de manifiesto para los tres tipos distintos de suelo en el caso de que el bloque este enterrado a una profundidad de un metro. Las aceleraciones horizontales se ven reducidas en mayor medida que las aceleraciones verticales para los tres tipos de suelo: Para un suelo de arcilla



obtenemos una reducción media de las aceleraciones verticales del 9,2% y una reducción media de las aceleraciones horizontales del 31,5%. Para un suelo de arena obtenemos una reducción media de las aceleraciones verticales del 10,1% y una reducción media de las aceleraciones horizontales del 40,4%. Para un suelo de grava obtenemos una reducción media de las aceleraciones verticales del 15,6% y una reducción media de las aceleraciones horizontales del 28%. También se tienen los datos de las vibraciones sin ningún bloque en el suelo, teniendo un valor inicial de 1.7 m/s^2 reduciéndose un 47%, llegando a un valor de 0.8 m/s^2 , con una distancia de 10 m entre ambos puntos de grabación. Los casos en que el bloque está enterrado a mayor profundidad producen generalmente una mayor aceleración en superficie, aunque su efecto es notable a mayor profundidad, siendo de utilidad en el caso en que las aceleraciones se quieren mitigar para proteger cimientos de estructuras o estructuras enterradas. Un análisis crítico de la utilización de bloques de hormigón enterrados bajo las vías del tren nos lleva a la necesidad de buscar un procedimiento constructivo eficiente y con un coste económico adecuado para poder llevarlo a cabo. Dado que el bloque de hormigón no tiene una función estructural y sólo representa un cambio de rigidez en el suelo, la utilización de residuos de hormigón de otras estructuras podría suponer una solución al problema económico.

Mallafre, J. (febrero de 2015). *Reducción de las vibraciones producidas por ferrocarriles mediante bloques de hormigón enterrados junto a la vía*. (Tesis de especialidad). Barcelona.

2.2. Bases Teórico – Científicas

2.2.1 Peligro para el patrimonio cultural edificado

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas, el peligro es “Una condición o característica intrínseca que puede causar lesión o daño a una propiedad y/o paralización de un proceso “Organización de las Naciones Unidas (ONU 2004)

Si bien es cierto que el peligro no puede eliminarse, estos se pueden manejar tomando precauciones acertadas, para asegurarnos de que estas amenazas no crezcan.



El patrimonio se define como un grupo riquezas heredadas, la cual engloba diferentes cualidades culturales, tales como historia, arqueología, etc. Dicho esto, sin importar la cualidad cultural, el patrimonio arqueológico puede delimitarse a riquezas o bienes edificados.

Cuando se habla de peligro de patrimonio cultural edificado, hablamos sobre la protección efectiva, la cual está dada por leyes, normas, etc. Estos peligros pueden ser de origen natural, como cambios climáticos, presencia de humedad, movimientos de tierra, lluvias, etc. Así mismo, estas pueden tener un origen relacionado al desarrollo humano, tales como operaciones forestales, contaminación del medio ambiente, erosión de suelos, etc.

2.2.2 Respuesta sísmica de los suelos

“El efecto local viene a ser la modificación de la señal sísmica debido a las condiciones geológicas y topográficas del terreno, durante o después de un movimiento registrado en el mismo.” Rodriguez (2005)

2.2.2.1 Amplificación del movimiento del suelo

Rodriguez (2005) afirma que el daño en las áreas de la zona de estudio se debe a la amplificación del movimiento del suelo. Esta amplificación es normalmente mayor para sismos de baja magnitud en áreas a cierta distancia del epicentro, donde se espera que las amplitudes de las ondas sísmicas se reduzcan debido a los efectos de atenuación.

Rodriguez tambien menciona dos mecanismos los cuales contribuyen a los efectos de amplificación de la señal, la amplificación geométrica y la amplificación dinámica.

2.2.2.1.1 Amplificación geométrica

Esta amplificación se da gracias al contraste de impedancias entre dos medios en contacto, para sedimentos, el contraste de impedancia esta dado como:

$$I_c = \frac{P_b * V_b}{P_s * V_s} \text{ con } v_b > v_s$$

(1)

Donde:



b: substrato rocoso

s: nivel sedimentario

P: Densidad

V: velocidad de ondas sísmicas

En materiales consolidados y jóvenes, el contraste de impedancia es mayor, provocando un mayor nivel de amplificación de la señal sísmica. La velocidad de las ondas S se reducirá cuando el depósito sedimentario se encuentre en un sustrato rocoso duro,

Rodriguez (2005) asegura que los depositos del suelo se comportan como filtros para la energia de alta frecuencia, pero la amplificacion de las bajas frecuencias puede causar daño potencial no deseado en estructuras con frecuencias naturales bajas.

2.2.2.1.2 Amplificación dinámica

Este tipo de amplificacion, tambien conocida como efecto de resonancia, considera la diferencia entre la frecuencia natural de la estructura y las ondas producidas por el sismo.

“Si ambas frecuencias llegan a aproximarse, se produce una amplificacion, incrementandose la amplitud de movimiento del suelo de forma significativa.” Rodriguez (2005)

2.2.2.2 Métodos de evaluación de los efectos del suelo

Rodriguez (2005) asegura que, los metodos mas frecuentes para la evaluacion de efectos en los suelos se centran en dos tipos, los metodos numericos y los metodos empiricos. Dentro de los metodos numericos destacan los modelos unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales. En los metodos empiricos se encuentran el metodo de Nakamura, la ratio espectral estándar (SSR) y los microsismos o microtemblores.



Las características espectrales de los microsismos tienen relación con las condiciones geológicas locales. Los periodos predominantes $T < 0.2$ segundos, nos indican la presencia de rocas duras, mientras que, un periodo predominante superior $T > 0.2$ nos indica depositos blandos. Es por eso que se diferencian cuatro tipos de suelos en la siguiente figura:

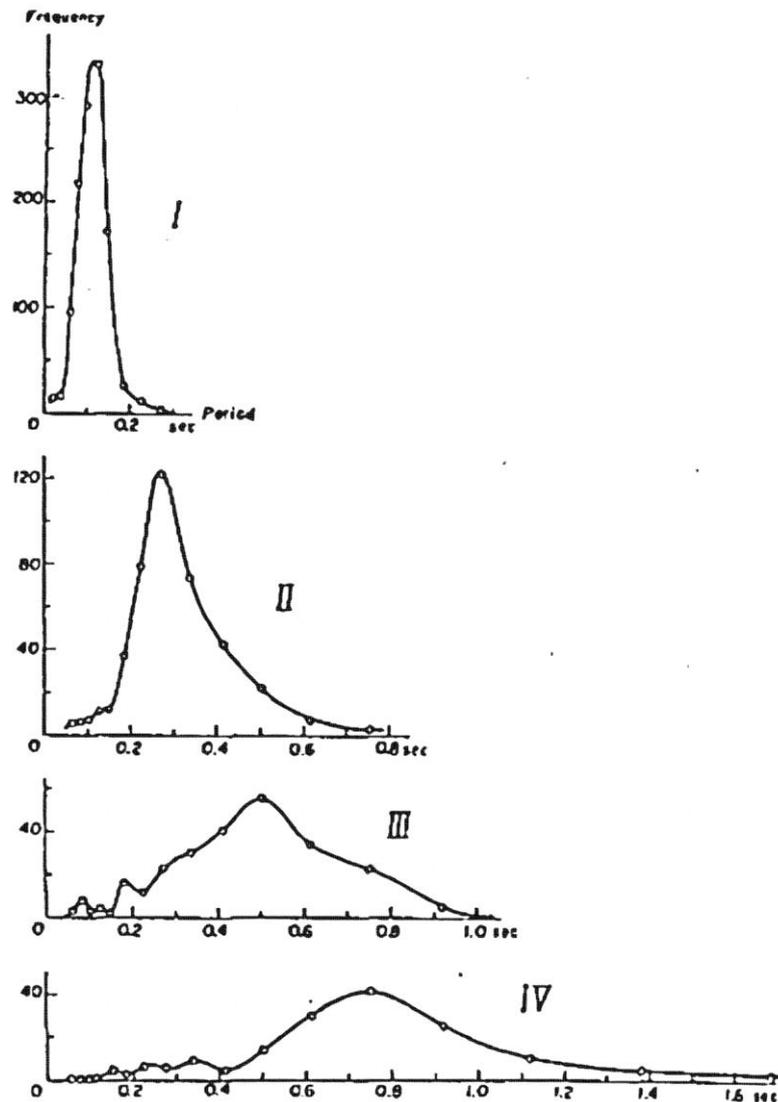


Figura 5. Frecuencias registradas en los distintos tipos de suelos (Rodríguez, 2005)

Donde:

Tipo I: rocas, gravas arenosas duras

Tipo II: gravas arenosas, arcilla arenosa dura

Tipo III: Suelo aluvial

Tipo IV: Suelo aluvial de depositos blanados, limos.

2.2.3 Atenuación de las ondas sísmicas

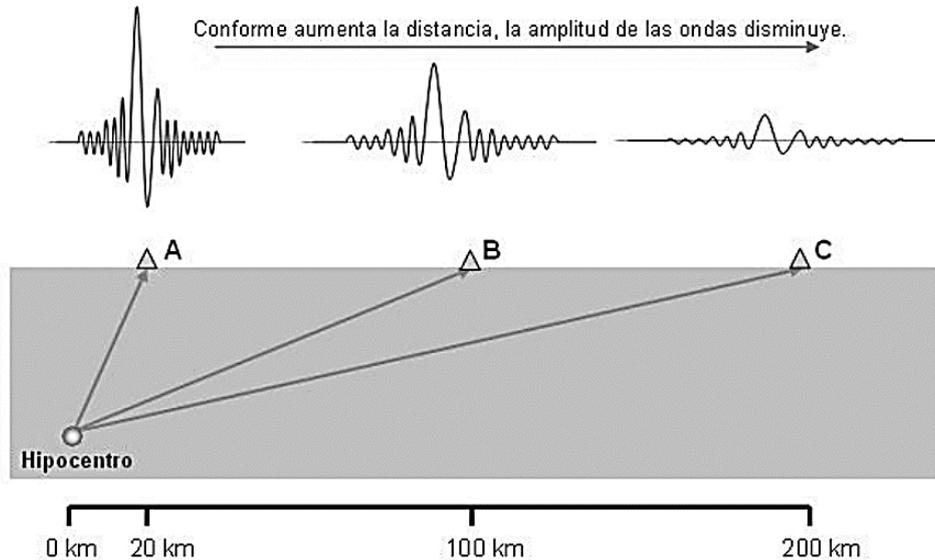


Figura 6. Atenuación de ondas sísmicas (Gaspar, 2012)

Gaspar (2012) dice que, las ondas sísmicas, a medida que se propagan del origen, se atenúan, disminuyendo sus amplitudes. Las amplitudes de las ondas sísmicas se reducen gracias a cuatro procesos, siendo los tres primeros procesos elásticos donde la energía en el campo de ondas se conserva, estos procesos son:

- Dispersion geometrica
- Atenuacion por dispersion
- Trayectorias multiples
- Atenuacion inelastica

Para explicar cada uno de estos procesos, Gaspar usa una analogía relacionada a la óptica.

2.2.3.1 Dispersión geométrica

“Se tiene una fuente que genera luz, esta luz se propaga desde esta fuente en forma de frentes de ondas esféricas, cada vez que alguien se aleje de la fuente, la luz decrecera” Gaspar (2012).

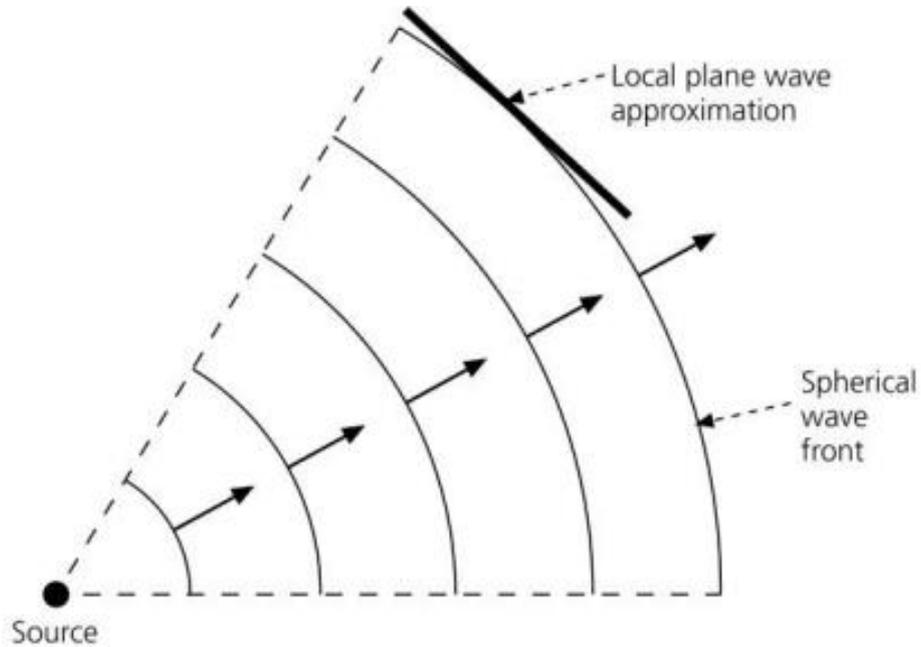


Figura 7. Dispersión geométrica (Gaspar, 2012)

2.2.3.2 Atenuación por dispersión

“La luz empezara a perder brillo debido a las condiciones del entorno en el que se encuentre, pasando por polvo, agua, moléculas de aire, etc.” Gaspar (2012).

Debido a los cambios de materiales de la zona, las ondas se dispersan en diferentes fases, esto dependerá de las propiedades de estos materiales, los cuales llevará a un decaimiento de amplitudes y efectos de dispersión.

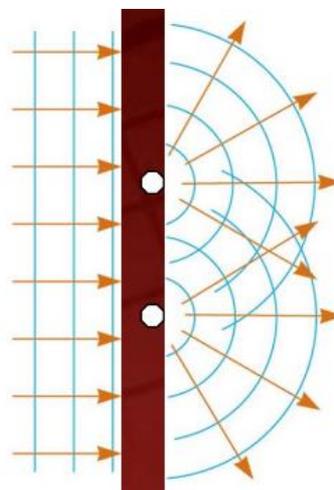


Figura 8. Atenuación por dispersión (Gaspar, 2012)

2.2.3.3 Trayectorias múltiples

“La luz se enfoca o desenfoca debido a cambios en las propiedades reflectivas del aire, causando los espejismos” Gaspar (2012).

En la sismología este efecto es conocido como multitrayectorias, estos enfoques y desenfocos se obtienen gracias a las variaciones laterales de

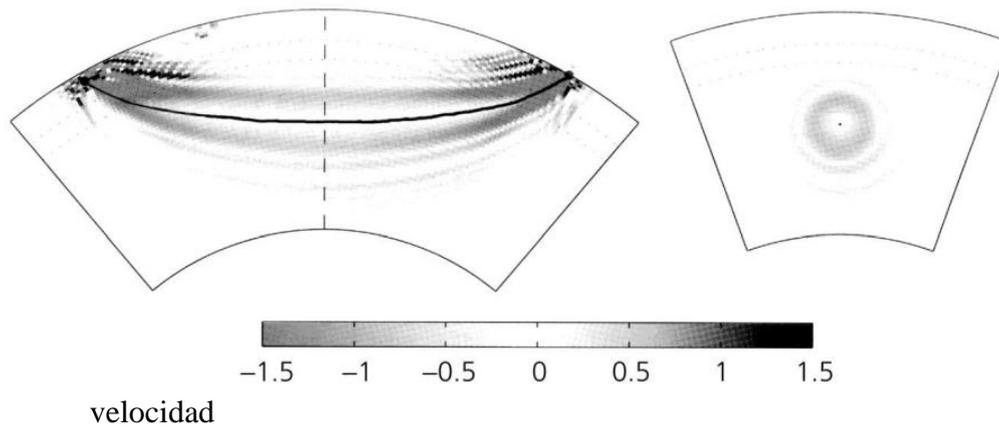


Figura 9. Trayectorias múltiples (Gaspar, 2012)

2.2.3.4 Atenuación inelástica

“Este proceso es diferente a los anteriores debido a la pérdida de energía al momento de la propagación, involucrando la transformación de energía elástica en calor. La atenuación inelástica en ondas sísmicas es la relajación visco elástica de los materiales de la zona” Gaspar (2012).

Para finalizar Gaspar (2012) dice que, la propagación de las ondas sísmicas radica en el intercambio entre la energía cinética y el potencial desplazamiento, debido a la pérdida de energía, este proceso no es reversible en su totalidad. Parte de la sismología es asumir que las ondas sísmicas se propagan de una manera elástica, esto no es cierto, ya que, sin inelasticidad, cada una de las ondas sísmicas ocurridas en la tierra a lo largo de la historia se mantendrían en movimiento, haciendo que la tierra desaparezca por el gran número de vibraciones. La elasticidad es una muy buena aproximación a la respuesta de la tierra ante la presencia de ondas sísmicas, pero para las implicaciones y aplicaciones a la amenaza sísmica, es necesario la inelasticidad.



2.2.3.5 Ley de atenuación de ondas

“La ley de atenuación es una expresión semiempírica que relaciona magnitud, distancia e intensidad del registro de un sismo” Theurer (2016). En su investigación, compara 13 leyes de atenuación, en la cual identifico que leyes se acercan más a los valores registrados, error y rango eficiente. Llegando a la conclusión que la mejor ecuación que se desarrolla es la presentada por Soberón et al. (2005). Sin embargo, Theurer recalca que esta formula tiene un error del 25%.

Soberón et al. (2005) plantean leyes de atenuacion para la aceleracion, velocidad y desplazamiento, siendo las ecuaciones:

$$\ln(a) = 2.308 + 0.78 * M - 0.844 * \ln(R) - 0.004 * R \quad (2)$$

$$\ln(a) = 1.237 + 1.519 * M - 0.0313 * M^2 - 0.844 * \ln(R) - 0.004 * R \quad (3)$$

$$\ln(v) = -2.802 + 1.117 * M - 0.902 * \ln(R) - 0.001 * R \quad (4)$$

$$\ln(v) = -3.684 + 1.423 * M - 0.026 * M^2 - 0.002 * \ln(R) - 0.001 * R \quad (5)$$

$$\ln(d) = -6.608 + 1.497 * M - 1.007 * \ln(R) - 0.0013 * R \quad (6)$$

$$\ln(d) = -8.020 + 1.966 * M - 0.0396 * M^2 - 1.007 * \ln(R) - 0.0013 * R \quad (7)$$

Donde:

M: Magnitud del sismo en la escala de Richter

R: Distancia entre el punto de estudio al punto del epicentro en Km

2.2.4 Respuesta dinámica del suelo

Hurtado (2020) afirma que, la dinamica de suelos viene a ser una parte de de la mecanica de suelos, la cual trata sobre la respuesta de masas del suelo y el comportamiento del mismo, durante la aplicación de una carga, para poder evaluar las propiedades del terreno.

Vs: velocidad de onda de corte

G/Gmax: modulo de cortante, modulo de cortante maximo

D: Factor de amortiguamiento

Ts: Periodo fundamental del suelo

2.2.4.1 Velocidad de onda de corte

Lazcano (2012) menciona que, este parámetro es el más usado para caracterización del suelo, son ondas elásticas denominadas así, debido a que estas pueden desplazarse a través de un objeto. Estas ondas guardan una alta similitud con las ondas Rayleigh, en cunado a su valor, llegando a tener un 90 o 95% de parecido. En medios continuos ambas ondas pueden llegar a tener el mismo valor.

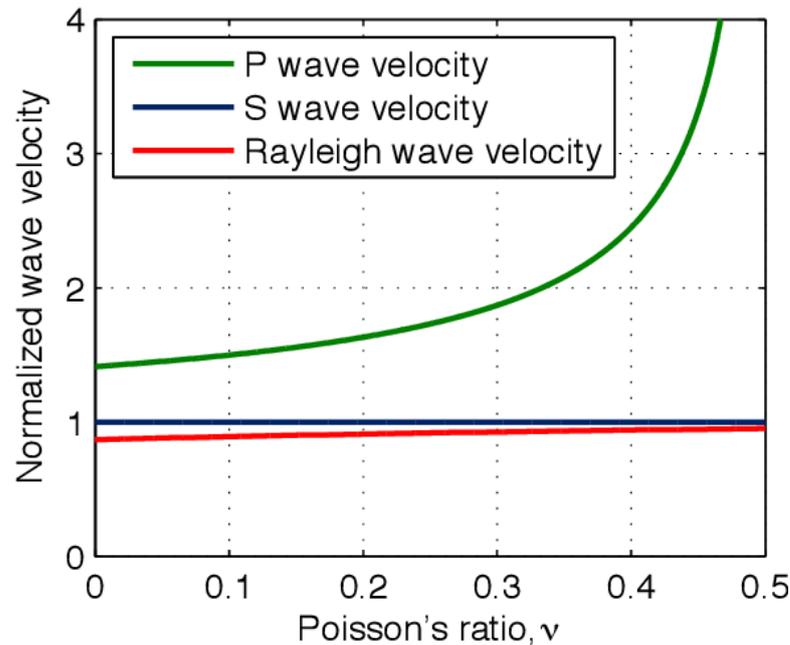


Figura 10. Variación de velocidad de ondas en un medio continuo (Ólafsdóttir, 2016)

2.2.4.2 Módulo de cortante, módulo de cortante máximo

Ólafsdóttir (2016) dice que, el módulo de cortante es usado para tener un modelado más avanzado del suelo, y para tener respuesta dinámica entre las interacciones de suelo estructura, este parámetro es necesario para definir las matrices de rigidez en el análisis de elementos finitos de suelos de fundación y estructuras de tierra. El módulo de cortante máximo es usado para normalizar el módulo de corte contra la relación de deformaciones de corte, una vez normalizadas estas relaciones, el ingeniero puede usar curvas de degradación establecidas.

$$G_{Max} = P * V^2 \tag{8}$$

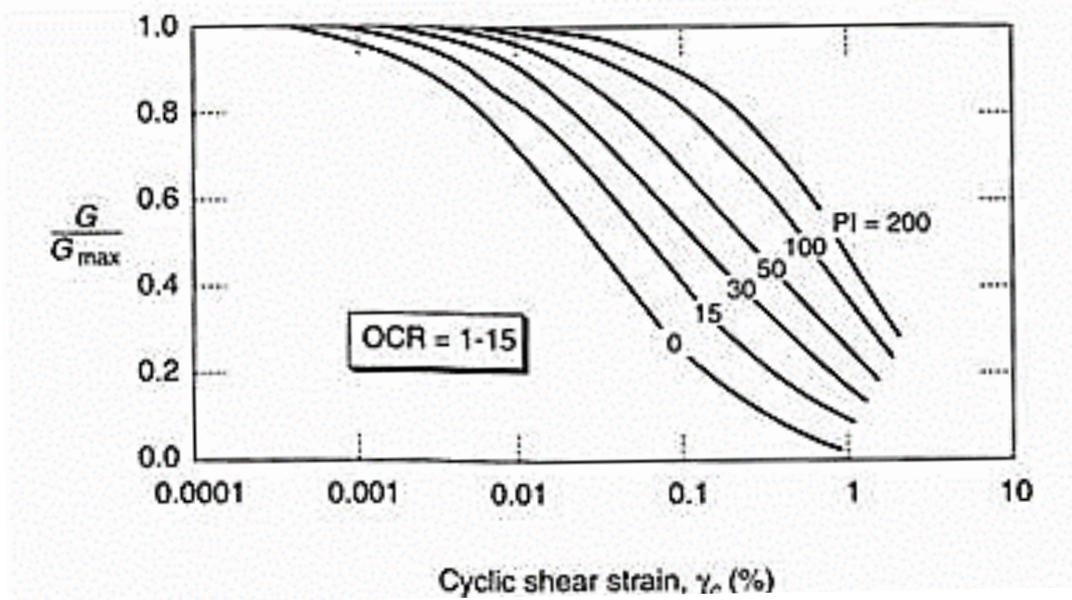


Figura 11. Esfuerzo cortante cíclico (Vucetic & Dobry, 1991)

Stoll y Kald (1977) hicieron investigaciones en suelos granulares con niveles de plasticidad bajos, en donde mencionan que dichos suelos presentan un esfuerzo cortante cíclico entre 0.005 y 0.006%.

2.2.4.3 Factor de amortiguamiento

Bark (2019) menciona que, es un parámetro muy usado para proporcionar una atenuación de movimiento realista, esta relación está basada en las propiedades de amortiguación del material, su uso se basa en hallar la capacidad del material para poder absorber energía dinámica y saber cómo esto afectara a los modos y duración de vibraciones.

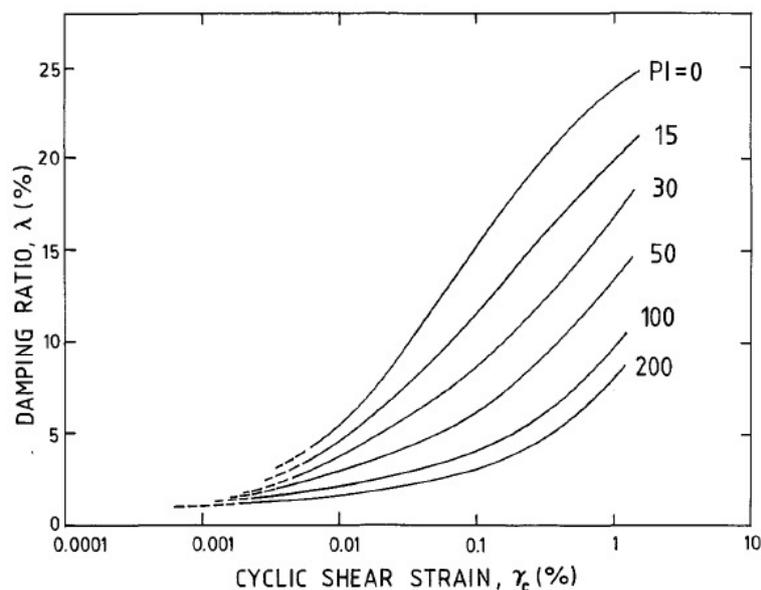


Figura 12. Factor de amortiguamiento (Vucetic & Dobry, 1991)



2.2.4.4 Periodo fundamental del suelo

“El período fundamental del suelo (T_s), es uno de los indicadores más usados mundialmente para estimar los efectos locales de los suelos al ser sometidos a sollicitaciones sísmicas.” Bermúdez et al. (2002)

Mendoza y Velázquez (2017) mencionan en su investigación que, los microsismos se pueden usar para estimar los efectos de sitio, periodo dominante y microzonificación. Los microsismos de origen artificial (antrópicos) tienen periodos cortos, menores a 1 segundo, pero con frecuencias mayores a los 1 Hz. El periodo fundamental del suelo está dado en la siguiente formula:

$$T_s = \frac{V_s}{4.H} \quad (9)$$

Donde:

T_s : Periodo fundamental del suelo

V_s : Velocidad de onda de corte

H: altura del estrato

Mendoza y Velázquez (2017) a su vez, dicen que la frecuencia y el periodo están directamente relacionadas, una frecuencia baja, equivale a un periodo alto, y una frecuencia alta, equivale a un periodo bajo.

$$T = \frac{1}{f} \quad f = \frac{1}{T} \quad (10)$$

Donde:

T: Periodo

F: Frecuencia

2.2.5 Transformada de Fourier y ondas armónicas

“Algunas señales exhiben componentes periódicos que se repiten a intervalos fijos a lo largo de la señal, como una onda sinusoidal. El análisis de señales armónicas se basa en la transformada de Fourier, que es una forma de expresar una señal como una suma ponderada de ondas seno y coseno.” O'Haver (2021).



Las ondas periódicas, o armónicas, muestran componentes de frecuencia que son múltiplos de la frecuencia fundamental, por ejemplo, una frecuencia de 6 Hz presenta múltiplos armónicos x2, x3, x4 ..., etc; siendo estos valores (12 Hz, 18 Hz, 24 Hz ... etc.) siendo la frecuencia fundamental 6Hz.

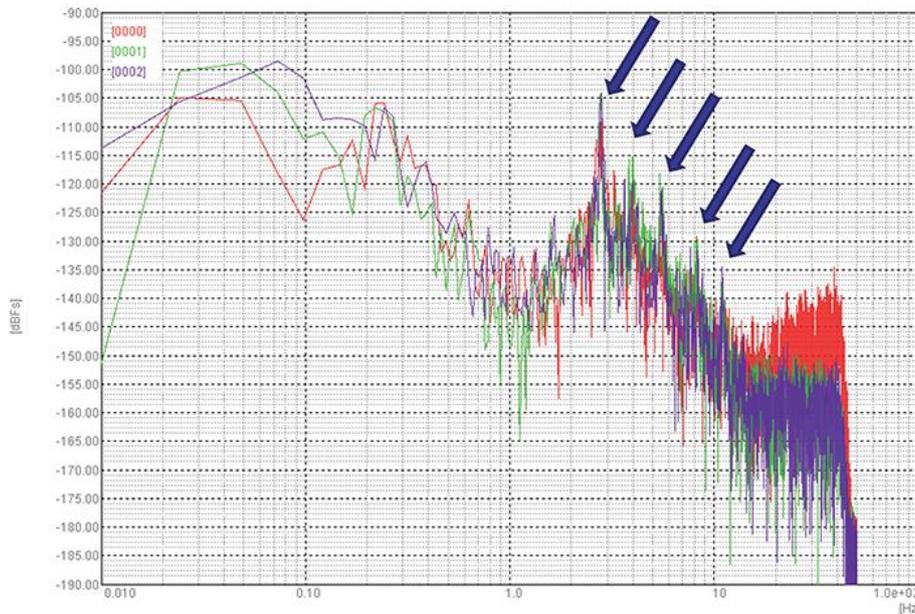


Figura 13. Registro de ondas armónicas (Kanao, 2017)

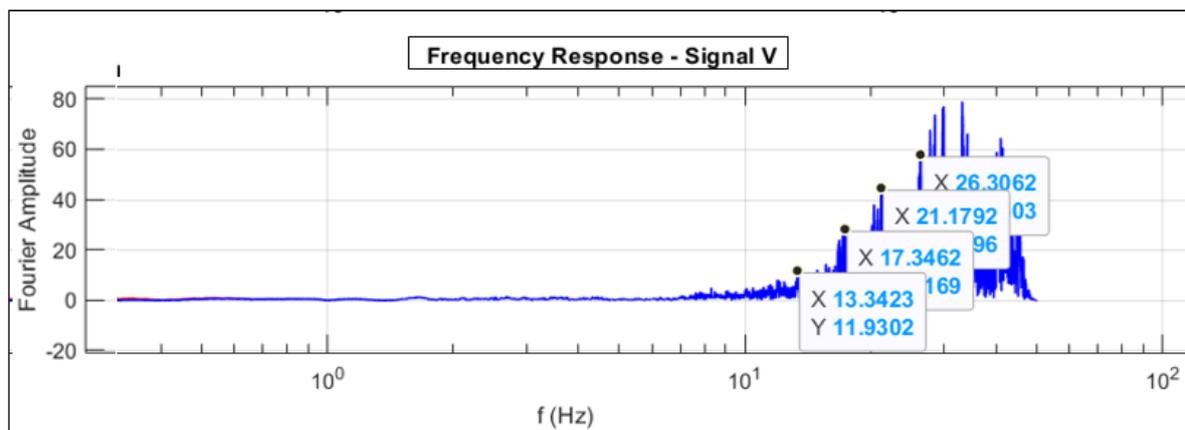


Figura 14. Ondas armónicas en la presente investigación

2.2.6 Microtrepidaciones

Las microtrepidaciones, o microtemores, fueron estudiadas desde hace más de cien años. Fusakichi Omori fue el precursor de estudios sísmicos mediante el uso de un péndulo inclinado, llegando a la conclusión de la existencia de vibraciones en el suelo, las cuales podrían tener un origen relacionado a la actividad humana o a actividad natural.



Según los autores Lay y Wallace (1995) las principales fuentes de ondas sísmicas fueron clasificadas en:

- Internas
- Externas
- Mixtas

Tabla 1

Internas	Externas	Mixtas
Fallas sísmicas	Vientos, presión atmosférica	Erupciones volcánicas
Explosiones internas	Oleaje y mareas	Deslizamientos
Flujo hidrológico	Ruido cultural (tráfico, trenes)	Avalanchas
Movimientos del magma	Impacto de meteoritos	
Explotación minera subterránea	Explotación minera	
	Lanzamiento de cohetes	
	Aterrizaje y decolaje de aviones	

Principales fuentes de ondas sísmicas

Fuente: (Lay & Wallace, 1995)

Como se mencionó anteriormente, las vibraciones se pueden clasificar en dos grupos: naturales y artificiales, siendo las naturales inducidas por tormentas, vientos, oleaje, etc. Y las artificiales causadas por trenes, tráfico automotor, etc.

La aplicación general de las microtrepidaciones se enfoca en la estimación de las características de vibración de una superficie y para el conocimiento estructural del suelo y/o subsuelo. Estas vibraciones están básicamente compuestas por ondas superficiales (ondas S).

2.2.6.1 Naturaleza de las Microtrepidaciones

Las microtrepidaciones, a lo largo de los años, fueron objeto de estudio, la cual incluye el uso y aplicación de diferentes métodos para poder investigar las diferentes solicitudes dadas en su momento.



El análisis de microtrepidaciones estadístico fue planteado por Aki (1957) el cual considera estas vibraciones como ondas superficiales dispersas.

Autores como Kanai y Tanaka (1961) llegaron a la conclusión de que las microtrepidaciones se amplifican gracias a reflexiones de ondas S.

Unos años más tarde Allam y Shima (1967) finalizaron su investigación diciendo que las microtrepidaciones pueden reflejarse como ondas Love y Rayleigh.

Al igual que los anteriores autores ya mencionados, hubo gran cantidad de estudios relacionados a las microtrepidaciones, llegando a uno de los estudios más acertados sobre el tema. En el año 1989, Yukta Nakamura plantea una metodología la cual se basa en suposiciones.

2.2.6.1.1 Ondas sísmicas

Podemos definir a las ondas sísmicas como una clase de onda elástica, la cual contiene gran cantidad de poder al momento de propagarse. Estas ondas viajan a través de la tierra, las fuentes de estas son dos, naturales, como son los sismos, o artificiales, las cuales podrían ser producidas por explosiones. Según la norma técnica peruana E.030 de diseño sismo resistente, son cinco perfiles de suelo, perfil S₀: Roca dura, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte mayor a los 1500 m/s. Perfil S₁: Roca o suelos muy rígidos, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte entre los 1500 m/s y los 500 m/s. Perfil S₂: Suelos intermedios, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte entre los 500 m/s y 180 m/s. Perfil S₃: Suelos blandos, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte menor o igual a 180 m/s. Perfil S₄ son suelos excepcionalmente flexibles, solo es necesario considerar este tipo de suelo cuando el estudio de mecánica de suelos lo determine.

Según Molina y Silva (2010), estas ondas se dividen en dos grupos principales, ondas P y ondas S, Las ondas P se extienden por el interior del planeta, mientras que las ondas S se originan por la relación existente entre las ondas P y la superficie terrestre, su propagación se debe a esto.

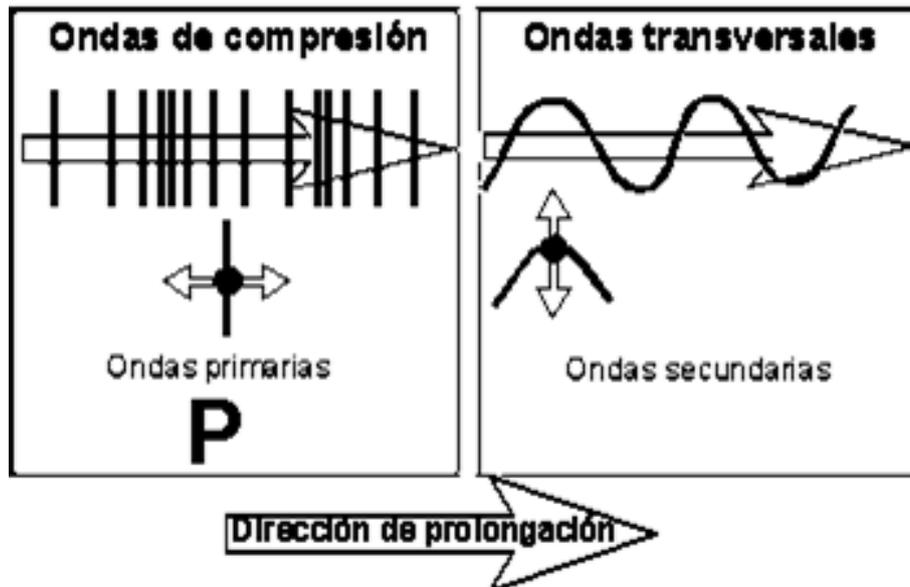


Figura 15. Tipos de onda sísmica (Griem, 1998)

Las ondas P tienen la propiedad de extenderse a una mayor velocidad que las ondas S, estas son capaces de atravesar materiales líquidos, sólidos y gaseosos, ya que estos son materia comprensible.

Las ondas S competen a la deformación cortante, estas solo pueden transmitirse mediante sólidos, esto se debe a que la materia líquida no tolera esfuerzos cortantes.

2.2.6.1.1.1 Ondas superficiales o secundarias

También llamadas ondas de corte, esto nos da a entender que el desplazamiento del suelo será de forma perpendicular con respecto a la dirección de propagación.

Silva y Molina (2006) afirman:

Normalmente el movimiento de las partículas se polariza en dos direcciones principales: Paralelas al terreno que son denominadas ondas SH, y las normales al terreno denominadas ondas SV. Son las ondas SH las que mayor daño generan sobre las construcciones y normalmente llegan después de las ondas P.

Las ondas S se desplazan a través de la superficie terrestre, estas logran reducirse dependiendo de la profundidad en la que se encuentren.



Entre las ondas más importantes, en cuanto un propósito ingenieril, se encuentran las ondas Love y ondas Rayleigh.

Las ondas Love se producen por la interacción de las ondas SH con superficies blandas (...) las ondas Rayleigh se producen por la interacción de las ondas P y SV con la superficie de la tierra

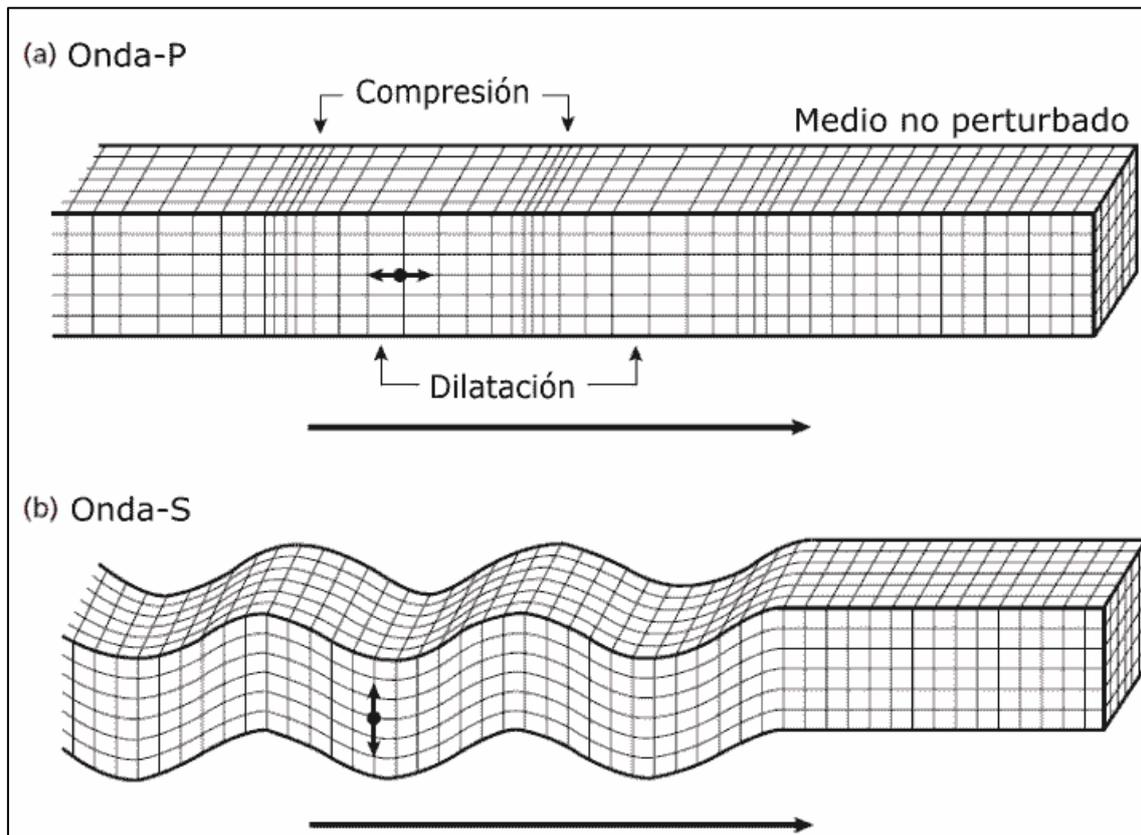


Figura 16. Deformaciones causadas por los diferentes tipos de ondas que generan los sismos (Silva & Molina, 2006)

2.2.6.1.1.2 Ondas L

Como se mencionó anteriormente, este tipo de ondas son producidas por la interacción de ondas SH con superficies blandas, tienen un parecido a las ondas de corte. Para que estas se puedan propagar, es necesario la existencia de una capa, la rigidez es una característica importante de esta capa, ya que esta es diferente a la del medio principal por el cual viaja la onda. En la figura 17 se muestra detalladamente.

2.2.6.1.1.3 Ondas R

Este tipo de ondas se caracterizan por tener un desplazamiento elíptico, la propagación de estas ondas solo requiere un requisito, la efectividad de la superficie. “Son las ondas más lentas con velocidades de grupo, que van de 1 a 4 kilómetros por segundo” (Gutenberg & Richter, 1941). En la figura 17 se muestra detalladamente.

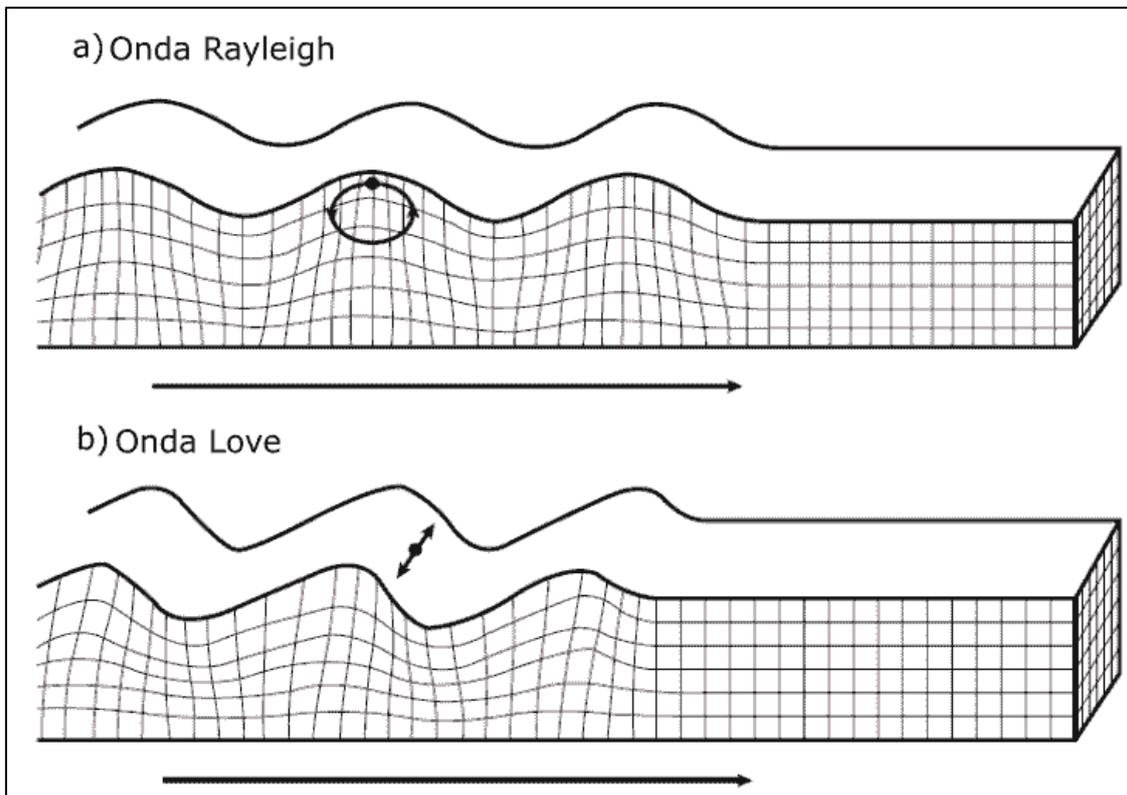


Figura 17. Forma de propagación de las ondas superficiales (Silva & Molina, 2006)

2.2.6.2 Medición de Microtrepidaciones

Durante los últimos años se usó dispositivos de medición de vibración, como es el RaspberryShake 4D, entre otros, por su tamaño y uso no complicado.

Los equipos necesarios sin importar el dispositivo que se use serán:

- Sensores
- Data Recover
- Fuente de energía
- Ordenador portátil



Existe variedad en cuanto a la metodología de medición, una de ellas fue en el año 1954 propuesta por Kanai y Tanaka, estas empleaban la lectura de ondas registradas y ábacos.

Al pasar de los años se desarrollan metodologías que emplean la búsqueda de la determinación de parámetros dinámicos, estas metodologías se dividen en tres:

- Observación con sensores y registro paralelo
- Observación con una estación de referencia
- Observación con estación individual

También se registraron métodos los cuales tenían como objeto de estudio a las ondas superficiales, dividiéndose en pasivos, activos e híbridos.

2.2.6.3 Escala de Mercalli Modificada

Kuroiwa, 1992 afirma:

La escala de mercalli evalúa la intensidad de los sismos a través de los daños y efectos causados en distintas estructuras los cuales están divididos en 10 grados.

El Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) desarrolló una escala de intensidad instrumental el cual guarda correlación con la escala de Mercalli modificada.



Tabla 2

Instrumental intensity	Acceleration (g)	Velocity (cm/s)	Perceived shaking	Potential damage
I	<0.000464	<0.0215	Not felt	None
II-III	0.000464 – 0.00297	0.135 – 1.41	Weak	None
IV	0.00297 – 0.0276	1.41 – 4.65	Light	None
V	0.0276 – 0.115	4.65 – 9.64	Moderate	Very light
VI	0.115 – 0.215	9.64 – 20	Strong	Light
VII	0.215 – 0.401	20 – 41.4	Very strong	Moderate
VIII	0.401 – 0.747	41.4 – 85.8	Severe	Moderate to heavy
IX	0.747 – 1.39	85.8 – 178	Violent	Heavy
X+	>1.39	>178	Extreme	Very heavy

Intensidad instrumental

Fuente: (USGS, 2011)

2.2.6.4 Metodología de Nakamura

Este es un método de metodología pasiva, esta fue propuesta en el año 1989 por Nakamura, el cual propone el uso de microtrepidaciones para el cálculo de efectos in-situ, todo esto gracias a la relación entre las componentes verticales y horizontales del espectro registrado.

Al ser un método pasivo, este se basa en suposiciones, Nakamura (1989) afirma:

El ruido ambiental es generado por la reflexión y refracción de ondas en la superficie de capas sedimentarias y ondas superficiales. Las fuentes artificiales superficiales de ruido, como tráfico, peatones, no afecta el ruido ambiental de fuentes profundas, todo esto cuando no se produzcan cerca del receptor. La componente vertical no es amplificada por la capa sedimentaria.

Debemos definir el efecto in-situ (S_E) y el efecto de la onda R (A_S), usando la transformada de Fourier:

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \quad A_S = \frac{v_S}{v_B} \quad (11)$$

Donde:



- Hs, Hb: espectro de amplitud de Fourier y amplitud de base de la componente H.
- Vs, Vb: espectro de amplitud de Fourier y amplitud de base de la componente V.

“El espectro vertical y horizontal son equivalentes en el manto rocoso”
(Nakamura, 1989):

Podemos finalizar diciendo que, por la teoría de este método, son necesarios los valores verticales de la onda para analizar el efecto de la onda R en el suelo.

2.2.7 Andenería de Mask'abamba

Mask'abamba es una zona de viviendas y andenerías que se encuentra ubicado en Ollantaytambo, en esta ciudad podemos encontrar gran variedad de andenes, los cuales inician kilómetros antes de Ollantaytambo, hasta llegar a Pachar. Ollantaytambo sirvió para la administración y control del Valle sagrado de los Incas, ya que este contaba como centro religioso, agrícola y militar. Se encuentra ubicado aproximadamente a 60 kilómetros al noreste del Cusco a más de 2700 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).



Figura 18. Ciudad de Ollantaytambo (Protze, 2016)

Ollantaytambo fue una ciudad la cual en inca Pachacútec mando a construir después de haberla conquistado. A lo largo de la conquista española, la ciudad de Ollantaytambo fue, para Manco Inca Yupanqui, una capital temporal. Es en la planicie



de Mask'abamba donde Mano Inca Yupanqui derroto a la expedición española, logrando el bloqueo de su avance.

Actualmente es una atracción turística de suma importancia, debido a su historia, arquitectura, y por ser una de las principales salidas hacia Machupicchu en el camino Inca.

Abelardo (2015) muestra la construcción de andenería mas comun dentro de la ciudad del Cusco, teniendo una cimentación entre 30 a 50 cm de profundidad.

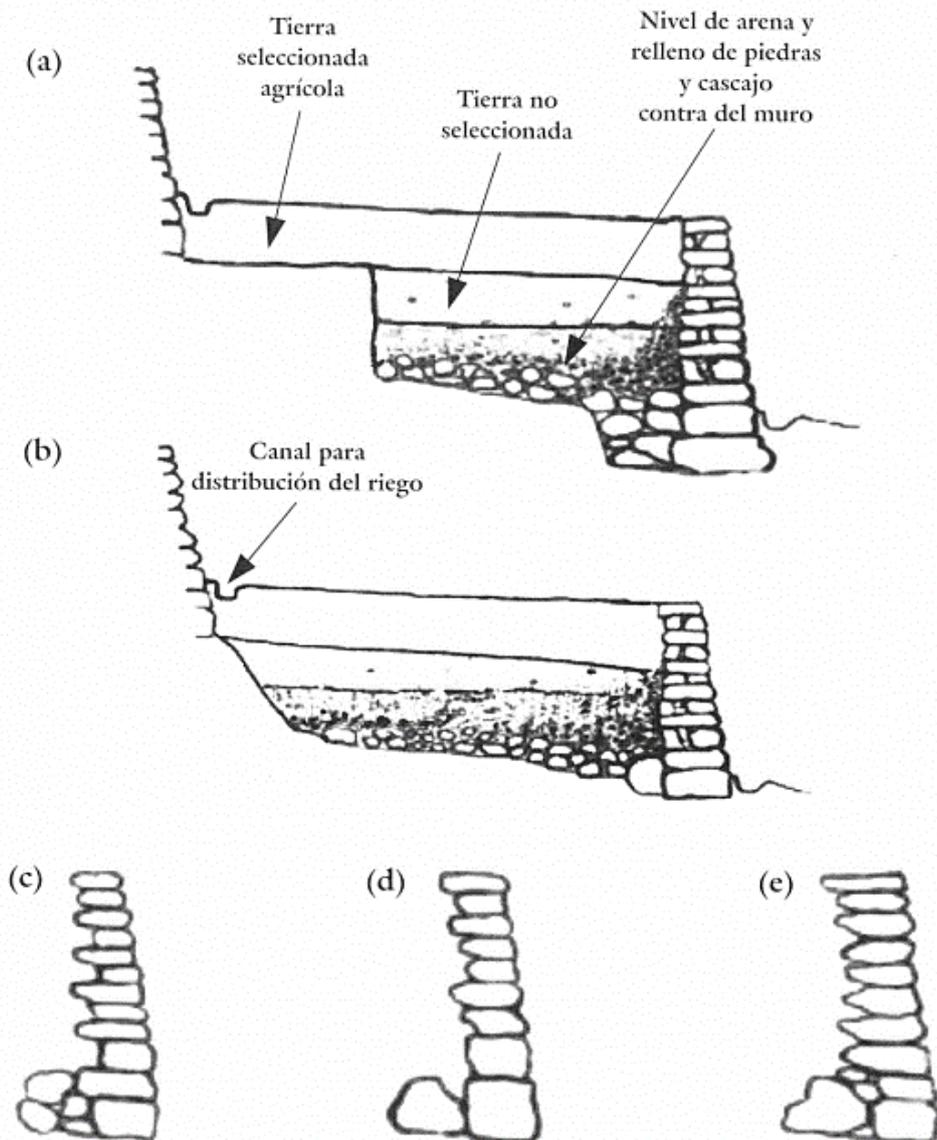


Figura 19. Corte transversal de andenería en Cusco (Abelardo, 2015)



2.2.8 Ley de patrimonio

El patrimonio cultural de un país es el grupo de bienes heredados, los cuales incluyen bienes materiales e inmateriales, estos bienes incluyen lo arqueológico social, artístico, etc.

En el Perú, la ley que regula el patrimonio cultural es la ley N. °28296.

Según el (Ministerio de Cultura, 2004) “La presente Ley establece políticas nacionales de defensa, protección, promoción, propiedad y régimen legal y el destino de los bienes que constituyen el Patrimonio Cultural de la Nación”

Se entiende por bien integrante del Patrimonio Cultural de la Nación toda manifestación del quehacer humano -material o inmaterial- que, por su importancia, valor y significado paleontológico, arqueológico, arquitectónico, histórico, artístico, militar, social, antropológico, tradicional, religioso, etnológico, científico, tecnológico o intelectual, sea expresamente declarado como tal o sobre el que exista la presunción legal de serlo. Dichos bienes tienen la condición de propiedad pública o privada con las limitaciones que establece la presente Ley. (Ministerio de Cultura, 2004)

2.2.9 Sismógrafo

Un sismógrafo es un instrumento el cual se usa para medir movimientos generados en la tierra. Para poder hablar de los sismógrafos debemos tener en cuenta el principio de inercia de los cuerpos, el cual señala que los cuerpos poseen una resistencia al movimiento o a poder variar su movimiento, es así que el movimiento del suelo puede ser medido con respecto a un oscilador.

Antiguamente se usaban péndulos, amortiguadores, etc. En la actualidad se logra mediante el uso de imanes y/o bobinas, geófonos, acelerómetros, etc.

La acción de movimiento en el suelo causa reacciones en las tres dimensiones del espacio, estos movimientos también tienen direcciones horizontales y verticales, es por esto que un sismógrafo se compone por acelerómetros horizontales y verticales para poder obtener un resultado confiable.

2.2.9.1 Geófono

Un geófono es una herramienta la cual se encuentra en contacto con la superficie terrestre, esta transforma el movimiento generado en la tierra, en



señales. Estos geófonos responden únicamente a la componente vertical generada por el movimiento de un suelo.

2.2.9.1.1 Geófono piezoeléctrico

Un geófono piezoeléctrico está conformado por una batería de placas de material piezoeléctrico, el cual es sensible a la presión, estos materiales pueden ser cuarzo, titanato de bario, etc. En esta batería mencionada, descansa una masa, la cual al momento que suceda una aceleración con dirección hacia arriba en el suelo, aumentará el peso aparente de esta y por consecuencia subirá la presión la cual está presente en los cristales piezoeléctricos. En el caso que ocurra lo contrario, y se produzca una aceleración con dirección hacia abajo, el peso aparente de la masa disminuye al igual que la presión que es ejercida en las placas, estos actos inducen variaciones de voltajes proporcionales a dicha aceleración, generando señales eléctricas.

2.2.9.2 Acelerómetro

Un acelerómetro es una herramienta con la cual podemos medir y analizar la aceleración angular y/o aceleración lineal. Su uso implementado en el estudio de vibraciones nos permite convertir el movimiento en una señal, al igual que el geófono.

2.2.9.2.1 Acelerómetros MEMS

Este tipo de acelerómetros ofrece sensores completos, los cuales son capaces de medir una aceleración negativa y positiva, empezando en los $\pm 0.5g$ llegando hasta un máximo de $\pm 40g$, llegando a tener un ancho de banda de 400 Hz.

Este tipo de acelerómetros son usados principalmente en dispositivos portátiles, ya que son efectivos para mediciones de amplitud y frecuencias bajas.

2.2.9.3 RaspberryShake 4D

Como se mencionó anteriormente, un sismógrafo es una herramienta la cual sirve para registrar movimientos generados en la tierra. Esta herramienta, el Raspberry Shake 4D, tiene como características, detectar el movimiento de la tierra en todas direcciones, es compatible con advertencia temprana de



terremotos (EWW), es actualmente usado por institutos profesionales como el servicio geológico de Estados Unidos (USGS), Servicio Geológico de Oklahoma (OGS), entre otros, aparte de ser un dispositivo de grado profesional y/o científico personal.

En esta herramienta podemos encontrar 3 acelerómetros MEM (los cuales tienen la capacidad de medir bajas frecuencias, hasta varios cientos de Hz) y un geófono vertical, estos posicionados de forma ortogonal.

Gracias a la combinación del geófono y los acelerómetros, esta herramienta es capaz de detectar movimientos de una manera más precisa en todos los ejes.



Figura 20. RaspberryShake 4D Fuente: (RaspberryShake)

2.2.10 XLSTAT

Según Addinsoft (2022), el equipo detrás de XLSTAT, dicen que es una herramienta la cual sirve para el análisis estadístico el cual es un complemento del software Microsoft Excel, en el cual se pueden visualizar datos, generar informes, etc. Esta herramienta tiene varios métodos estadísticos generales como técnicas multivariadas, modelado, pruebas estadísticas, modelado, etc.



2.2.10.1 Matriz de correlación

“Esta es una tabla la cual indica los coeficientes de relacion entre los factores estudiados, no presenta unidades” Addinsoft (2022) .

2.2.10.2 Estadísticos de multicolinealidad

“La multicolinealidad consiste en la presencia de relaciones lineales entre variables independientes (dos o mas)” Addinsoft (2022).

2.2.10.3 Estadísticos de bondad

“Este es un modelo estadístico el cual explica que tan bien se ajusta un conjunto de factores estudiados. Estas resumen la diferencia entre los valores esperados y los valores observados” Addinsoft (2022).

2.2.10.3.1 R-Cuadrado

“Esta medida estadística nos muestra lo cerca que están los datos de la regresión lineal ajustada. Este valor siempre está entre 0 y 100%, cuanto mayor es el R-cuadrado mejor se ajusta el modelo a los datos” Addinsoft (2022).

2.2.10.4 Análisis de covarianza

“Más conocido como ANCOVA, combina en análisis de varianza (ANOVA) y el análisis de regresión. Esta es una técnica estadística la cual es más completa que el ANOVA que se usa para reducir le error experimental y aplicar una regresión lineal a los resultados obtenidos” Addinsoft (2022).

2.2.10.5 Coeficiente estandarizado

“Son estimaciones resultantes de un análisis de regresión, donde se estandarizan los datos para que la varianza de las variables se aproxime a 1, es por eso que los coeficientes estandarizados no cuentan con unidades” Addinsoft (2022).

2.2.10.6 Factor de inflación de varianza

“El factor de inflación de varianza (VIF) mide la cantidad de multicolinealidad entre todo el conjunto de variables, esto se hace para saber qué tan dependiente o independiente son las variables, con otras. Un valor VIF alto indica que la variable tiene una alta relación con las demás variables” Addinsoft (2022).



2.3. Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

Los andenes de Mask'abamba ubicados en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu si son afectados de forma negativa por las microtrepidaciones producidas por el paso del tren.

2.3.2 Sub Hipótesis

- La magnitud del parámetro de velocidad en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 13.2 mm/s (1.32 cm/s), teniendo en referencia el antecedente internacional N°1.
- La magnitud del parámetro de aceleración en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 293 mg (0.293 cm/s²), teniendo en referencia el antecedente internacional N°1.
- La magnitud del parámetro de desplazamiento en la zona influencia por el paso del tren aledaña a la vía férrea ubicada en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 0.1 mm (0.01 cm), teniendo en referencia el antecedente internacional N°1.
- El parámetro de velocidad en los andenes de Mask'abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación se redujo en una proporción del 47% con respecto al valor inicial, logrando un resultado de 6.204 mm/s (0.62 cm/s), teniendo en referencia el antecedente internacional N°3.
- El parámetro de aceleración en los andenes de Mask'abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación se redujo en una proporción del 47% con respecto al valor inicial, logrando un resultado de 137.71 mg (0.137 cm/s²), teniendo en referencia el antecedente internacional N°3.
- El parámetro de desplazamiento en los andenes de Mask'abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la



presente investigación tiene un valor por debajo de 10 mm (1 cm), teniendo en referencia el antecedente internacional N°2.

2.4. Variable

2.4.1. Identificación de variable

2.4.1.1. Variable Cuantitativa continua

- Microtrepidaciones

Como se mencionó anteriormente, las microtrepidaciones son objeto de estudio desde hace más de un siglo, estas vibraciones son interpretadas como señales (gracias a los sismógrafos) los cuales generan una gráfica.

Estas funciones nos muestran el valor numérico de estas señales, logrando así interactuar con las frecuencias generadas, por separado, que serán las frecuencias con perturbación, en la andenería y en la zona influenciada por el paso del tren y las frecuencias sin perturbaciones en la andenería y en la zona influenciada por el paso del tren



2.6. Cuadro de operacionalización de variables.

La presente tesis al ser de tipo descriptiva solo presenta una variable materia de estudio.

Tabla 3

Cuadro de operacionalización de variables

OPERACIONALIZACION					
TIPO	VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	NIVEL	UNIDAD
CUANTITATIVA CONTINUA	MICROTREPIDACIONES	Microtrepidaciones en la zona influenciada por el paso del tren	Velocidad	Numérica	cm/s
			Aceleración	Numérica	g
			Desplazamiento	Numérica	mm
		Microtrepidaciones en los andenes Mask'abamba	Velocidad	Numérica	cm/s
			Aceleración	Numérica	g
			Desplazamiento	Numérica	mm



III. Metodología

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

Esta investigación está enfocada en el análisis y procesamiento de datos obtenidos in-situ. La investigación será cuantitativa ya que mediremos las vibraciones causadas por el paso del tren, analizaremos la amplitud, frecuencia, velocidad, aceleración y desplazamiento de las ondas

3.1.2 Nivel de la investigación

El nivel de investigación será correlacional ya que mediremos vibraciones y analizaremos la amplitud, frecuencia, aceleración velocidad y desplazamiento en la zona aledaña a la vía férrea y en los andenes, para poder ver con que intensidad estas llegan a la andenería, dependiendo del tipo de suelo, densidad del suelo, frecuencia de onda, etc.

3.1.3 Método de la investigación

La investigación será hipotética deductiva ya que primero haremos una hipótesis sobre la intensidad de la onda entre la zona aledaña a la vía férrea y los andenes, lo cual validaremos o negaremos con los ensayos cuantitativos que se realizaran en campo con los instrumentos correspondientes.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

El diseño metodológico es no experimental, ya que las variables no serán manipuladas, y solo se observarán los fenómenos ocasionados por estos en su ambiente natural para analizarlos.



3.2.2 Diseño de ingeniería

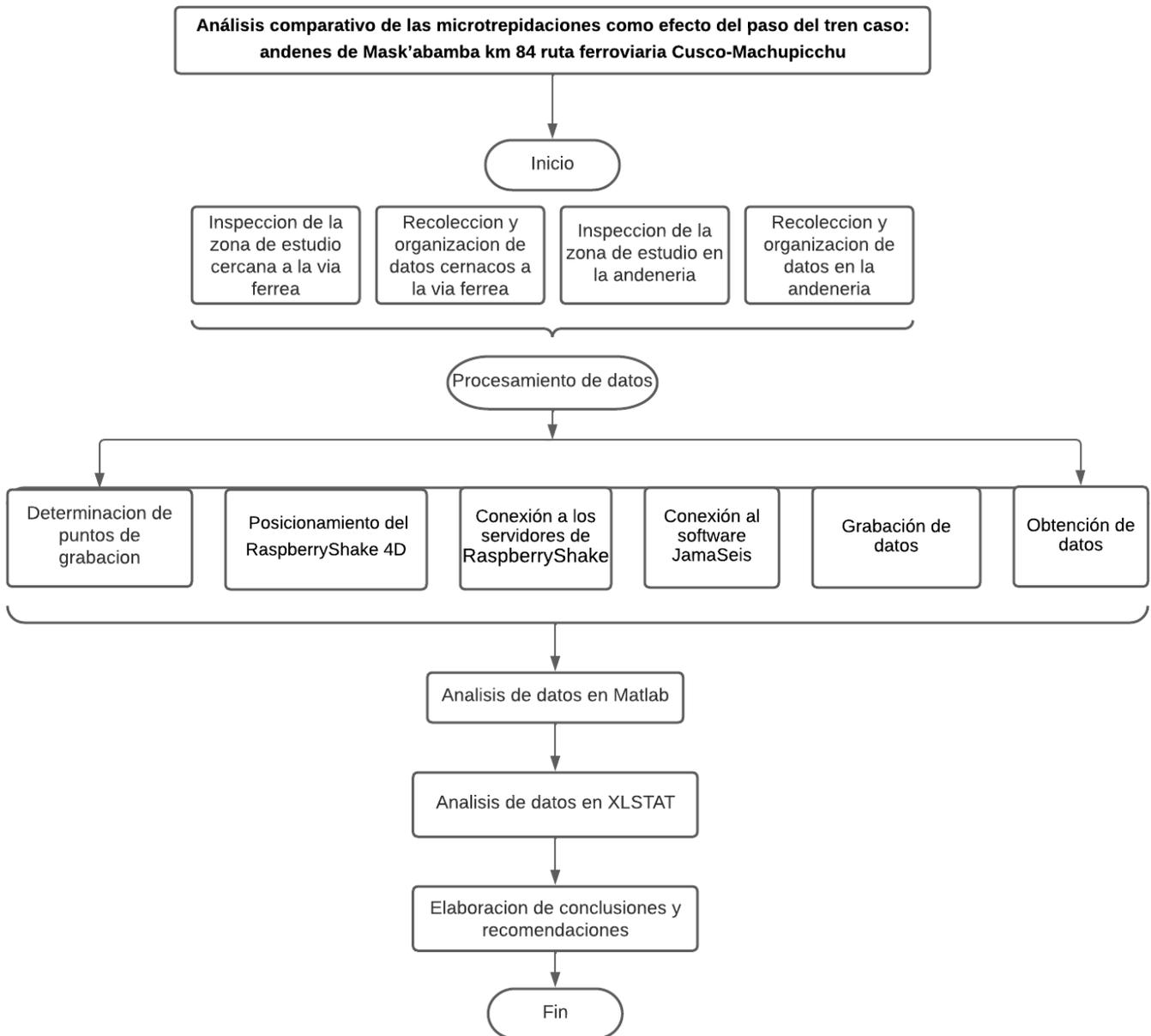


Figura 21. Diseño de ingeniería



3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

La población a estudiar se encuentra definida por el total de unidades muestrales en la investigación, los cuales son los puntos de grabación, los cuales están ubicados a 1 y 2 metros de la vía férrea, y en la andenería de Mask'abamba, siendo un total de 40 puntos de grabación.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población es finita, por lo que es cuantificable, ya que dentro de la localidad antes mencionada hay una cantidad aproximada de doce (12) a quince (15) trenes al día (causando entre 12 a 15 grabaciones por día), por lo cual se determina que el marco muestral para el presente trabajo de investigación está conformado por un total de diez (10) puntos de grabación al día.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra será equivalente en número al de la población, ya que se consideran veinte (20) puntos de estudio en la zona aledaña a la vía férrea y veinte (20) puntos de estudio en el andén, teniendo así un total de cuarenta (40) puntos de estudio para la presente investigación.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Cuarenta (40) puntos de estudio, veinte (20) cercanas a la vía férrea y veinte (20) en el andén

3.3.2.3 Método de muestreo

Debido a que todos los elementos de la población tienen la misma posibilidad de ser seleccionados, el muestreo será probabilístico, siendo más específicos, será un muestreo aleatorio simple.

3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra

- Se evaluarán veinte (20) puntos de estudio cercanos a la vía férrea, a uno y dos metros de distancia de la vía, y a un metro con sesenta centímetros de distancia entre los puntos de estudio.



- Se evaluarán veinte (20) puntos de estudio en el andén, a uno y dos metros de distancia de la vía, y a un metro con sesenta centímetros de distancia entre los puntos de estudio.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o de recolección de datos

3.4.1.1. Entrevista

La apertura de este trabajo de investigación se da con una entrevista con el ingeniero de Perú Raíl a cargo de la vía, con el propósito de informar y de solicitar los premisos necesarios para la realización de la investigación en los puntos cercanos a la vía férrea, para posteriormente realizar el proceso y análisis de datos mediante Matlab y así poder comparar las microtrepidaciones de la zona aledaña a la vía férrea y de los andenes. Además, las entrevistas también nos permitieron obtener cierta información sobre la cantidad de vagones que empuja la locomotora.

3.4.1.2. Software de recolección de datos

Dentro de todos los softwares existentes relacionados al tema, se empleó el software JamaSeis para la recolección de datos, por la facilidad y rápida sincronización con el RaspberryShake 4D.

3.4.2 Instrumentos de ingeniería

3.4.2.1. Normativas

- Guías normativas del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)
- Norma Técnica E.030 Diseño sismo resistente

3.4.2.2. Software de ingeniería

- AutoCAD
- JamaSeis
- Matlab
- Software Microsoft Excel

3.4.2.3. Equipos

- RaspberryShake 4D



- Modem TP Link
- Conversor de energía
- Batería seca recargable de 12v
- Wincha
- Computadora portátil

3.5 Procedimiento de recolección de datos

a. Equipos usados

- Teléfono celular

Sera necesario para poder compartir internet al modem y al ordenador portátil, ya que ambos necesitan conexión a internet.

- Batería recargable de 12v

Esta batería es la fuente de energía de las herramientas con las que trabajaremos.



Figura 22. Batería recargable de 12 voltios

- Inversor de energía



Esta herramienta es necesaria para el funcionamiento del RaspberryShake 4D y del modem, transformando los 12v de la batería, a 220v.



Figura 23. Inversor de Energía

- Modem TP Link

El modem es necesario para poder conectarnos a los servidores de RaspberryShake, este tendrá acceso a internet compartido desde un teléfono celular.

- RaspberryShake 4D

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo el análisis comparativo de microtrepidaciones, es por eso el uso necesario de un sismógrafo modelo RaspberryShake 4D con las siguientes características:

- El equipo tiene una medida de 135x110x50 mm, con un peso estimado de 0.35 kg con una precisión de muestro para una muestra de +/- 10 ms.



Figura 24. RaspberryShake 4D

- Ordenador portátil

Para poder grabar las señales recibidas por el RaspberryShake 4D, es necesario un ordenador portátil, instalado con el software JamaSeis.



- Software JamaSeis

Este software nos permitirá grabar, visualizar y guardar los datos enviados por el sismógrafo.



Figura 25. Software JamaSeis (iris, 2017)

- Microsoft Excel

Usaremos este software para un análisis estadístico y validación de nuestros resultados

b. Procedimiento

1. Procedimiento de determinación de ubicación de puntos de grabación

Para poder determinar la ubicación de los puntos de grabación se tuvo que hacer medición del frontis de la andenería, para así, poder dividir la distancia entre veinte (20) puntos, siendo divididos en dos grupos, los puntos de grabación ubicados a un metro de la vía férrea, y los puntos de grabación ubicados a dos metros de la vía férrea, todos estos espaciados a un metro con sesenta centímetros, debido a que se tiene un total de treinta y dos metros de frontis.



Figura 26. Andenería de Mask'abamba

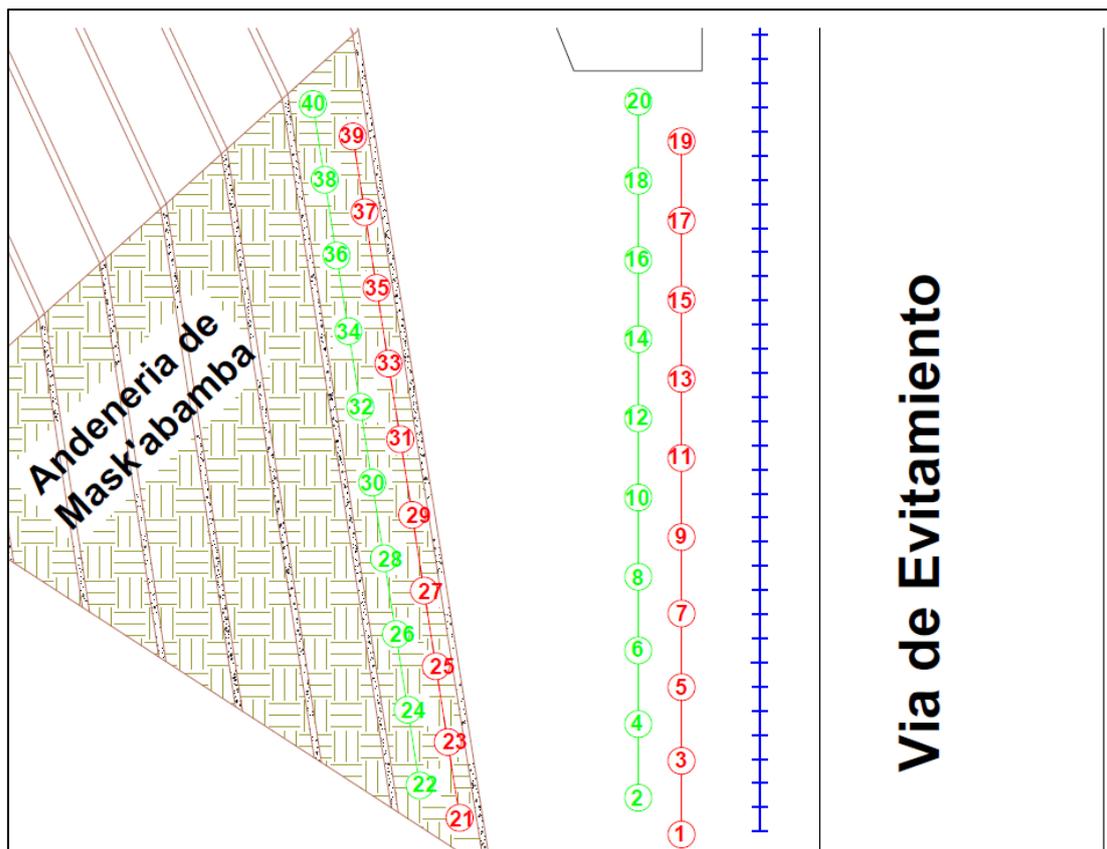


Figura 27. Ubicación de los puntos de grabación



2. Procedimiento de posicionamiento del RaspberryShake 4D

Para el posicionamiento del sismógrafo RaspberryShake 4D, es necesario tener en cuenta la ubicación del norte, ya que esta herramienta tiene que estar alineada, con ayuda de una brújula, apuntando al norte, en el sismógrafo se puede observar una flecha. También es necesario tenerla a nivel, es por eso que el sismógrafo viene incorporado con una burbuja.



Figura 28. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte



Figura 29. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte

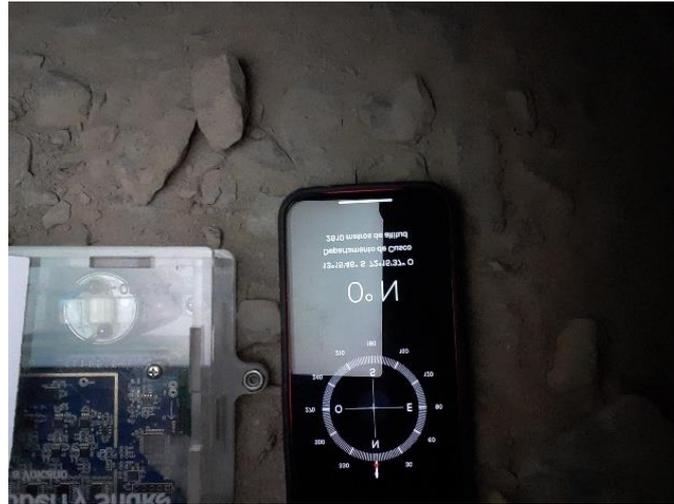


Figura 30. Posicionamiento del RaspberryShake 4D con referencia al norte

3. Procedimiento de conexión a los servidores de RaspberryShake

Para poder ingresar a los servidores de Raspberry, debemos tener en cuenta que, tanto el ordenador portátil, como el modem, deben estar conectados a la misma red, una vez hecho este paso, debemos ingresar a la dirección ip del sismógrafo mediante un navegador de internet, o escribir la dirección web <http://rs.local>, una vez dentro nos mostraran todos los datos del sismógrafo, siendo verificados las opciones de estado y conectividad, como activos.

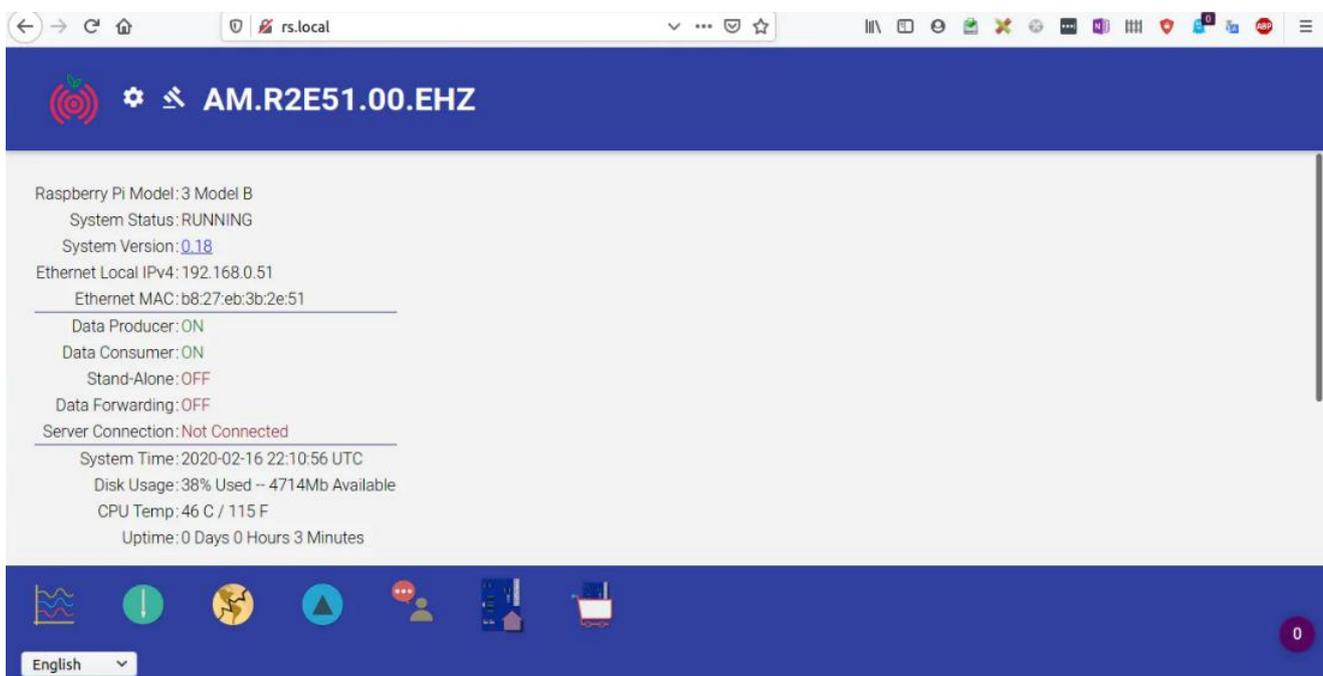


Figura 31. Conexión a los servidores de RaspberryShake

4. Procedimiento de conexión al software JamaSeis

Una vez verificado el estado y conectividad como activos, se ingresa al programa JamaSeis, en el cual debemos agregar como fuente al RaspberryShake 4D, añadiendo información como la longitud, latitud y elevación, y por último le damos un nombre.

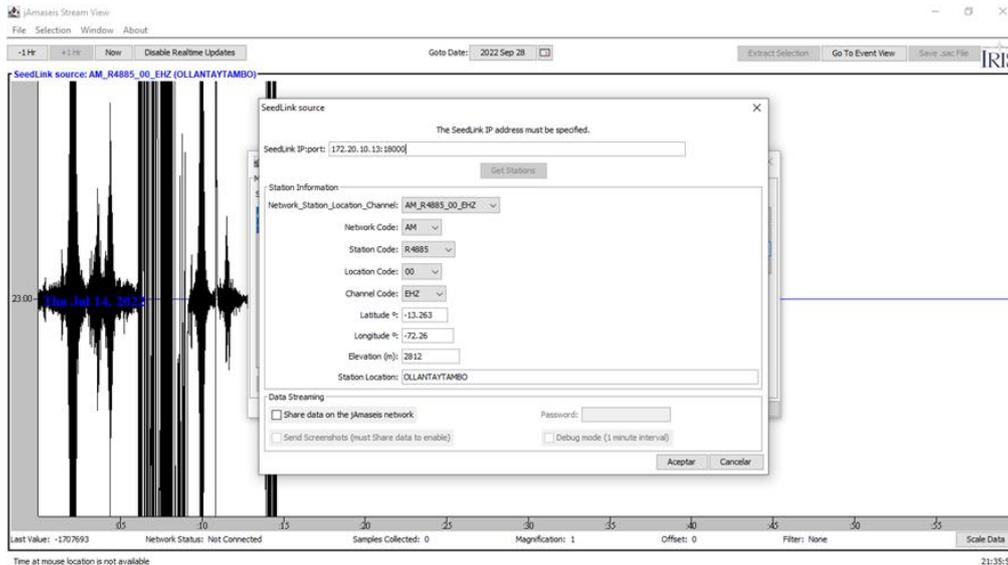


Figura 32. Interfaz de datos del software JamaSeis

5. Procedimiento de grabación de datos

Por último, una vez realizado los anteriores pasos, podemos observar como en el programa se guardarán automáticamente las vibraciones existentes en el momento, en el formato de archivo .SAC, se debe esperar, según el horario dado por Perú Rail, al paso de los trenes.



Figura 33. Toma de datos en la andenería de Mask'abamba



Figura 34. Posicionamiento del sismógrafo y grabación de las microtrepidaciones



Figura 35. Grabación de microtrepidaciones en la zona aledaña a la vía férrea



Figura 36. Grabación de microtrepidaciones en la andenería de Mask'abamba



Figura 37. Posicionamiento del sismógrafo y demás herramientas



Figura 38. Toma de datos en la andenería de Mask'abamba



Figura 39. Toma de datos en la zona aledaña a la vía férrea



6. Procedimiento de obtención y análisis de datos

Una vez grabadas las vibraciones, cada una de estas debe ser procesada en el software Matlab, para obtener los datos de cada señal en formato Excel y finalmente guardarlas como documento de texto. Para poder realizar esto es necesario el código de nombre rsac.m. Una vez realizado este proceso, se usa el archivo .txt en el código SedPro.m, el cual nos dará los resultados de velocidad, aceleración y desplazamiento de la onda.

Posteriormente, usaremos Microsoft Excel, para tener un análisis estadístico de los resultados.

```
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % EATH = rsac('EATH.R');
15 % plot(EATH(:,1),EATH(:,2))
16 %
17 % [SURL, AAK] = rsac('SURL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nreos = nargin
24     sacfile = varargin(nreos);
25
26
27
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 endian = 'big-endian';
33
34 if strcmp(endian, 'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile, 'r', 'ieee-be');
```

Figura 40. Código rsac.m



```
1  
2 %% Seismic Data Processing "SedPro"  
3 % Analysis of Colombian ground motion records  
4 % Javier Ardila & Angélica Fernández  
5 % Project advisors : Professors José Benjumes & Gustavo Chio  
6 % Universidad Industrial de Santander - School of Civil Engineering  
7  
8 close all; clc; clear;  
9 disp('----- SEISMIC DATA PROCESSING SedPro -----');  
10 set(0,'defaultAxesFontName','Humanst521 BT');  
11 set(0,'defaultTextFontName','Humanst521 BT');  
12  
13 %% Scale Factor  
14  
15 ScaleFactor=0.001; %Amplitude Scale Factor  
16 dt=0.001; %Recorded time step (s)  
17 gravity= 977; % (cm/s2)  
18  
19 %% Input Components  
20  
21 % Dialog box to select the file  
22 [file,route]=uigetfile('*.ANC','OPEN FILE');  
23 if file==0  
24 return;  
25 else  
26 % Open the file and read 3 columns of data after 20 header lines  
27 % * .ANC file of the "Servicio Geológico Colombiano", SGC  
28 fid=fopen([route file],'r');  
29 A=textscan(fid,'%f %f %f','headerlines',5);  
30 A=cell2mat(A);fclose(fid);display(A);  
31 end  
32 lectural=A;  
33 [NR,NC]=size(lectural); %NC- number of columns, NR- number of rows  
34 gmd=dt*(NR-1); %Ground record duration  
35 % The numbers 1, 2 or 3 related to each component will depend on the order in which it is found in the *.ANC
```

Figura 41. Código SedPro.m



L	M	N	O	P	Q	R	S
Obs	Max acc	Max vel	Max desp	Max hz	lugar	Dist	Coches
1	7.821182	7.245753	1.133751	15.68	Via	1	5
2	4.561952	20.199752	0.306205	8.56	Via	2	1
3	34.615994	52.747369	1.15945	26.04	Via	1	3
4	11.302021	8.550438	0.315482	27.85	Via	2	4
5	11.302022	8.589748	0.273003	37.91	Via	1	3
6	27.107831	17.023672	1.097077	30.17	Via	2	4
7	41.750992	29.857201	0.778043	39.03	Via	1	9
8	37.812101	23.998742	0.482884	36.91	Via	2	9
9	42.386998	29.791269	0.579208	27.49	Via	1	8
10	29.842568	26.089793	0.446609	33.66	Via	2	7
11	20.892901	20.758648	0.664196	32.37	Via	1	6
12	17.748812	16.241856	0.380599	27.79	Via	2	7
13	37.102163	26.039915	0.561231	32.32	Via	1	4
14	24.6825	17.728487	0.323745	36.77	Via	2	5
15	37.102163	26.053901	0.569065	32.31	Via	1	4
16	53.32649	22.738439	0.585787	40.03	Via	2	8
17	4.64805	8.742198	0.230173	22.68	Via	1	3
18	11.829069	12.436595	0.29914	38.25	Via	2	4
19	7.53489	13.485384	0.587133	26.26	Via	1	6
20	12.189878	5.142769	0.1155	35	Via	2	1
21	4.439465	9.85626	0.27328	17.1	Anden	5	9
22	4.963722	1.963918	0.028672	12.59	Anden	5.35	6
23	4.50962	3.886807	0.128282	12.45	Anden	5.7	8
24	4.46844	1.412335	0.120223	12.7	Anden	6.05	5
25	2.354733	0.822286	0.017336	8.55	Anden	6.4	1
26	6.271979	2.190245	0.005095	20.8	Anden	6.75	5
27	4.111692	1.419199	0.001911	16.94	Anden	7.1	3
28	2.336969	0.800984	0.006939	13.34	Anden	7.45	4
29	4.663998	1.949787	0.064867	12.51	Anden	7.8	5
30	3.975636	1.186368	0.033675	15.42	Anden	8.15	5
31	1.641615	0.550397	0.037151	9.85	Anden	8.5	1
32	3.416512	1.357432	0.013155	14.28	Anden	8.85	5
33	5.381894	1.859293	0.125289	16.68	Anden	9.2	6
34	5.374833	1.510045	0.028355	19.12	Anden	9.55	5
35	3.639717	2.005251	0.033457	15.64	Anden	9.9	7
36	3.58023	1.1781	0.017982	11.02	Anden	10.25	6
37	2.656525	3.251148	0.090519	8.02	Anden	10.6	8
38	3.382938	1.411114	0.283872	6.52	Anden	10.95	5
39	2.133613	0.886892	0.019781	8.1	Anden	11.3	4
40	2.541417	0.709375	0.011082	8.65	Anden	11.65	4

Figura 42. Resultados de los parámetros investigados, distancia del punto de grabación y cantidad de coches



c. Toma de datos

i. Toma de datos cercanos a la vía férrea

1. Ubicación geográfica de los puntos de grabación

Se consideró la siguiente ubicación para todos los puntos de grabación cercanos a la vía férrea.

Departamento: Cusco

Provincia: Urubamba

Distrito: Ollantaytambo

2. Características de la zona cercana a la vía férrea

Con la ayuda del documento Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051, el cual es un estudio sobre el mapa de peligros de la ciudad de Ollantaytambo, en el cual se hicieron calicatas para el estudio del suelo, se tiene la calicata C-06, ubicado en Mask'abamba, el cual nos indica la presencia de Grava mal graduada con arena (GP), de densidad suelta a muy suelta en la zona cercana a la vía férrea.

3. Total de puntos de grabación cercanos a la vía férrea

Se tiene en cuenta que el frontis de la andenería es de treinta y dos (32) metros de largo, la distancia de punto a punto fue de 1.60 metros, estando los puntos: 1,3,5,7...17,19 a un metro de la vía férrea y los puntos: 2,4,6, 8...18,20 a dos metros de la vía férrea.

ii. Toma de datos en los andenes de Mask'abamba

1. Ubicación geográfica de los puntos de grabación

Se consideró la siguiente ubicación para todos los puntos de grabación en los andenes de Mask'abamba.

Departamento: Cusco

Provincia: Urubamba

Distrito: Ollantaytambo



2. Características de la andenería de Mask'abamba

Con la ayuda del documento Proyecto INDECI – PNUD PER/02/051, el cual es un estudio sobre el mapa de peligros de la ciudad de Ollantaytambo, en el cual se hicieron calicatas para el estudio del suelo, se tiene la calicata C-06, ubicado en Mask'abamba, el cual nos indica la presencia de Grava mal graduada con arena (GP), de densidad suelta a muy suelta en la andenería de Mask'abamba, si bien estos datos son del suelo ubicado a tres metros de profundidad, se tuvo en cuenta que los puntos de grabación en la andenería fueron en el suelo orgánico de los andenes.

3. Total de puntos de grabación en la andenería de Mask'abamba

Se tiene en cuenta que el frontis de la andenería es de treinta y dos (32) metros de largo, la distancia de punto a punto fue de 1.60 metros, estando los puntos: 1,3,5,7...17,19 a un metro del primer piso de la andenería, y los puntos: 2,4,6, 8...18,20 a dos metros del primer piso de la andenería.

3.6 Procedimiento de obtención y análisis de datos

3.6.1 Obtención de datos mediante Matlab

Para obtener los datos, debemos ingresar el archivo .SAC en el código rsac.m y ejecutarlo, este nos mostrara cuantos datos se grabaron dentro de la matriz generada, ingresamos a la matriz para observar los datos, y los copiamos a un archivo en el software Microsoft Excel, por último, guardamos estos datos en formato .txt para posteriormente para poder ejecutar este archivo en el código SedPro.m, se tiene que hacer esto con cada una de las muestras.

- En la ventana de comando escribiremos una serie de comandos para que se ejecute el código, este comando está dividido en dos partes, en la primera parte escribiremos el nombre de salida del archivo, y en la segunda parte, escribimos el nombre del archivo que se va a seleccionar. Para el primer archivo será: `obs01 = rsac('01.sac')`; para el segundo archivo será: `obs02 = rsac('02.sac')`, así hasta llegar al archivo cuarenta (40): `obs40 = rsac('40.sac')`, revisar anexos.



- Una vez terminado esto, en la parte derecha del software Matlab, el Workspace, aparecen las observaciones en forma de matrices, dentro de estas están tres vectores, los cuales son tiempo, amplitud y encabezado, de estos tres, necesitamos los datos de la amplitud, el cual nos muestra en una ventana en formato de hoja de cálculo, estos datos se copian a un archivo en Microsoft Excel, y se guarda en formato .txt, se tiene que hacer esto con cada una de las muestras.

3.6.2 Análisis de datos mediante Matlab

Una vez obtenido los datos en formato .txt usamos el código SedPro.m y seleccionamos el archivo que queremos analizar, al tener automatizadas todas las operaciones dentro del código, esta nos mandara los resultados unos minutos después, teniendo así la aceleración, velocidad y desplazamiento de la onda, se tiene que hacer esto con cada una de las muestras, revisar anexos.



IV. Resultados

4.1 Resultados del análisis en el código SedPro.m

Tabla 4

Obs	Max Acc (cm/s ²)	Max Vel (cm/s)	Max Desp (cm)	Max Hz	Lugar	Dist	Coches
1	7.821182	7.245753	1.133751	15.68	Vía	1	5
2	4.561952	20.199752	0.306205	8.56	Vía	2	1
3	34.615994	52.747369	1.15945	26.04	Vía	1	3
4	11.302021	8.550438	0.315482	27.85	Vía	2	4
5	11.302022	8.589748	0.273003	37.91	Vía	1	3
6	27.107831	17.023672	1.097077	30.17	Vía	2	4
7	41.750992	29.857201	0.778043	39.03	Vía	1	9
8	37.812101	23.998742	0.482884	36.91	Vía	2	9
9	42.386998	29.791269	0.579208	27.49	Vía	1	8
10	29.842568	26.089793	0.446609	33.66	Vía	2	7
11	20.892901	20.758648	0.664196	32.37	Vía	1	6
12	17.748812	16.241856	0.380599	27.79	Vía	2	7
13	37.102163	26.039915	0.561231	32.32	Vía	1	4
14	24.6825	17.728487	0.323745	36.77	Vía	2	5
15	37.102163	26.053901	0.569065	32.31	Vía	1	4
16	53.32649	22.738439	0.585787	40.03	Vía	2	8
17	4.64805	8.742198	0.230173	22.68	Vía	1	3
18	11.829069	12.436595	0.29914	38.25	Vía	2	4
19	7.53489	13.485384	0.587133	26.26	Vía	1	6
20	12.189878	5.142769	0.1155	35	Vía	2	1
21	4.439465	9.85626	0.27328	17.1	Anden	5	9
22	4.963722	1.963918	0.028672	12.59	Anden	5.35	6
23	4.50962	3.886807	0.128282	12.45	Anden	5.7	8
24	4.46844	1.412335	0.120223	12.7	Anden	6.05	5
25	2.354733	0.822286	0.017336	8.55	Anden	6.4	1
26	6.271979	2.190245	0.005095	20.8	Anden	6.75	5
27	4.111692	1.419199	0.001911	16.94	Anden	7.1	3
28	2.336969	0.800984	0.006939	13.34	Anden	7.45	4
29	4.663998	1.949787	0.064867	12.51	Anden	7.8	5
30	3.975636	1.186368	0.033675	15.42	Anden	8.15	5
31	1.641615	0.550397	0.037151	9.85	Anden	8.5	1
32	3.416512	1.357432	0.013155	14.28	Anden	8.85	5
33	5.381894	1.859293	0.125289	16.68	Anden	9.2	6
34	5.374833	1.510045	0.028355	19.12	Anden	9.55	5
35	3.639717	2.005251	0.033457	15.64	Anden	9.9	7
36	3.58023	1.1781	0.017982	11.02	Anden	10.25	6
37	2.656525	3.251148	0.090519	8.02	Anden	10.6	8
38	3.382938	1.411114	0.283872	6.52	Anden	10.95	5
39	2.133613	0.886892	0.019781	8.1	Anden	11.3	4
40	2.541417	0.709375	0.011082	8.65	Anden	11.65	4

Resultados de los análisis en el código SedPro.m



La frecuencia de excitación del tren se verá reflejada en los datos grabados por el sismógrafo. El uso de la transformada de Fourier nos muestra la frecuencia en cada una de las 40 grabaciones (tabla 4), gráficamente, estos valores también se pueden ver en el anexo. Es importante mencionar que se tomaron en cuenta los puntos de grabación que se encuentran a 1 metro de distancia de la vía férrea, ya que son los más cercanos a la fuente de excitación, para tener un rango y un promedio de frecuencias. Así mismo, cabe recalcar que estos valores cambiaran dependiendo de la velocidad a la que el tren pase, siendo estos valores detallados en la figura 43. Estos resultados son de importante implicancia ya que se sugiere tener en cuenta estas frecuencias al evaluar la vulnerabilidad de las estructuras cercanas a las vibraciones producidas por el paso del tren. Estos valores se encuentran entre un rango de 15 Hz a 40 Hz, teniendo un promedio de 28 Hz.

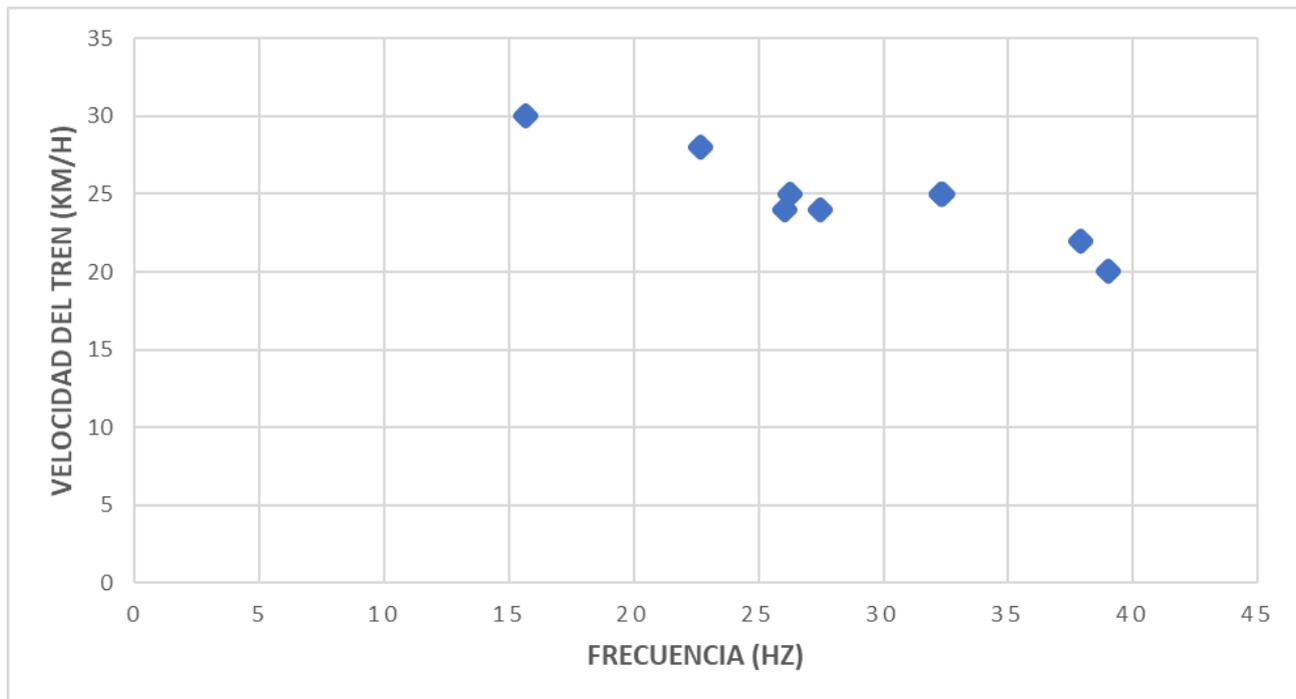


Figura 43. Rango de frecuencias de excitación del tren



Tabla 5

Máximos obtenidos

	Máximo	Ubicación	Máximo	Ubicación
Aceleración	53.32 cm / s²	Vía	6.27 cm / s²	Anden
Velocidad	52.74 cm / s	Vía	9.85 cm / s	Anden
Desplazamiento	1.159 cm	Vía	0.28 cm	Anden

La tabla 5 nos muestra los resultados máximos de cada parámetro estudiado obtenidos en la zona aledaña a la vía férrea y la andenería de la presente investigación

4.2 Resultados del análisis en XLSTAT

- **Matriz de correlación**

Tabla 6

Matriz de correlación

	Dist	coches	lugar-Anden	lugar-Via	Max acc	Max vel	Max desp
Dist	1	-0.035	0.000	0.000	-0.017	-0.141	-0.189
coches	-0.035	1	0.012	-0.012	0.342	0.184	0.158
lugar-Anden	0.000	0.012	1	-1.000	-0.699	-0.754	-0.743
lugar-Via	0.000	-0.012	-1.000	1	0.699	0.754	0.743
Max acc	-0.017	0.342	-0.699	0.699	1	0.846	0.678
Max vel	-0.141	0.184	-0.754	0.754	0.846	1	0.782
Max desp	-0.189	0.158	-0.743	0.743	0.678	0.782	1

La tabla 6 muestra la correlación entre los parámetros estudiados y factores como distancia, cantidad de coches y lugar, demostrando el incremento o disminución en los valores según corresponda



- Estadísticos de multicolinealidad

Tabla 7

Estadísticos de multicolinealidad

	Dist	coches	lugar-Anden	lugar-Via
Tolerancia	0.999	0.999	1.000	1.000
VIF	1.001	1.001	1.000	1.000

La tabla 7 nos muestra que el valor cercano a 1 demuestra la relación lineal entre los factores independientemente

4.2.1 Variable MaxAce

Tabla 8

Estadísticos de bondad de la aceleración

Estadísticos de bondad del ajuste (MaxAce):	
Observaciones	40
R²	0.611
R² ajustado	0.579

En la tabla 8 se tiene un R² mayor al 50% el cual demuestra una confiabilidad en los valores obtenidos para la aceleración.



Tabla 9

Análisis de varianza de la aceleración

Fuente	GL	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	4994.697	1664.899	18.868	<0.0001
Error	36	3176.550	88.237		
Total	39	8171.247			

corregido

En la tabla 9 el análisis de varianza nos muestra un modelo <0.0001, el cual demuestra un modelo adecuado para la aceleración.

Tabla 10

Coefficientes estandarizados de la aceleración

Fuente	Valor	Error estándar	T	Pr > t 	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Dist	-0.005	0.104	-0.052	0.959	-0.216	0.206
coches	0.350	0.104	3.361	0.002	0.139	0.560
lugar-Anden	-0.703	0.104	-6.765	<0.0001	-0.914	-0.492
lugar-Via	0.000	0.000				

Estos coeficientes mostrados en la tabla 10, demuestran la relación mencionada anteriormente en la matriz de correlación, donde los valores tenderán a disminuir o a incrementar, dependiendo de la distancia, cantidad de coches, y la ubicación del objeto de estudio.

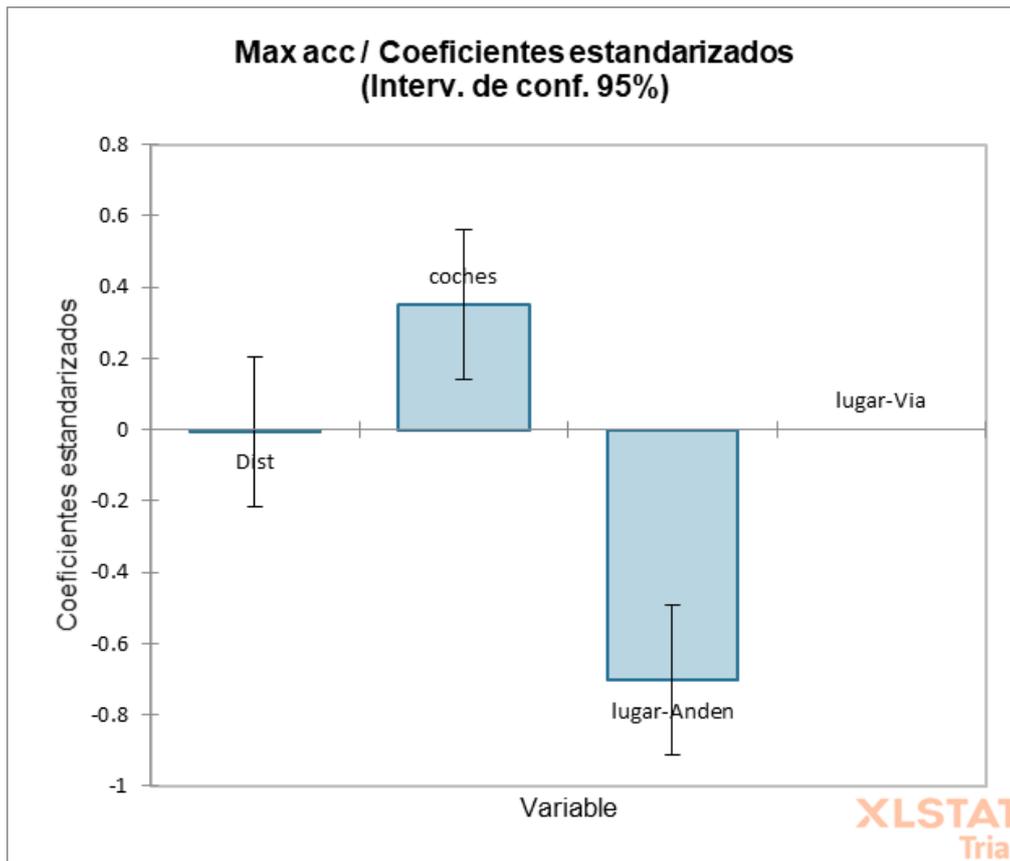


Figura 44. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados de la aceleración

- Medias

Tabla 11

Valores medios de la aceleración

Categoría	Media LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Anden	3.73 cm/s^2	2.101	-0.526	7.995
Vía	23.83 cm/s^2	2.101	19.575	28.096

Se puede observar en la tabla 11 un promedio de los valores encontrados de la aceleración en la andenería y en la zona aledaña a la vía férrea.

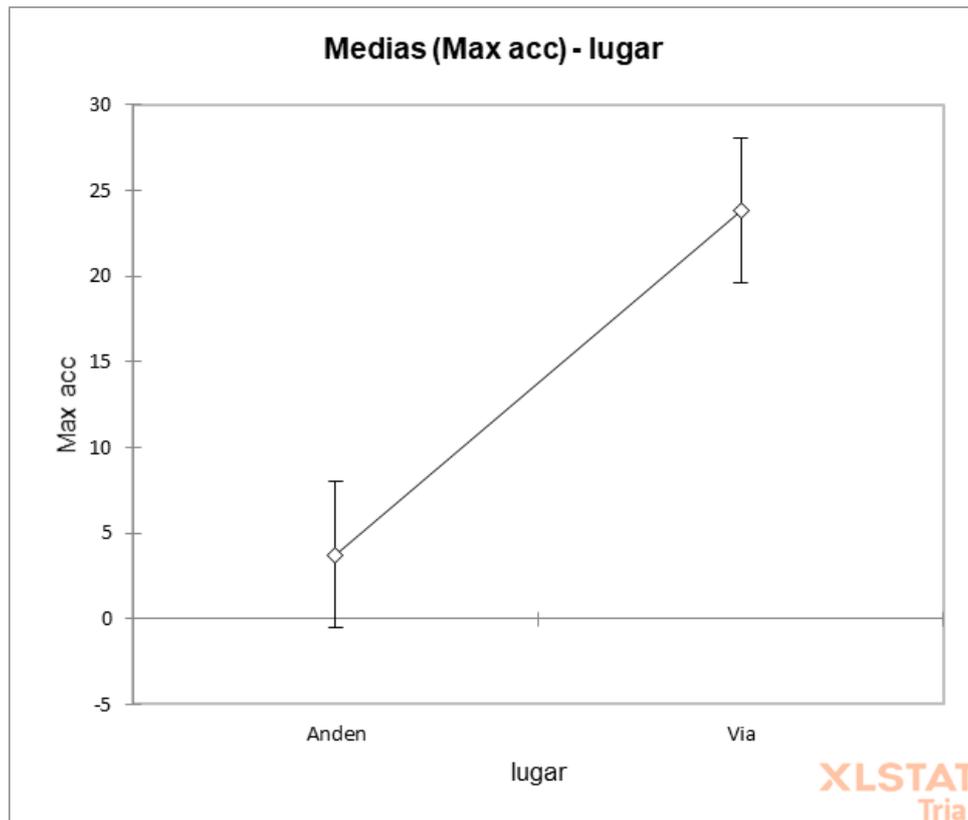


Figura 45. Gráfico comparativo de los valores medios de la aceleración

Se tiene la aceleración con una media de $3.735 \text{ cm} / \text{s}^2$ en la andenería de Mask'abamba, por otra parte, en la zona aledaña a la vía férrea se tiene una aceleración con una media de $23.836 \text{ cm} / \text{s}^2$.

La aceleración media en el andén se reduce 6.38 veces (84.33%), en comparación a la zona aledaña a la vía férrea.

Siendo la cantidad de coches y la ubicación, las fuentes directas que afectaran a estos valores.

Según el mapa de aceleraciones del Perú, se espera, para un terremoto de seis grados, una aceleración máxima de 0.16 veces la gravedad.

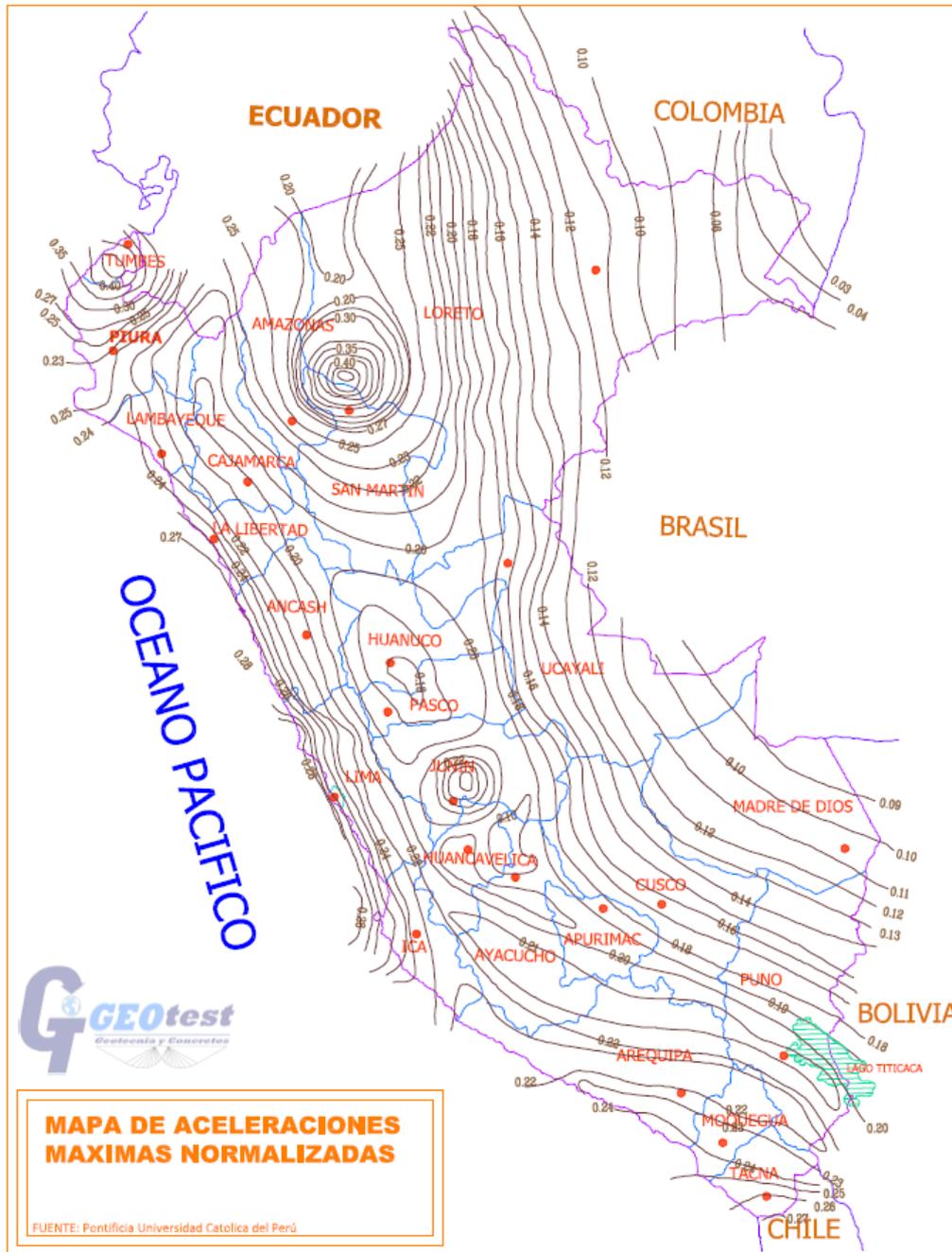


Figura 46. Mapa de aceleraciones máximas normalizadas (PUCP)

Usando un valor de gravedad de $977 \text{ cm} / \text{s}^2$, este nos da un resultado de $156.32 \text{ cm} / \text{s}^2$ como valor máximo de aceleración, en un sismo de seis grados.

Teniendo esta referencia en cuenta, y usando el mismo criterio, en la andenería tendríamos una aceleración “normalizada” de 0.0038 veces la gravedad.

Esto quiere decir que la aceleración encontrada en el andén representa el 0.38 % de un sismo de seis grados.



Por último, se tienen valores establecidos en la norma E.030 en cuanto la aceleración, son cinco perfiles de suelo, perfil S₀: Roca dura, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte mayor a los 1500 m/s. Perfil S₁: Roca o suelos muy rígidos, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte entre los 1500 m/s y los 500 m/s. Perfil S₂: Suelos intermedios, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte entre los 500 m/s y 180 m/s. Perfil S₃: Suelos blandos, el cual tiene una velocidad de propagación de ondas de corte menor o igual a 180 m/s. Perfil S₄ son suelos excepcionalmente flexibles.

Según los resultados del INDECI, este suelo debería ser un suelo intermedio de Perfil S₂, debido a la presencia de grava en la misma, es por eso que se esperaba aceleraciones entre los 500 m/s y 180 m/s, sin embargo, los valores encontrados son menores a 180 m/s, entonces, el suelo en la presente investigación actúa como un suelo blando, incluso con presencia de grava.

El nivel de confiabilidad queda demostrado gracias a las tablas 8 y 9, teniendo un valor de R² superior al 50%, un modelo menor a 0.001 y teniendo un intervalo de confianza al 95%, gracias a esto, no se presentan errores superiores al 5%.

4.2.2 Variable MaxVel

Tabla 12

Estadísticos de bondad de la velocidad

Estadísticos de bondad del ajuste (MaxVel):	
Observaciones	40
R²	0.623
R² ajustado	0.591

En la tabla 12 se tiene un R² mayor al 50% el cual demuestra una confiabilidad en los valores obtenidos para la velocidad.



Tabla 13

Análisis de varianza de la velocidad

Fuente	GL	Suma de cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	3421.433	1140.478	19.807	<0.0001
Error	36	2072.870	57.580		
Total corregido	39	5494.303			

En la tabla 9 el análisis de varianza nos muestra un modelo <0.0001, el cual demuestra un modelo adecuado para la velocidad.

Tabla 14

Coefficientes estandarizados de la velocidad

Fuente	Valor	Error estándar	t	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Dist	-0.134	0.102	-1.310	0.199	-0.342	0.074
Coches	0.188	0.102	1.831	0.075	-0.020	0.395
lugar-Anden	-0.756	0.102	-7.381	<0.0001	-0.963	-0.548
lugar-Vía	0.000	0.000				

Estos coeficientes mostrados en la tabla 14 demuestran la relación mencionada anteriormente en la matriz de correlación, donde los valores tenderán a disminuir o a incrementar, dependiendo de la distancia, cantidad de coches, y la ubicación del objeto de estudio.

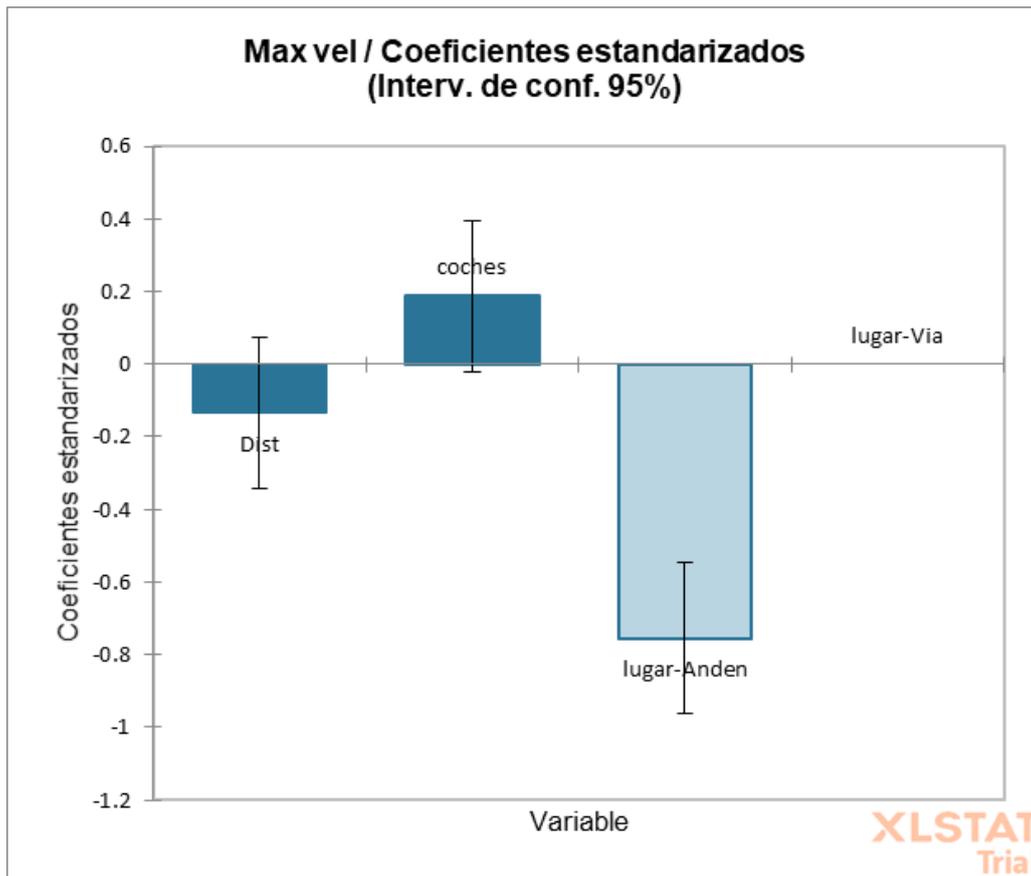


Figura 47. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados de la velocidad

- Medias

Tabla 15

Valores medios de la velocidad

Categoría	Media LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Anden	1.98 cm/s	1.697	-1.456	5.426
Vía	19.69 cm/s	1.697	16.257	23.140

Se puede observar en la tabla 15 un promedio de los valores encontrados de la velocidad en la andenería y en la zona aledaña a la vía férrea.

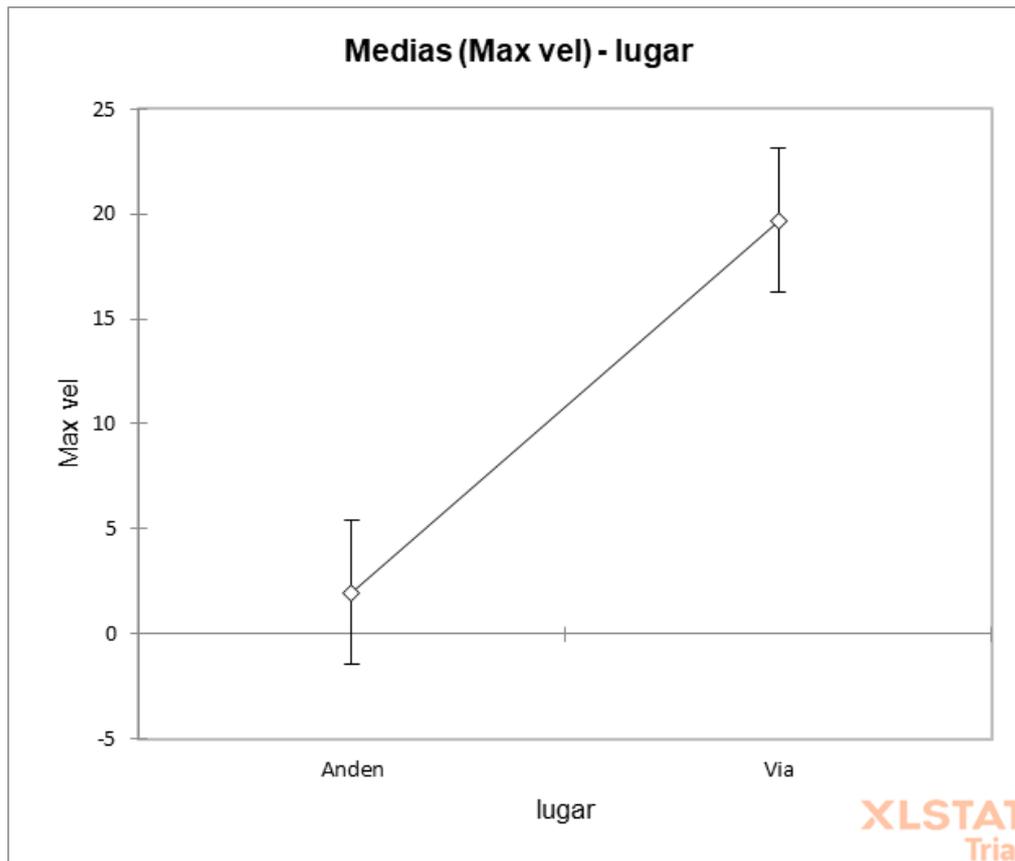


Figura 48. Gráfico comparativo de los valores medios de la velocidad

Se tiene la velocidad con una media de 1.985 cm/s en la andenería de Mask'abamba, por otra parte, en la zona aledaña a la vía férrea se tiene una aceleración con una media de 19.698 cm/s.

La velocidad media en el andén se reduce 9.73 veces (89.92%), en comparación a la zona aledaña a la vía férrea.

Siendo la cantidad de coches y la ubicación, las fuentes directas que afectaran a estos valores

El nivel de confiabilidad queda demostrado gracias a las tablas 13 y 14, teniendo un valor de R^2 superior al 50%, un modelo menor a 0.001 y teniendo un intervalo de confianza al 95%, gracias a esto, no se presentan errores superiores al 5%.



4.2.3 Variable MaxDesp

Tabla 16

Estadísticos de bondad del desplazamiento

Estadísticos de bondad del ajuste (MaxDesp):	
Observaciones	40
R²	0.613
R² ajustado	0.581

En la tabla 16 se tiene un R² mayor al 50% el cual demuestra una confiabilidad en los valores obtenidos para el desplazamiento.

Tabla 17

Análisis de varianza del desplazamiento

Fuente	GL	Suma de Cuadrados cuadrados	de Cuadrados medios	F	Pr > F
Modelo	3	2.531	0.844	19.000	<0.0001
Error	36	1.599	0.044		
Total corregido	39	4.130			

En la tabla 9 el análisis de varianza nos muestra un modelo <0.0001, el cual demuestra un modelo adecuado para el desplazamiento.



Tabla 18

Coefficientes estandarizados del desplazamiento

Fuente	Valor	Error estándar	T	Pr > t	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Dist	-0.183	0.104	-1.765	0.086	-0.394	0.027
coches	0.160	0.104	1.541	0.132	-0.051	0.370
lugar-Anden	-0.745	0.104	-7.181	<0.0001	-0.955	-0.534
lugar-Via	0.000	0.000				

Estos coeficientes mostrados en la tabla 18 demuestran la relación mencionada anteriormente en la matriz de correlación, donde los valores tenderán a disminuir o a incrementar, dependiendo de la distancia, cantidad de coches, y la ubicación del objeto de estudio.

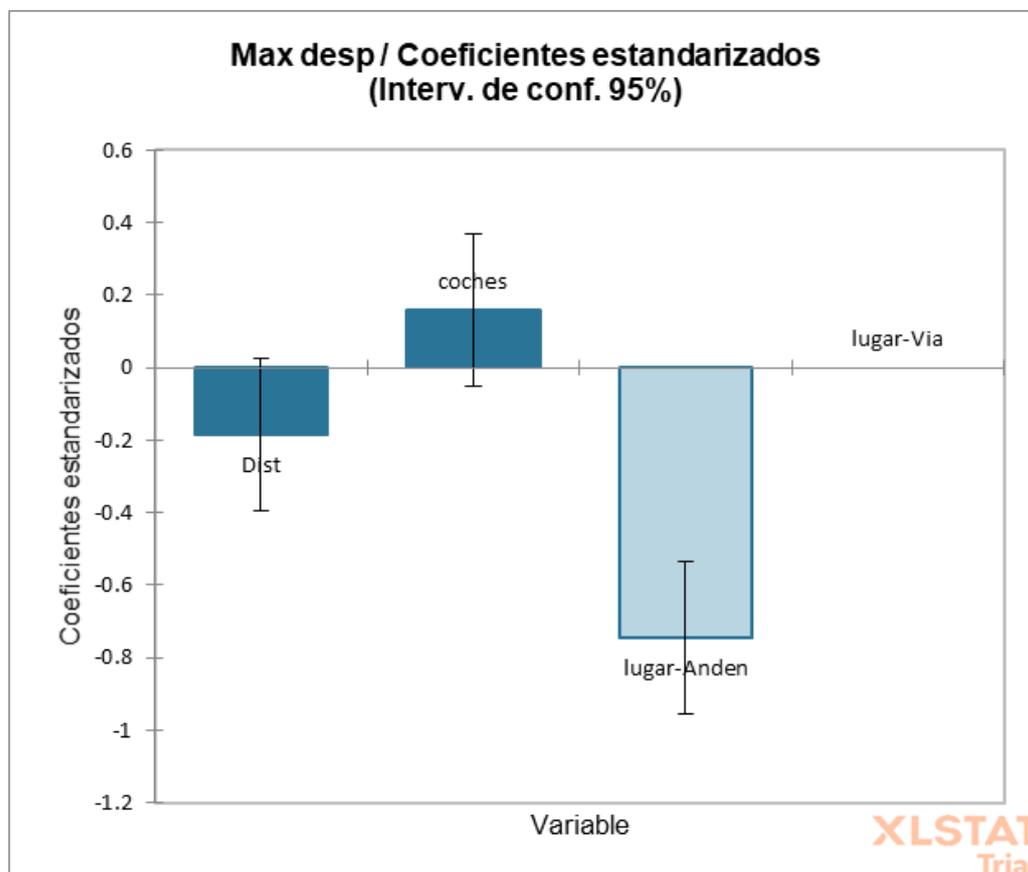


Figura 49. Gráfico estadístico de los coeficientes estandarizados del desplazamiento



- Medias

Tabla 19

Valores medios del desplazamiento

Categoría	Media LS	Error estándar	Límite inferior (95%)	Límite superior (95%)
Anden	0.066 cm	0.047	-0.029	0.162
Vía	0.545 cm	0.047	0.449	0.641

Se puede observar en la tabla 19 un promedio de los valores encontrados del desplazamiento en la andenería y en la zona aledaña a la vía férrea.

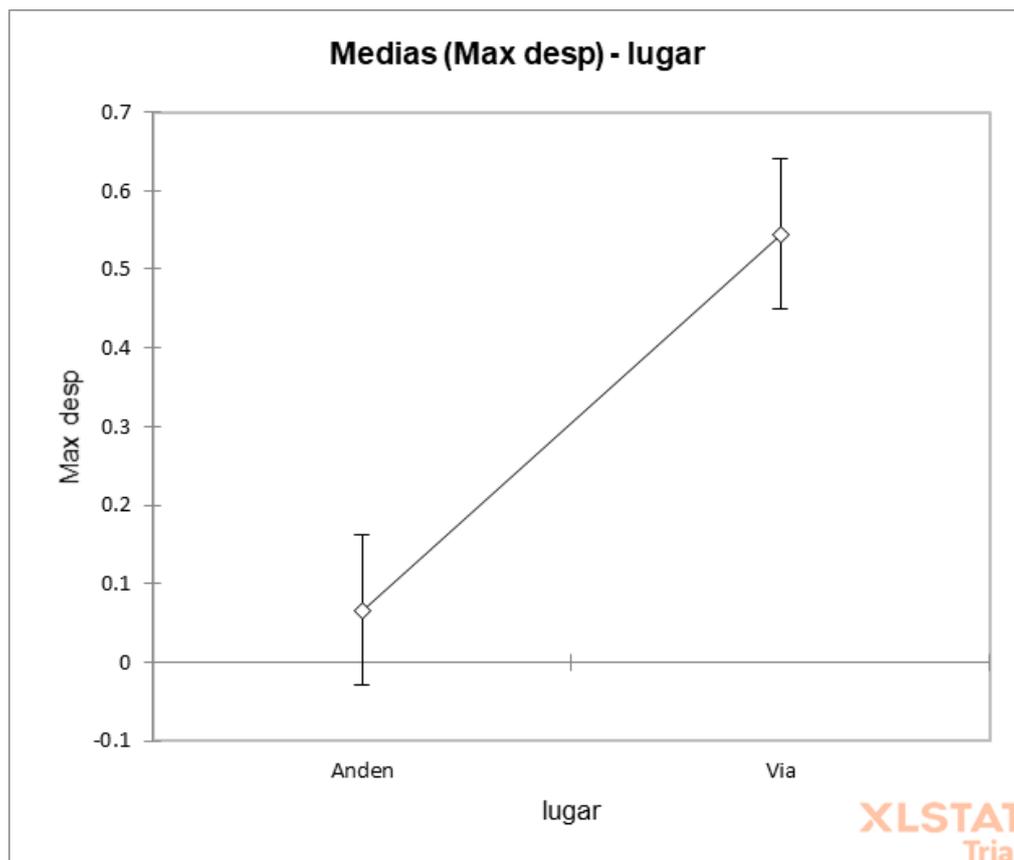


Figura 50. Gráfico comparativo de los valores medios del desplazamiento



Se tiene el desplazamiento con una media de 0.066 cm en la andenería de Mask'abamba, por otra parte, en la zona aledaña a la vía férrea se tiene el desplazamiento con una media de 0.545 cm.

La media del desplazamiento en el andén se reduce 8.25 veces (87.89%), en comparación a la zona aledaña a la vía férrea.

Siendo la cantidad de coches y la ubicación, las fuentes directas que afectaran a estos valores

El nivel de confiabilidad queda demostrado gracias a las tablas 17 y 18, teniendo un valor de R^2 superior al 50%, un modelo menor a 0.001 y teniendo un intervalo de confianza al 95%, gracias a esto, no se presentan errores superiores al 5%.

4.3 Comparación de microtrepidaciones

En las imágenes que se muestran a continuación, se podrán apreciar cómo estas ondas se atenúan debido a la distancia en la que se encuentran del origen, pudiendo observar como la amplitud de la aceleración de onda cada vez alcanza valores más bajos a medida que el sismógrafo se aleja, tendremos en cuenta la figura 23, la cual nos muestra la ubicación de los puntos de grabación.



1. Ondas registradas en los puntos de grabación 1 – 21

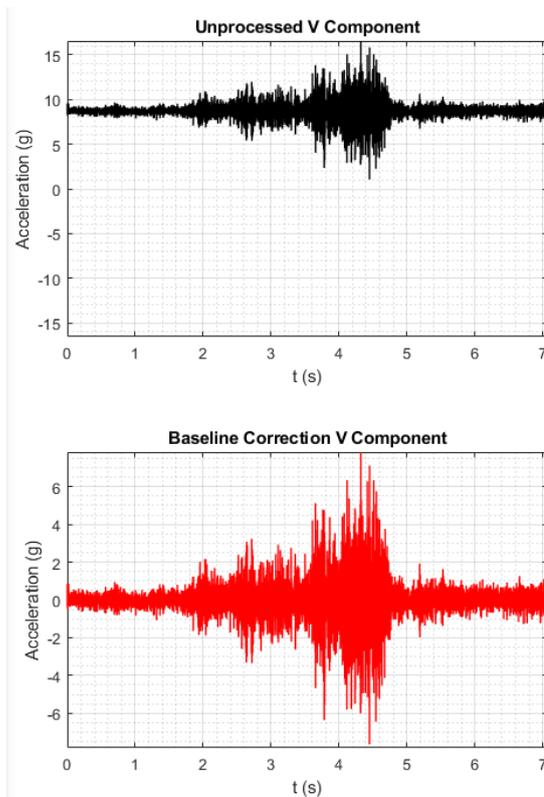


Figura 51. Aceleración Punto 1

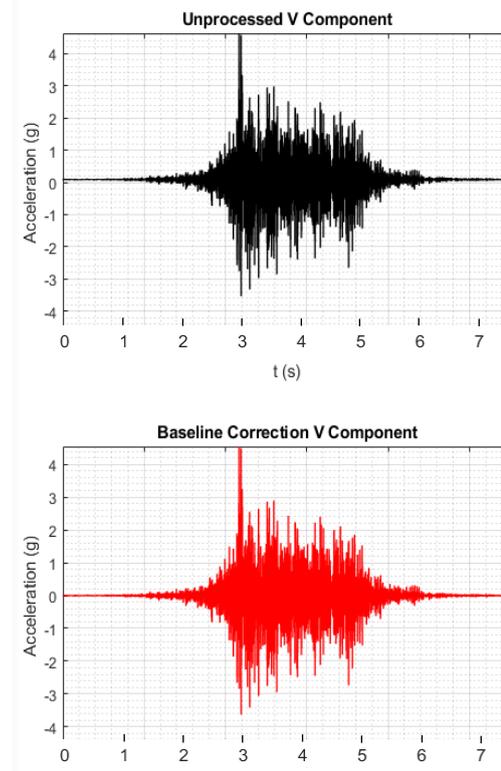


Figura 52. Aceleración Punto 21

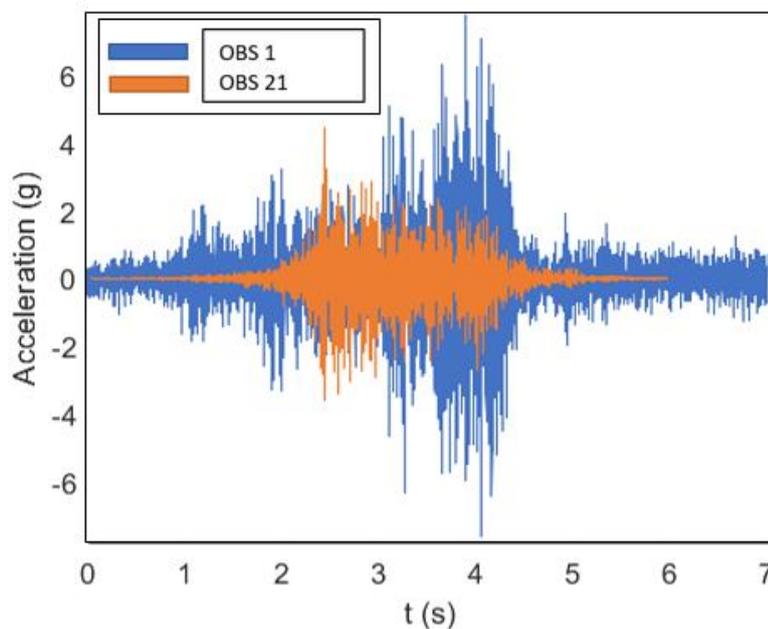


Figura 53. Superposición de ondas 1 - 21

El sismógrafo nos muestra en el punto 1 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 6.90 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a



comparación del punto 21, donde se registra una amplitud máxima de 4.10 cm/s^2 estando a 5 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

2. Ondas registradas en los puntos de grabación 2 – 22

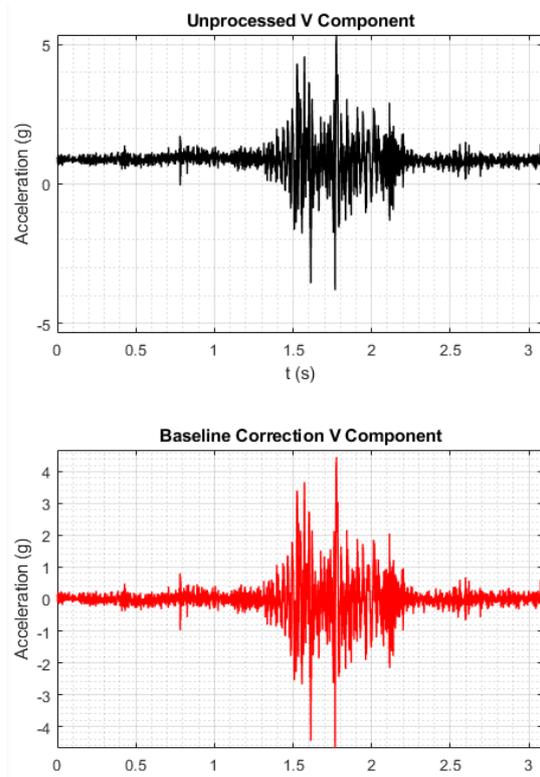


Figura 54. Aceleración Punto 2

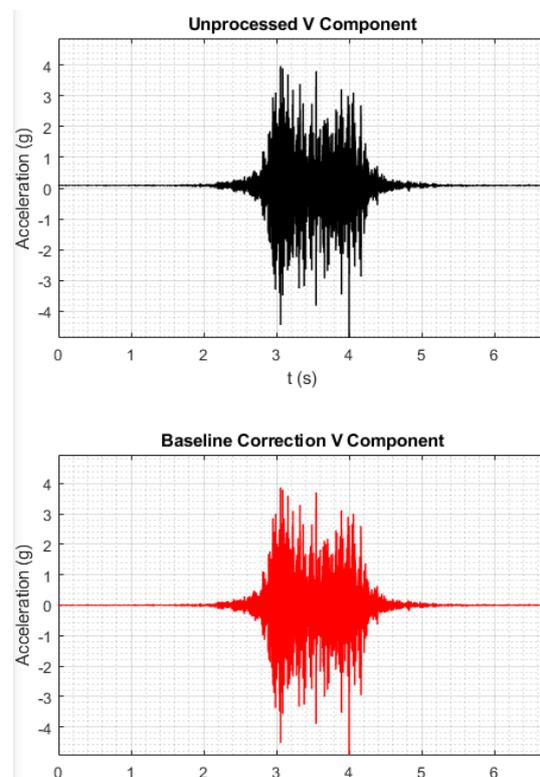


Figura 55. Aceleración Punto 22

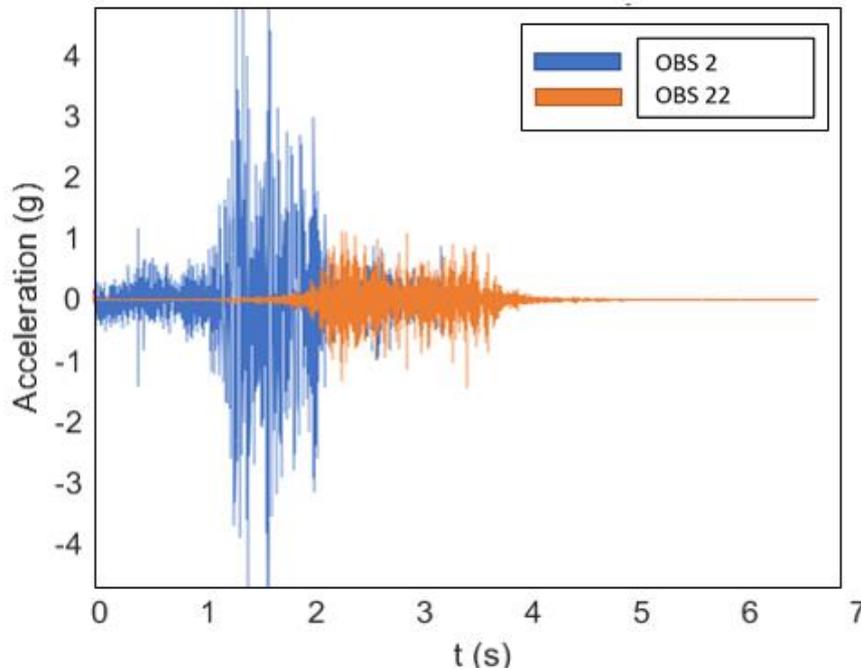


Figura 56. Superposición de ondas 2 - 22



El sismógrafo nos muestra en el punto 2 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 4.20 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 22, donde se registra una amplitud máxima de 3.90 cm/s^2 estando a 5.35 m de la vía férrea; siendo evidente la atenuación de la onda.

3. Ondas registradas en los puntos de grabación 3 – 23

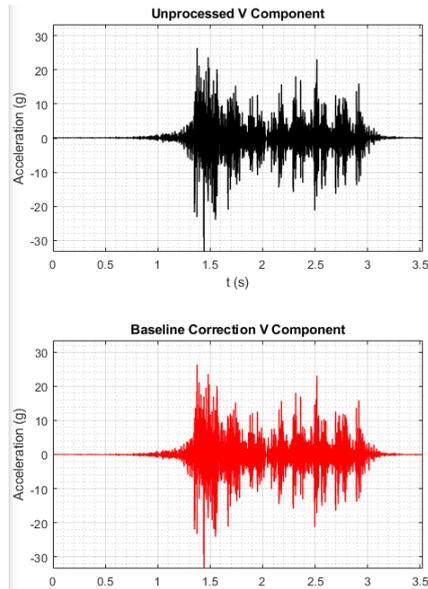


Figura 57. Aceleración Punto 3

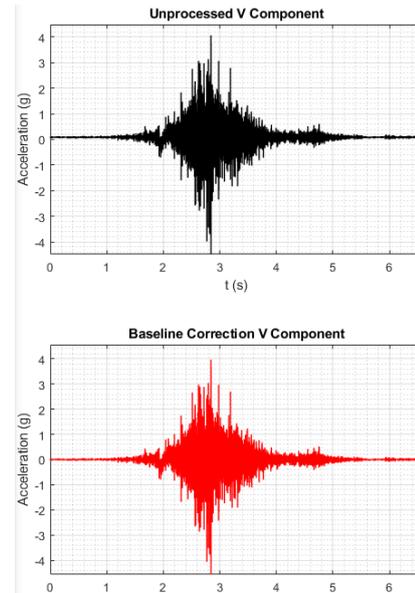


Figura 58. Aceleración Punto 23

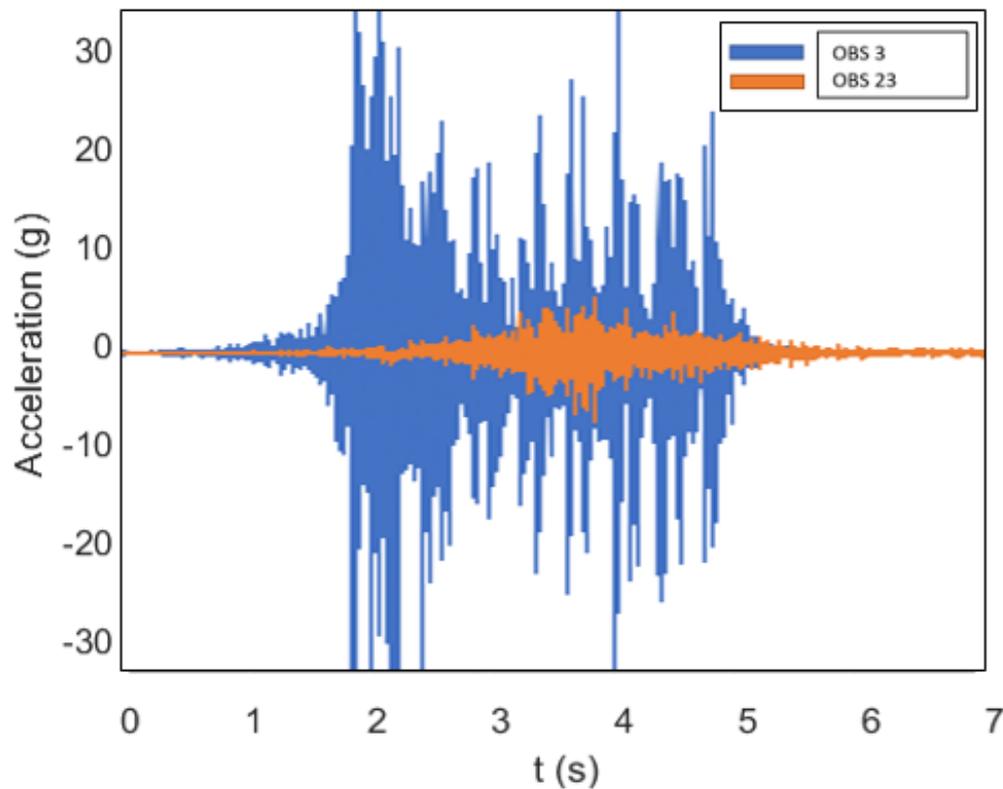


Figura 59. Superposición de ondas 3 - 23



El sismógrafo nos muestra en el punto 3 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 26.50 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 23, donde se registra una amplitud máxima de 4 cm/s^2 estando a 5.70 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

4. Ondas registradas en los puntos de grabación 4 – 24

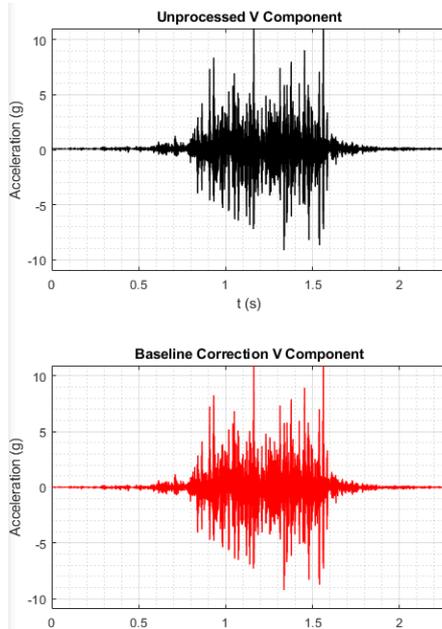


Figura 60. Aceleración Punto 4

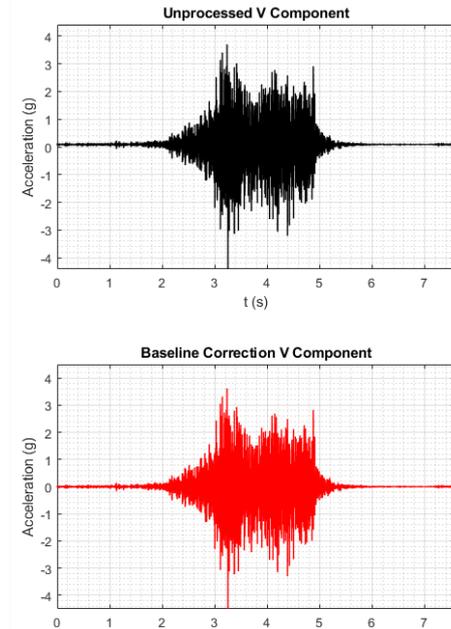


Figura 61. Aceleración Punto 24

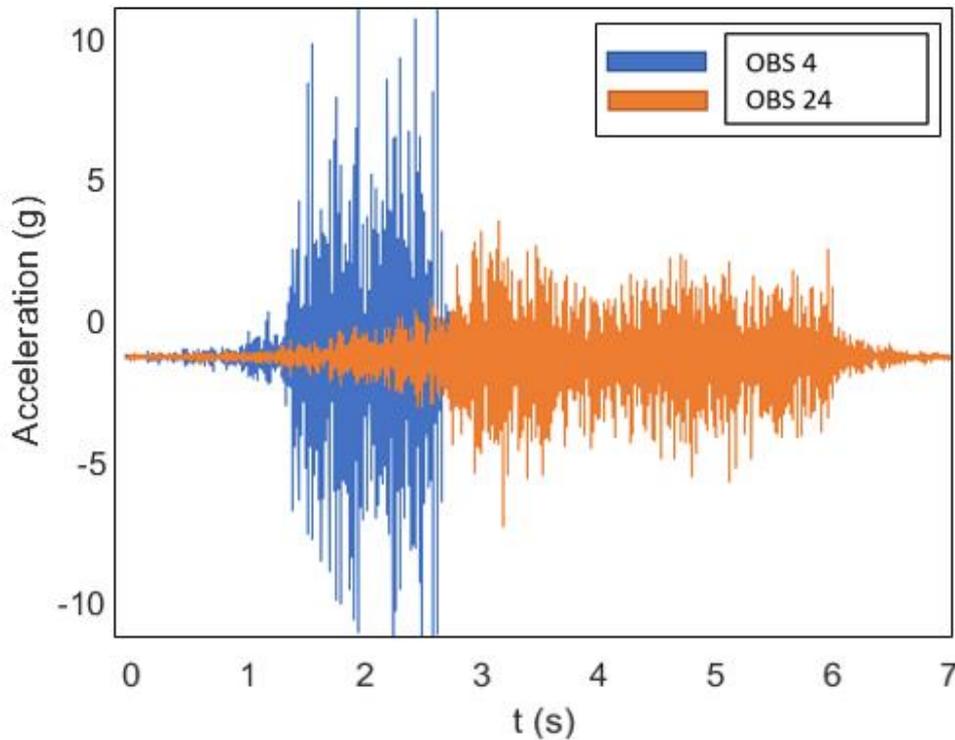


Figura 62. Superposición de ondas 4 - 24



El sismógrafo nos muestra en el punto 4 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 10.10 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 24, donde se registra una amplitud máxima de 4 cm/s^2 estando a 6.05 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

5. Ondas registradas en los puntos de grabación 5 – 25

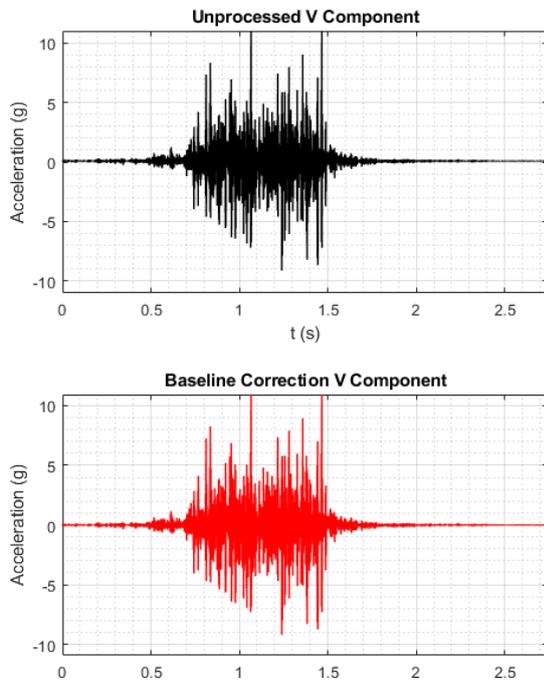


Figura 63. Aceleración Punto 5

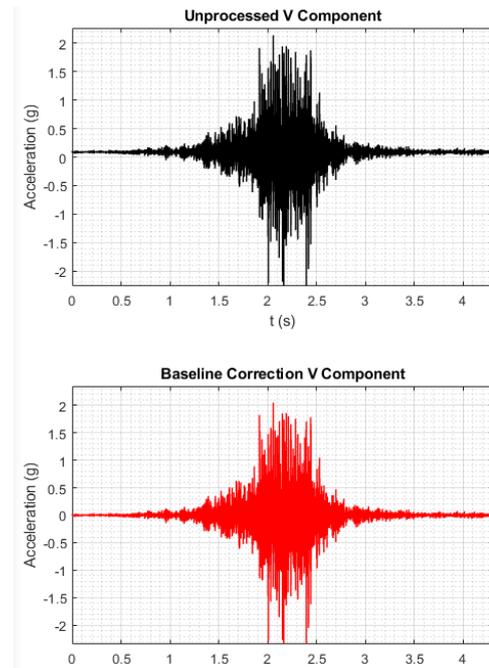


Figura 64. Aceleración Punto 25

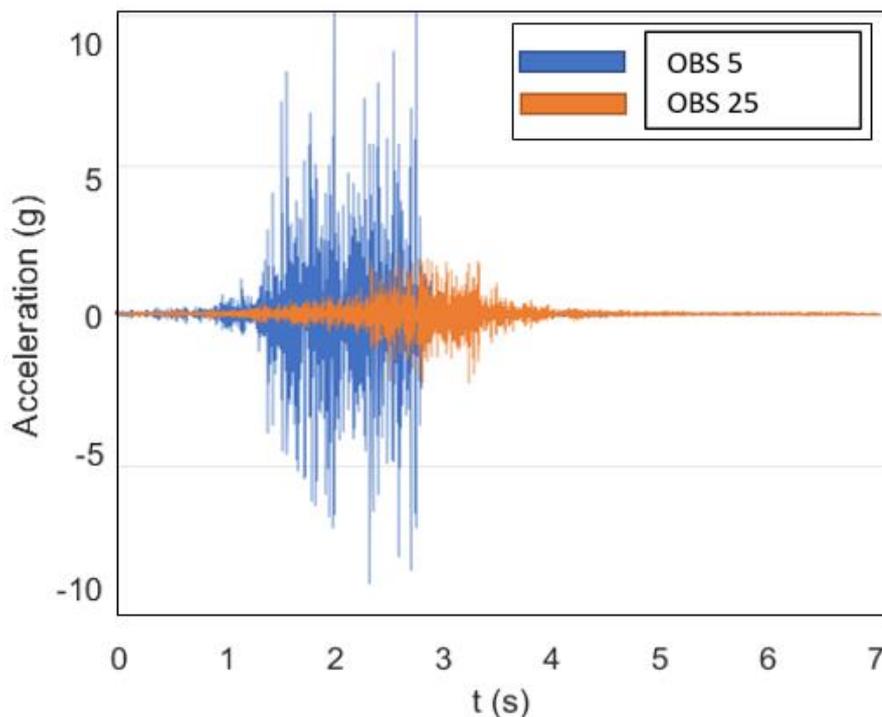


Figura 65. Superposición de ondas 5 - 25



El sismógrafo nos muestra en el punto 5 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 10.05 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 25, donde se registra una amplitud máxima de 4 cm/s^2 estando a 6.40 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

6. Ondas registradas en los puntos de grabación 6 – 26

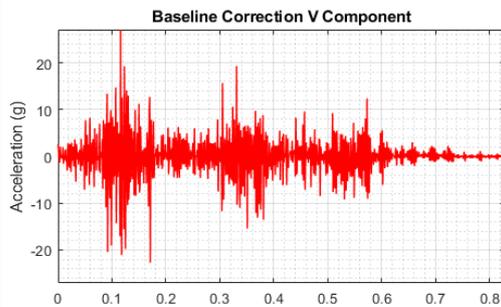
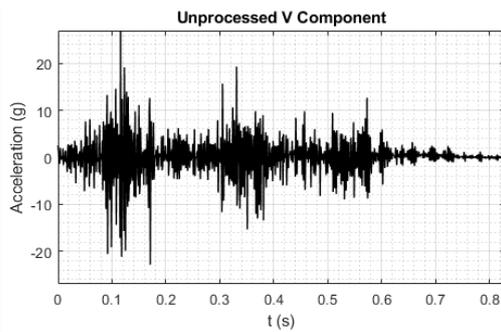


Figura 66. Aceleración Punto 6

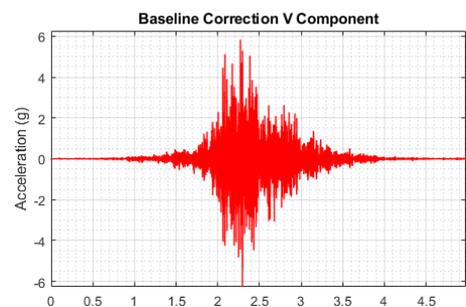
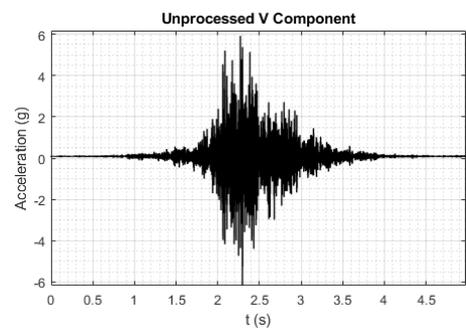


Figura 67. Aceleración Punto 26

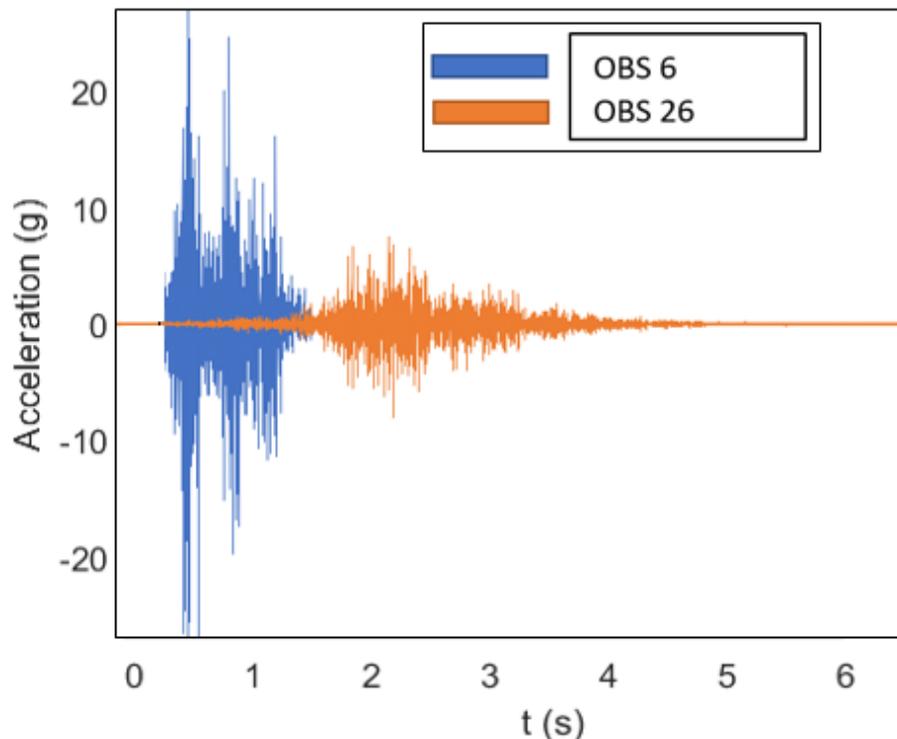


Figura 68. Superposición de ondas 6 - 26



El sismógrafo nos muestra en el punto 5 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 20.50 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 26, donde se registra una amplitud máxima de 4 cm/s^2 estando a 6.75 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

7. Ondas registradas en los puntos de grabación 7 – 27

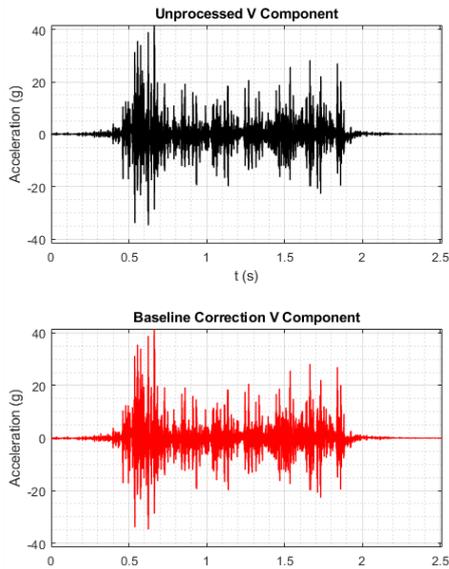


Figura 69. Aceleración Punto 7

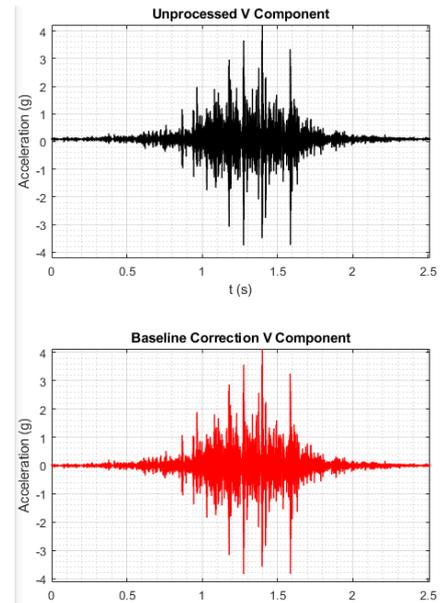


Figura 70. Aceleración Punto 27

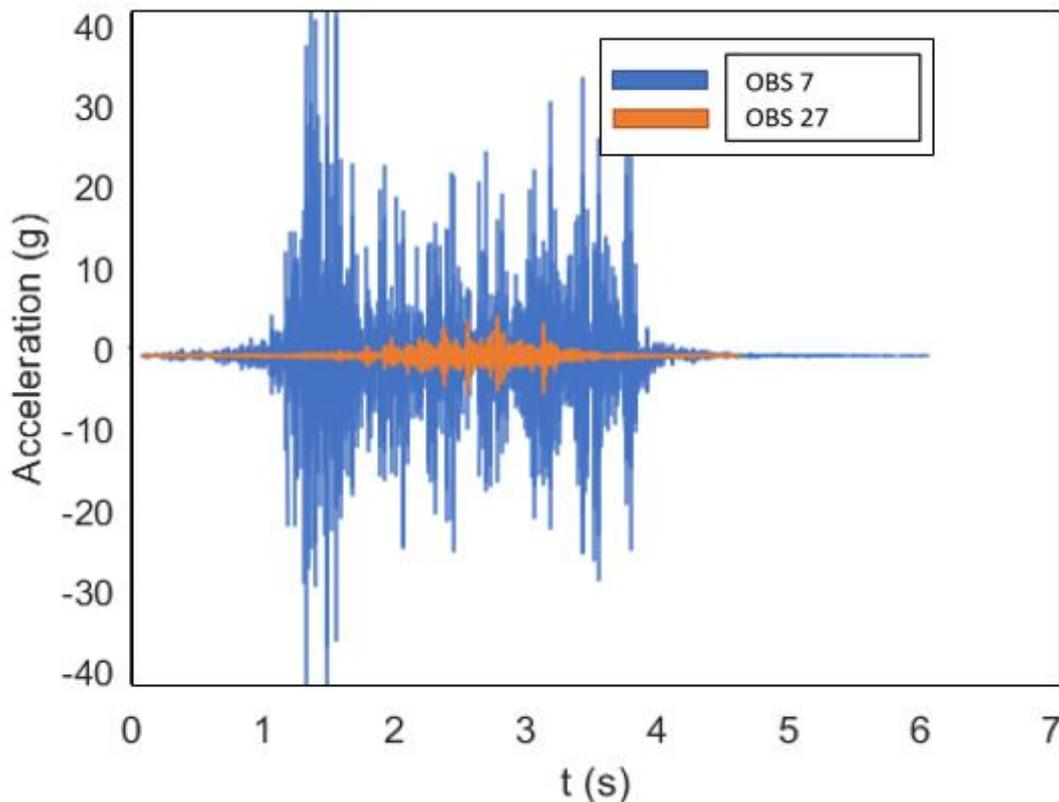


Figura 71. Superposición de ondas 7 - 27



El sismógrafo nos muestra en el punto 7 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 40.10 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 27, donde se registra una amplitud máxima de 4.10 cm/s^2 estando a 7.10 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

8. Ondas registradas en los puntos de grabación 8 – 28

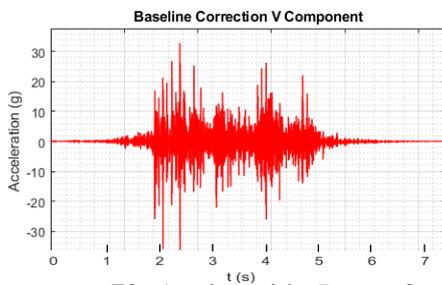
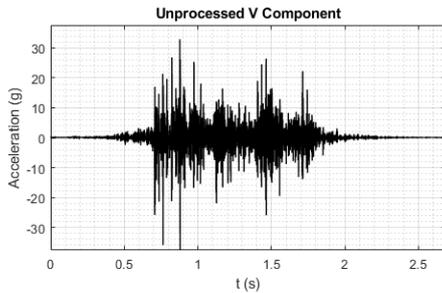


Figura 72. Aceleración Punto 8

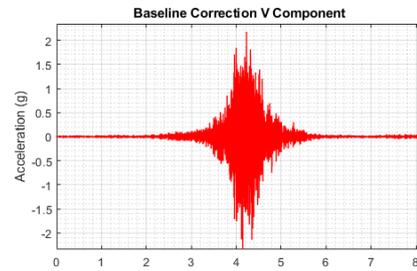
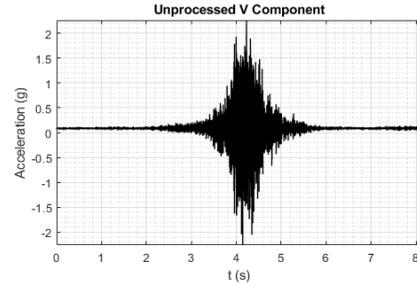


Figura 73. Aceleración Punto 28

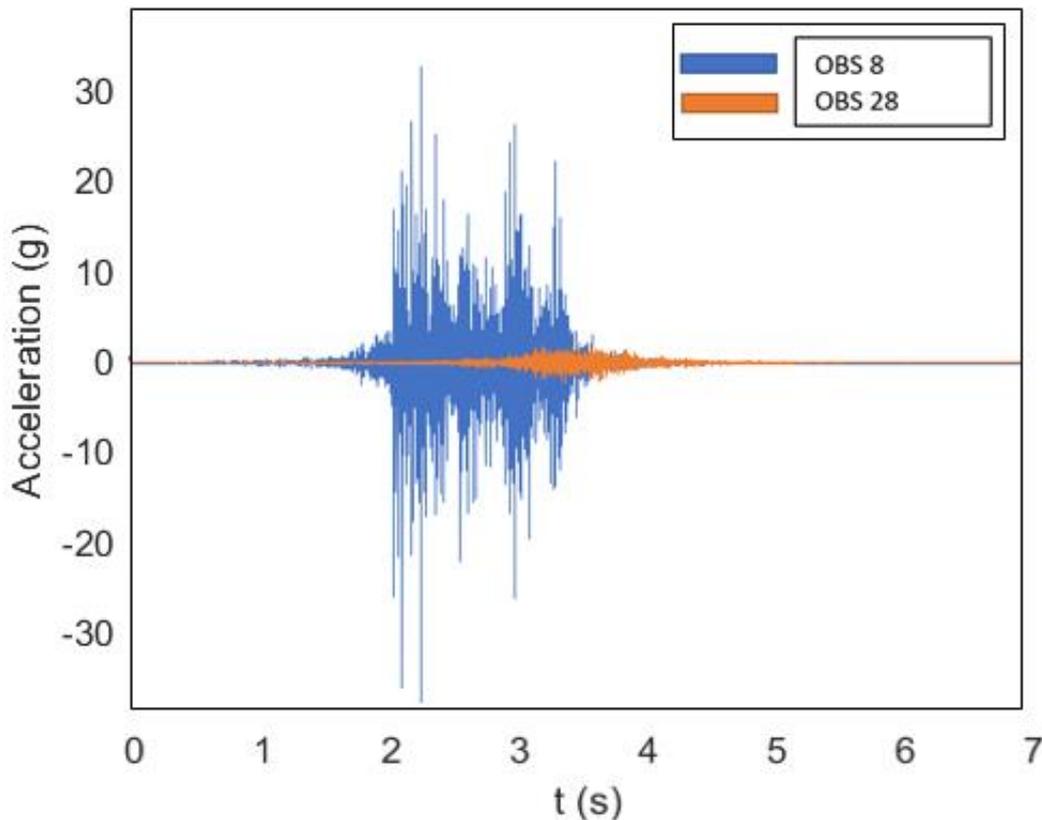


Figura 74. Superposición de ondas 8 - 28



El sismógrafo nos muestra en el punto 8 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 30.10 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 28, donde se registra una amplitud máxima de 2.10 cm/s^2 estando a 7.45 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

9. Ondas registradas en los puntos de grabación 9 – 29

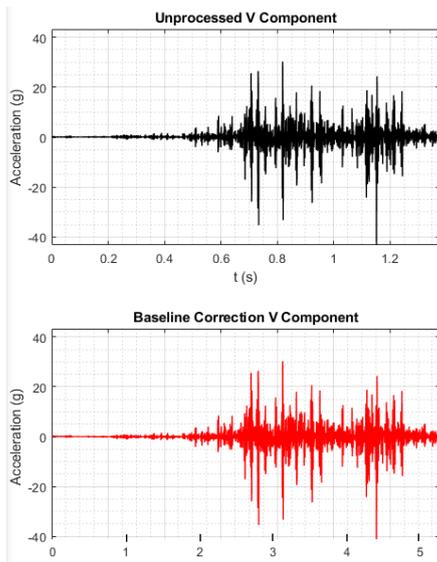


Figura 75. Aceleración Punto 9

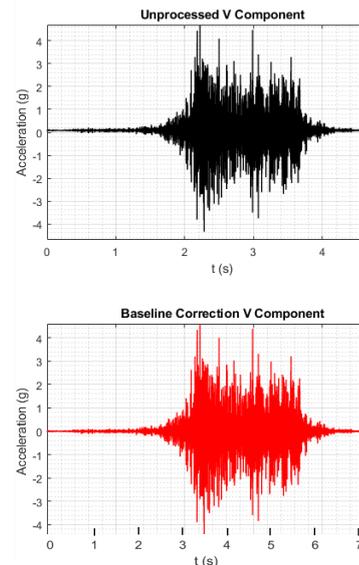


Figura 76. Aceleración Punto 29

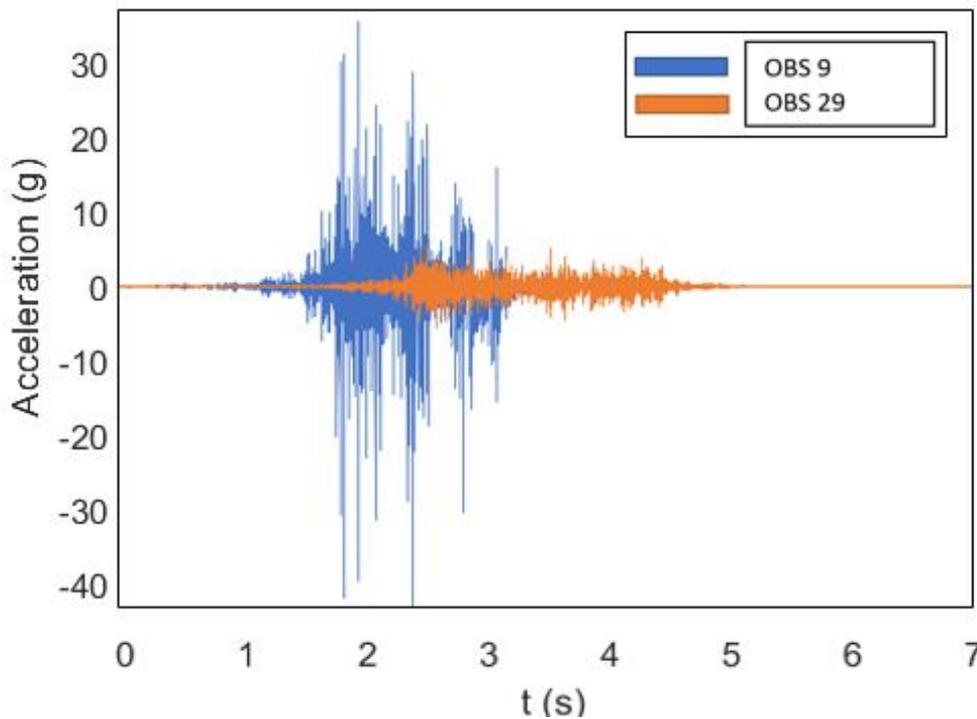


Figura 77. Superposición de ondas 9 - 29



El sismógrafo nos muestra en el punto 9 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 30 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 29, donde se registra una amplitud máxima de 2.10 cm/s^2 estando a 7.80 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

10. Ondas registradas en los puntos de grabación 10 – 30

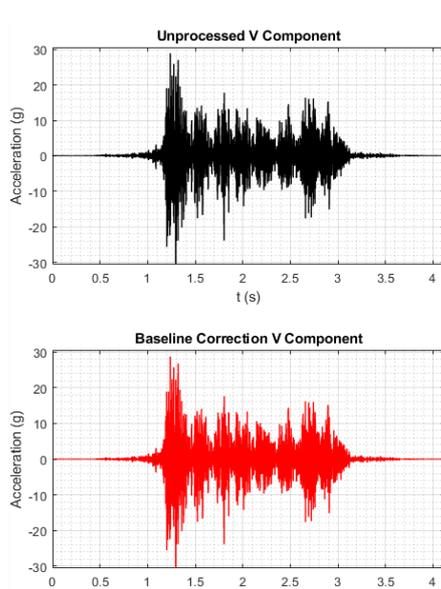


Figura 78. Aceleración Punto 10

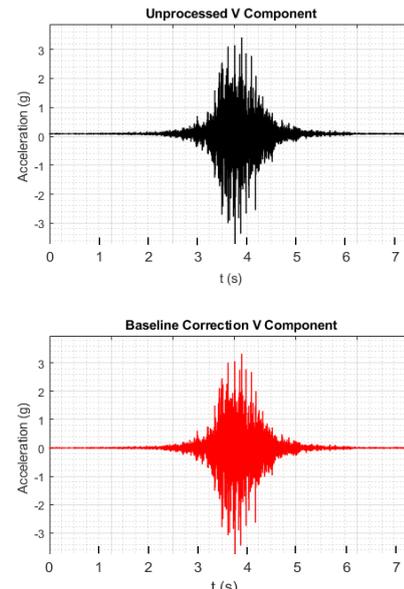


Figura 79. Aceleración Punto 30

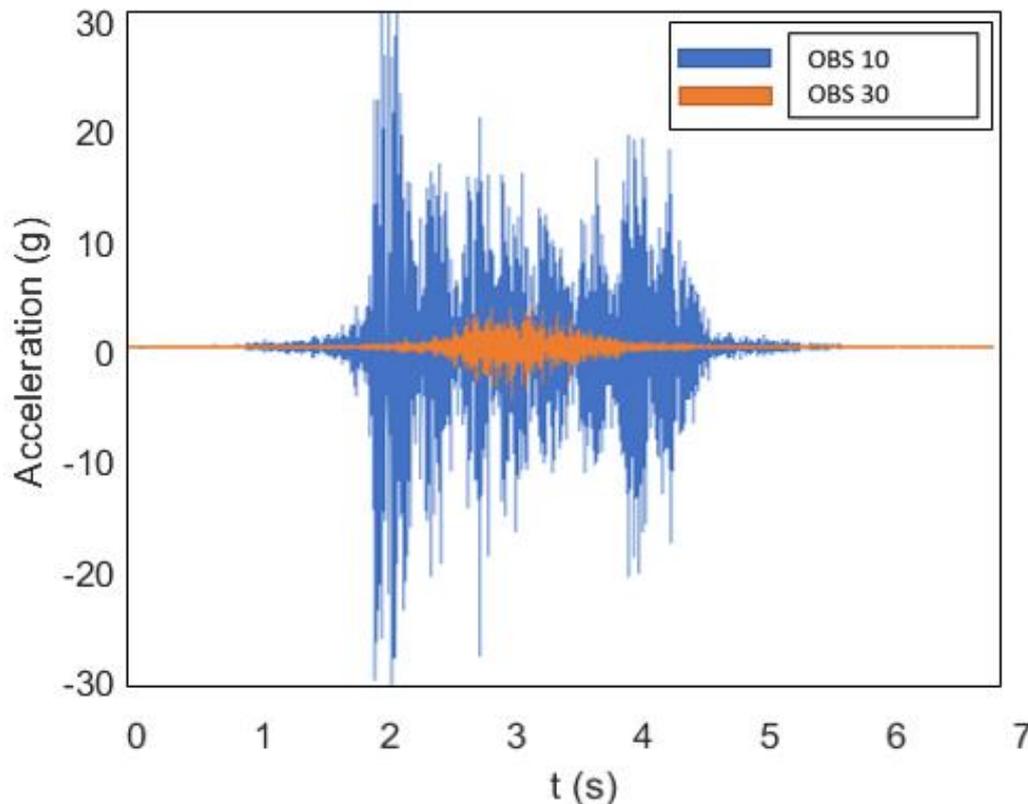


Figura 80. Superposición de ondas 10 - 30



El sismógrafo nos muestra en el punto 10 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 29.90 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 30, donde se registra una amplitud máxima de 3.40 cm/s^2 estando a 8.15 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

11. Ondas registradas en los puntos de grabación 11 – 31

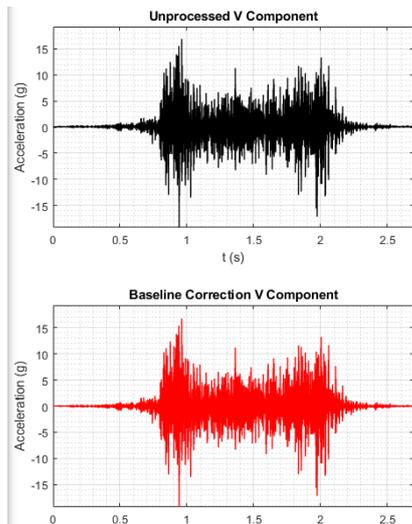


Figura 81. Aceleración Punto 11

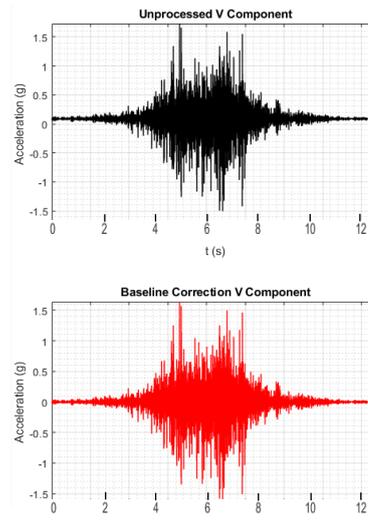


Figura 82. Aceleración Punto 31

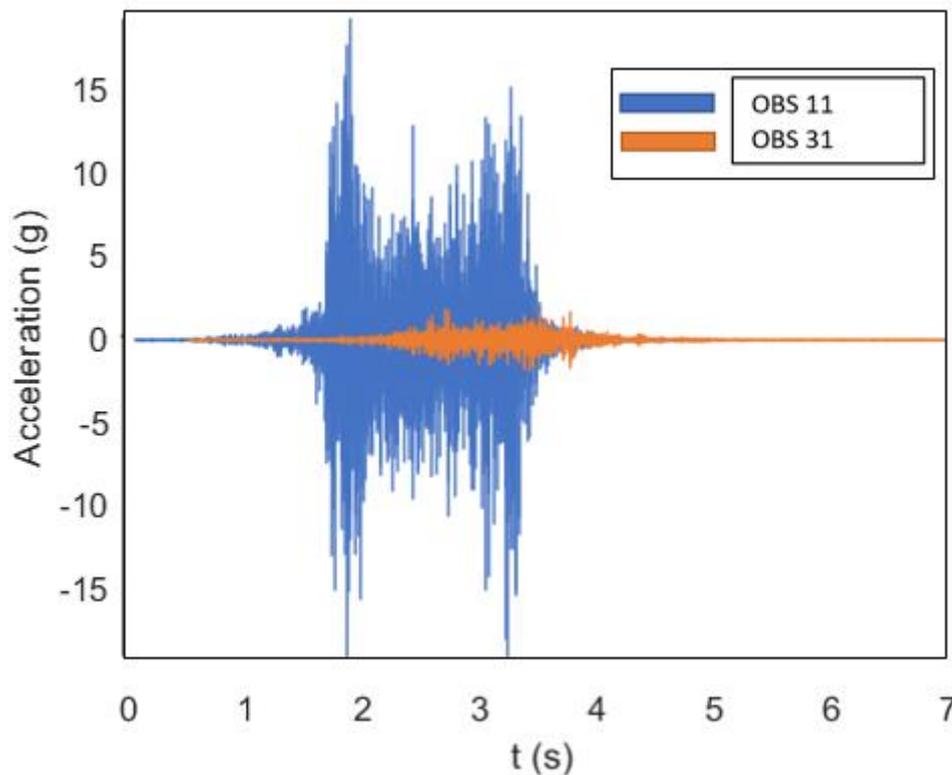


Figura 83. Superposición de ondas 11 - 31



El sismógrafo nos muestra en el punto 11 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 18.35 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 31, donde se registra una amplitud máxima de 1.52 cm/s^2 estando a 8.50 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

12. Ondas registradas en los puntos de grabación 12 – 32

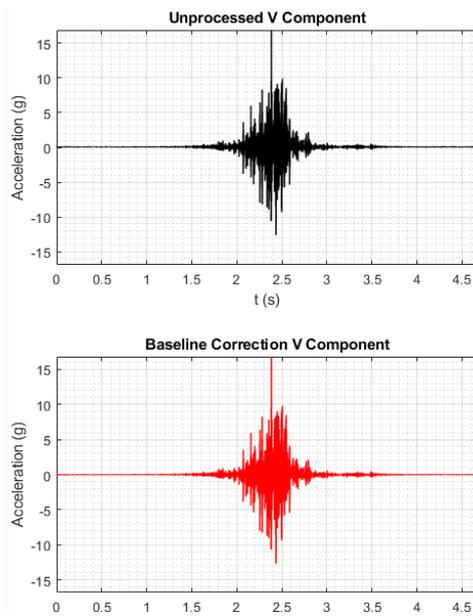


Figura 84. Aceleración Punto 12

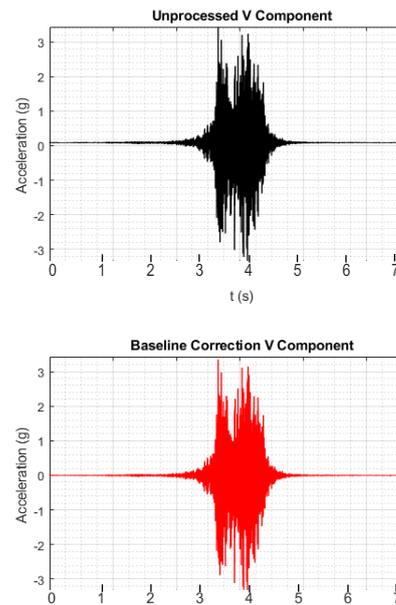


Figura 85. Aceleración Punto 32

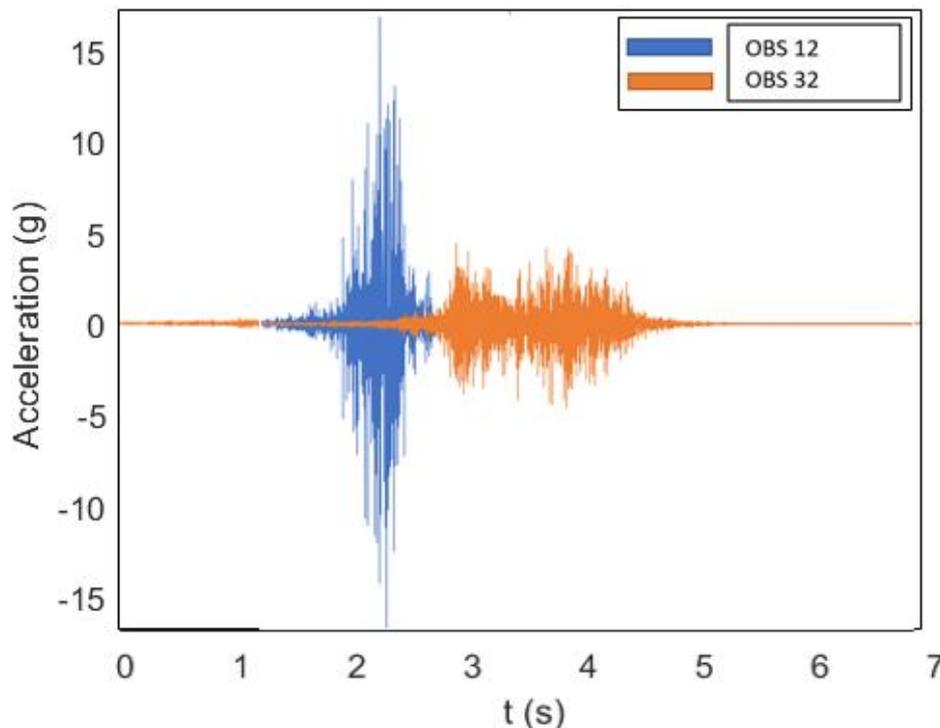


Figura 86. Superposición de ondas 12 - 32



El sismógrafo nos muestra en el punto 12 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 15.12 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 32, donde se registra una amplitud máxima de 3.20 cm/s^2 estando a 8.85 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

13. Ondas registradas en los puntos de grabación 13 – 33

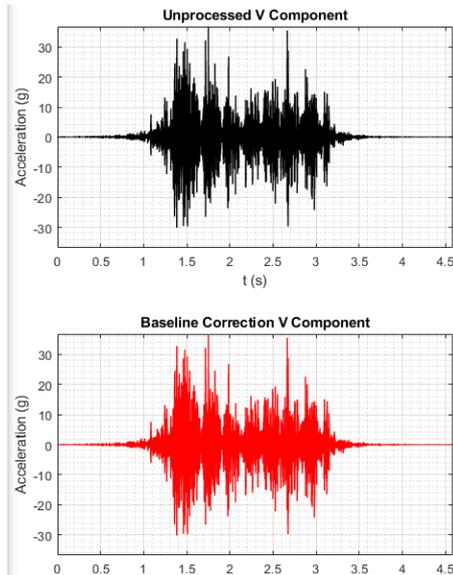


Figura 87. Aceleración Punto 13

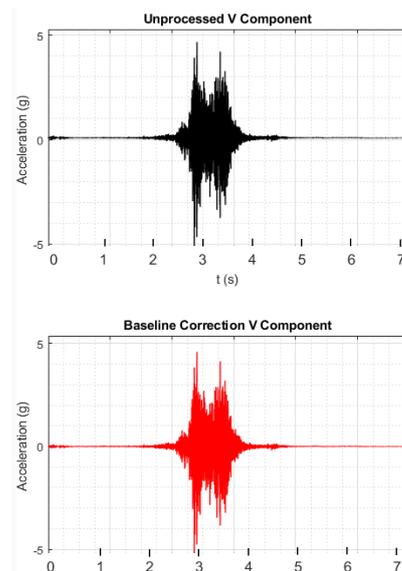


Figura 88. Aceleración Punto 33

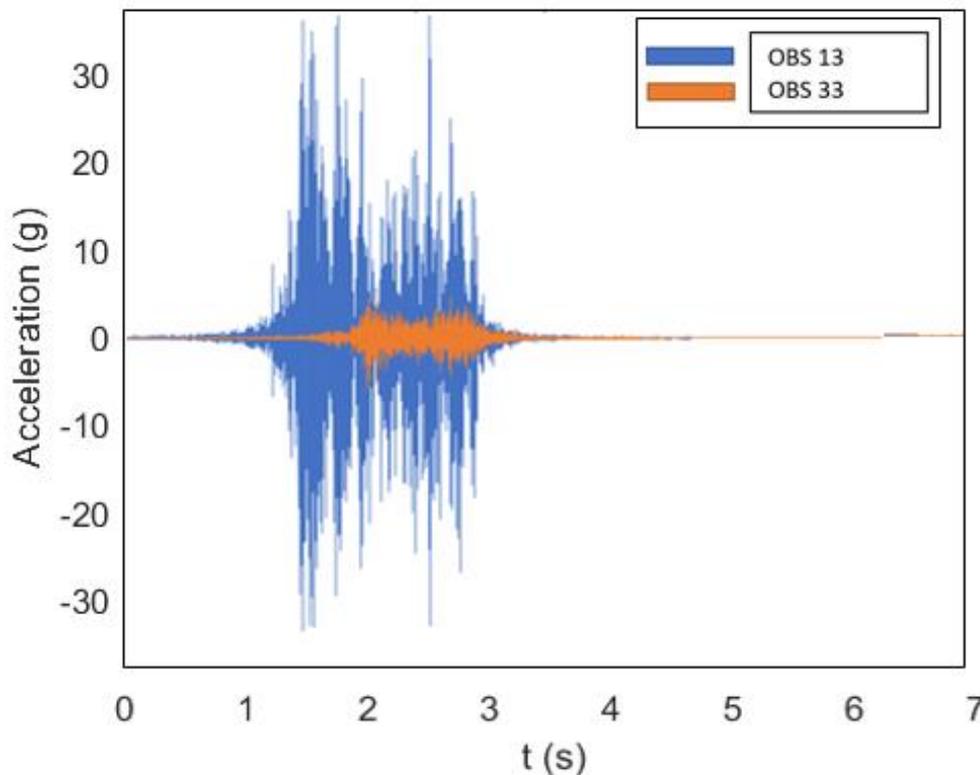


Figura 89. Superposición de ondas 13 - 33



El sismógrafo nos muestra en el punto 13 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 35.50 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 33, donde se registra una amplitud máxima de 4.80 cm/s^2 estando a 9.20 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

14. Ondas registradas en los puntos de grabación 14 – 34

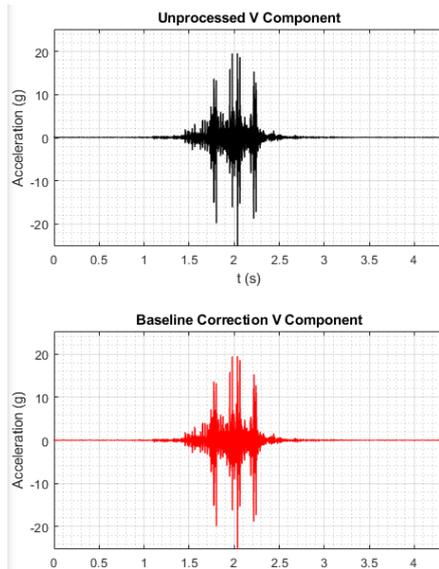


Figura 90. Aceleración Punto 14

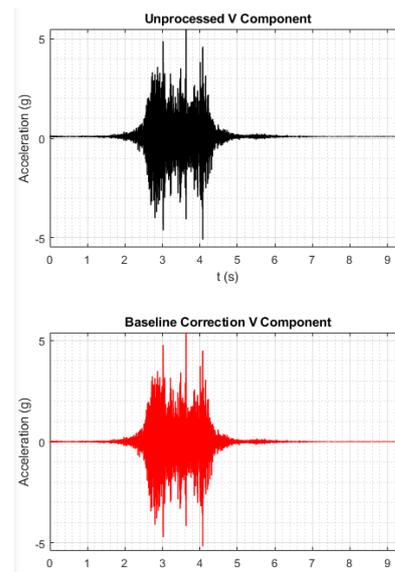


Figura 91. Aceleración Punto 34

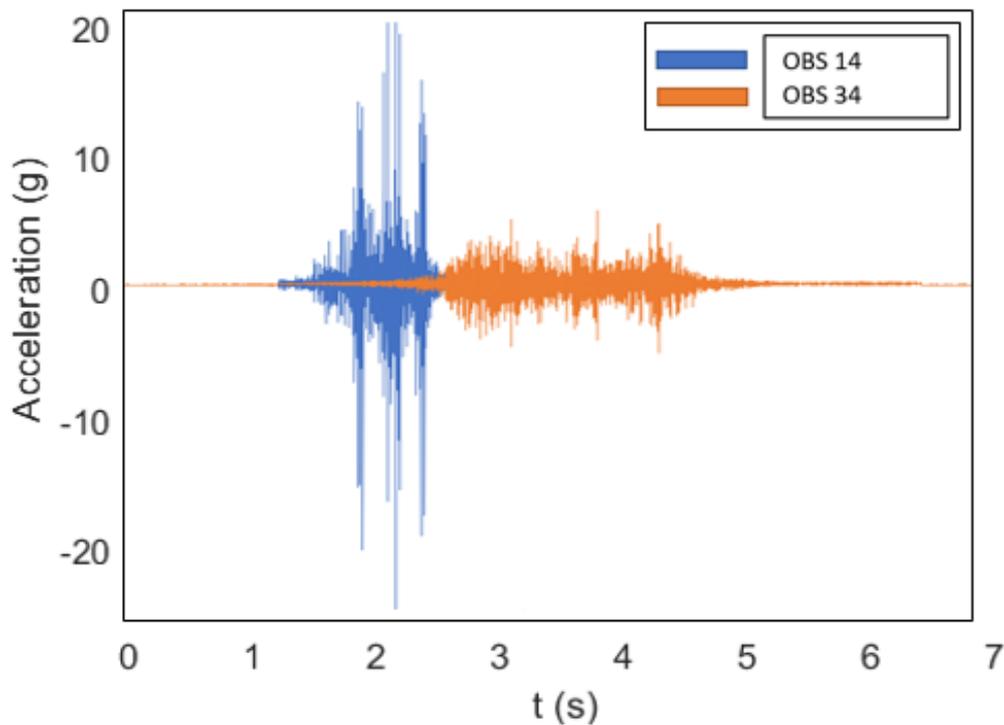


Figura 92. Superposición de ondas 14 - 34



El sismógrafo nos muestra en el punto 14 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 19.90 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 34, donde se registra una amplitud máxima de 5.10 cm/s^2 estando a 9.55 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

15. Ondas registradas en los puntos de grabación 15 – 35

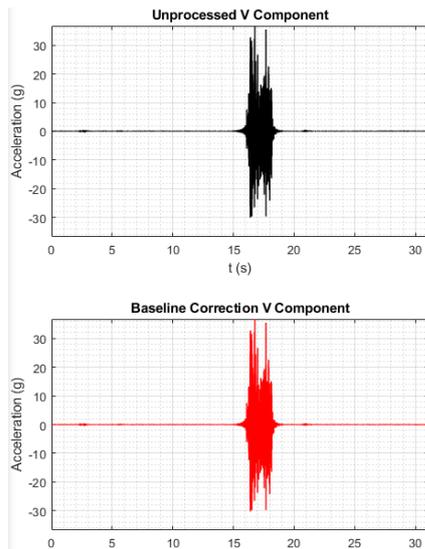


Figura 93. Aceleración Punto 15

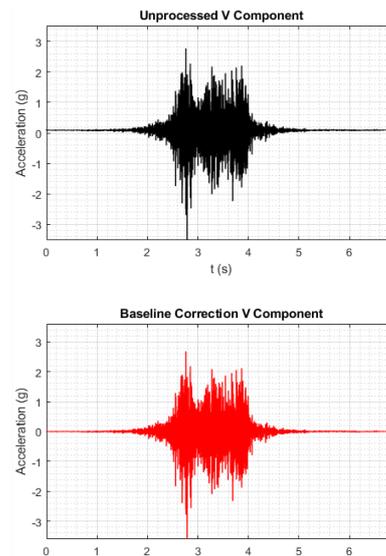


Figura 94. Aceleración Punto 35

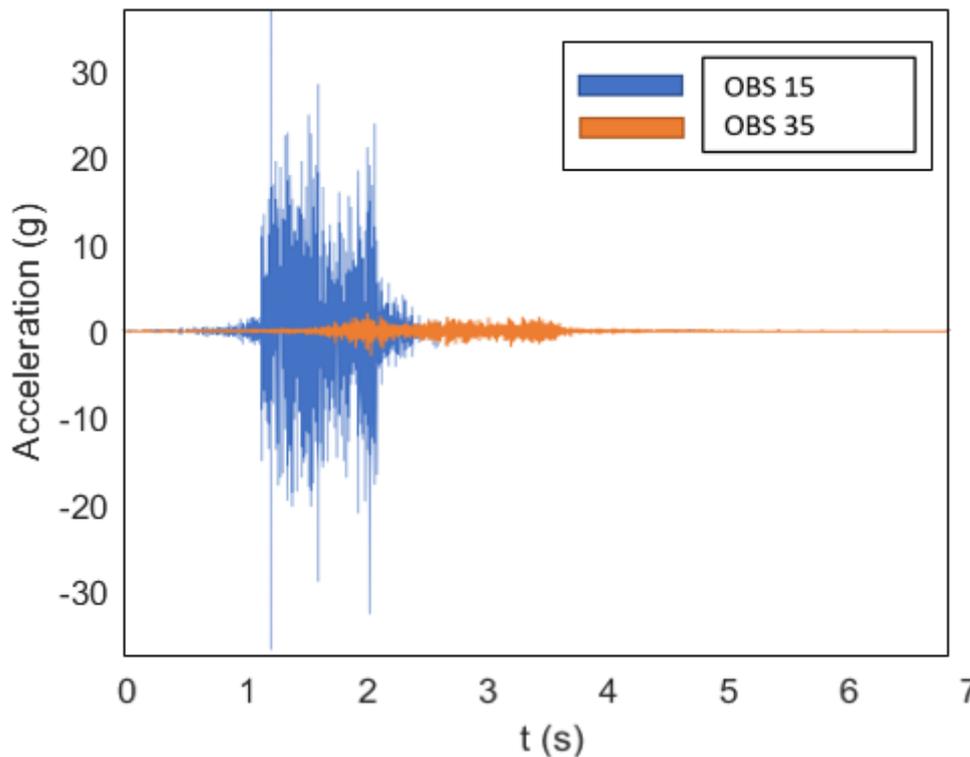


Figura 95. Superposición de ondas 15 – 35



El sismógrafo nos muestra en el punto 15 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 34.60 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 35, donde se registra una amplitud máxima de 2.70 cm/s^2 estando a 9.90 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

16. Ondas registradas en los puntos de grabación 16 – 36

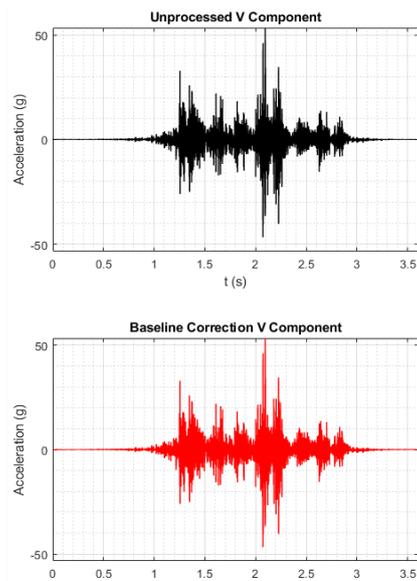


Figura 96. Aceleración Punto 16

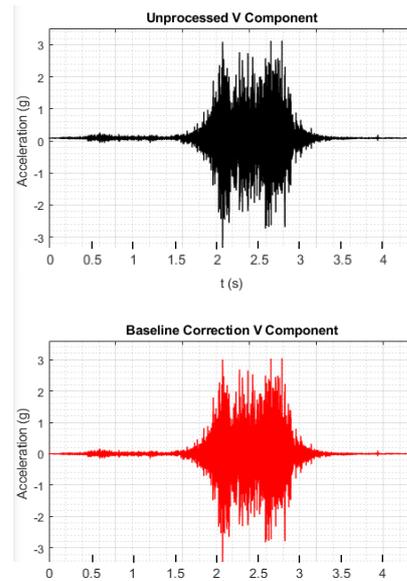


Figura 97. Aceleración Punto 36

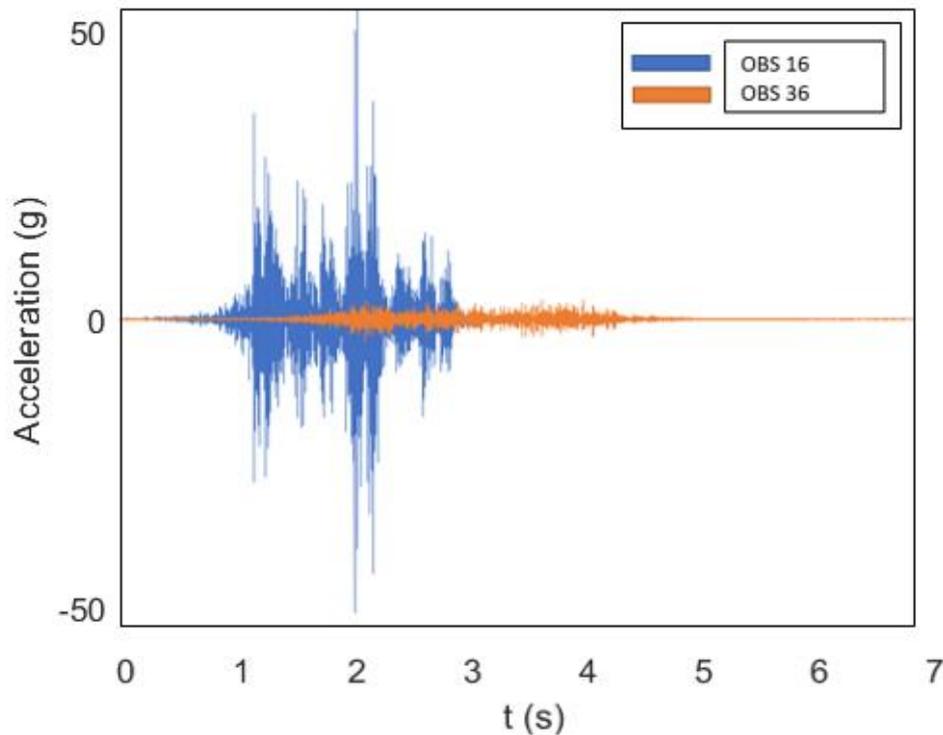


Figura 98. Superposición de ondas 16 - 36



El sismógrafo nos muestra en el punto 16 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 50.15 cm/s^2 estando a 2 ms de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 36, donde se registra una amplitud máxima de 3.05 cm/s^2 estando a 10.25 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

17. Ondas registradas en los puntos de grabación 17 – 37

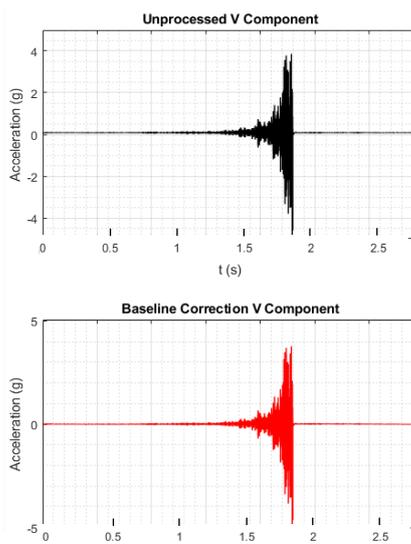


Figura 99. Aceleración Punto 17

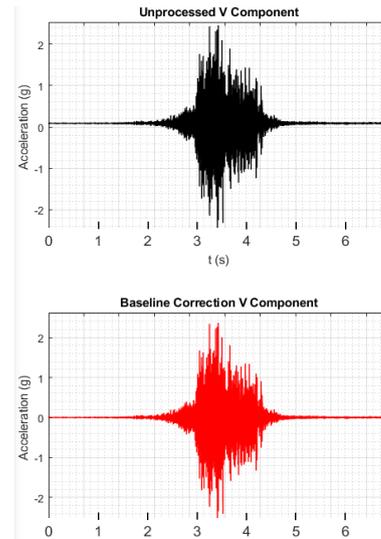


Figura 100. Aceleración Punto 37

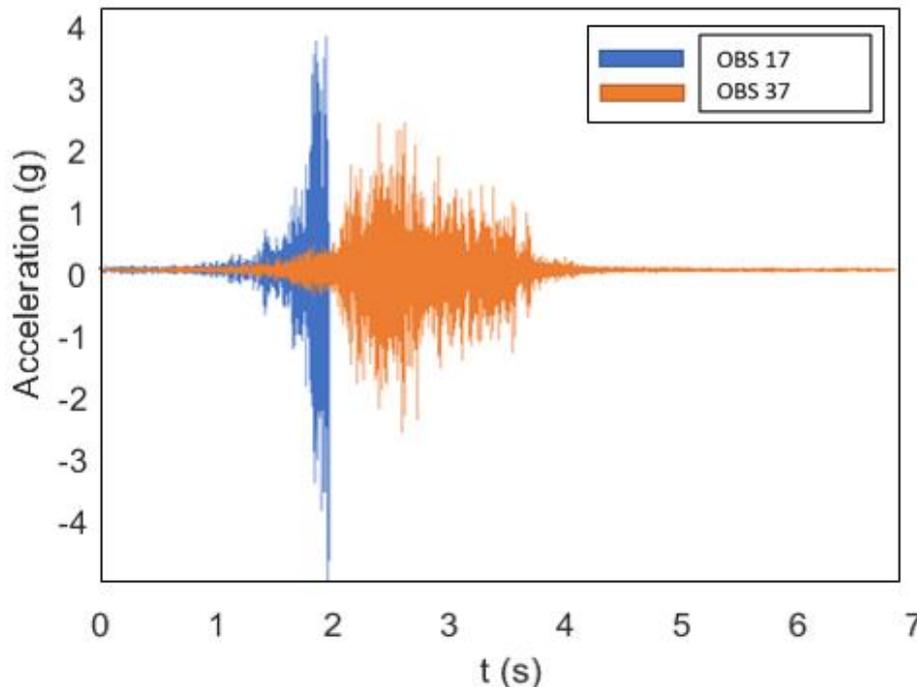


Figura 101. Superposición de ondas 17 – 37



El sismógrafo nos muestra en el punto 17 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 3.95 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 37, donde se registra una amplitud máxima de 2.90 cm/s^2 estando a 10.60 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

18. Ondas registradas en los puntos de grabación 18 – 38

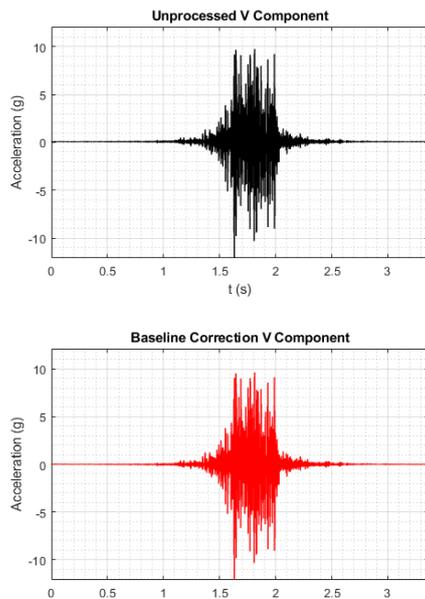


Figura 102. Aceleración Punto 18

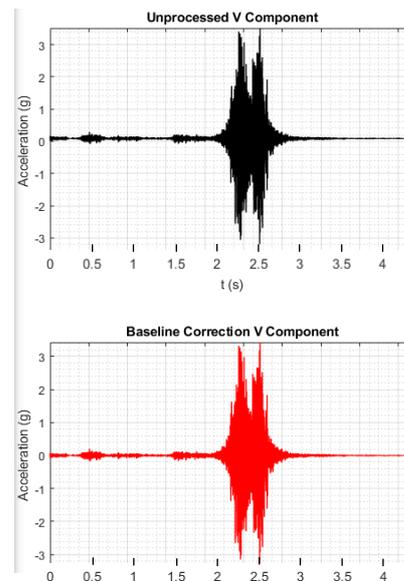


Figura 103. Aceleración Punto 38

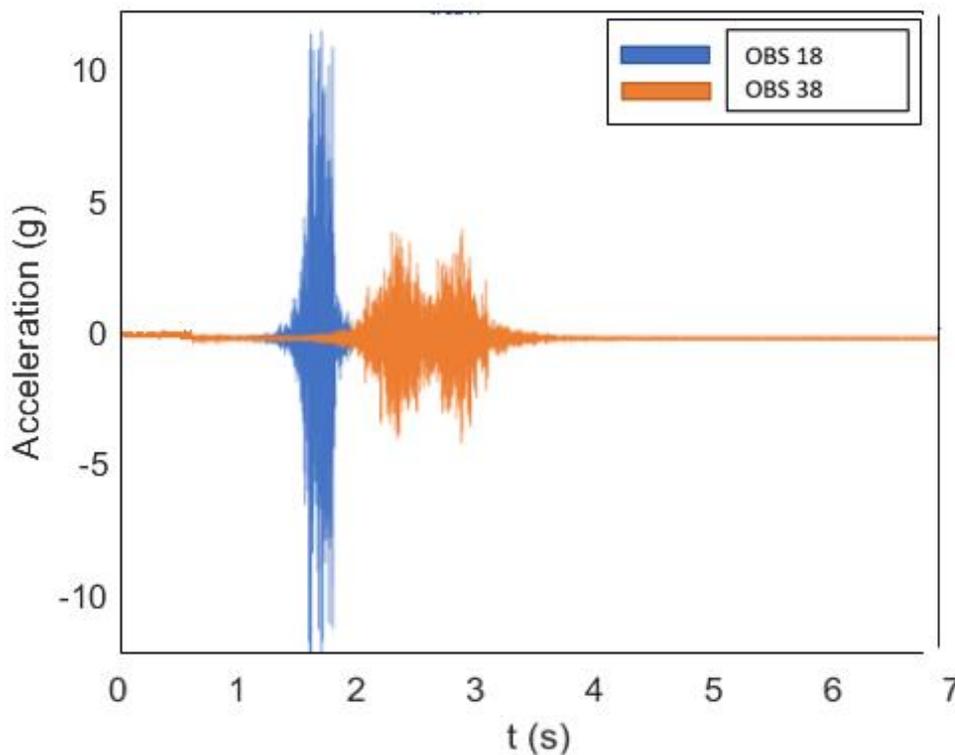


Figura 104. Superposición de ondas 18 – 38



El sismógrafo nos muestra en el punto 18 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 9.90 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 38, donde se registra una amplitud máxima de 3.30 cm/s^2 estando a 10.95 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

19. Ondas registradas en los puntos de grabación 19 – 39

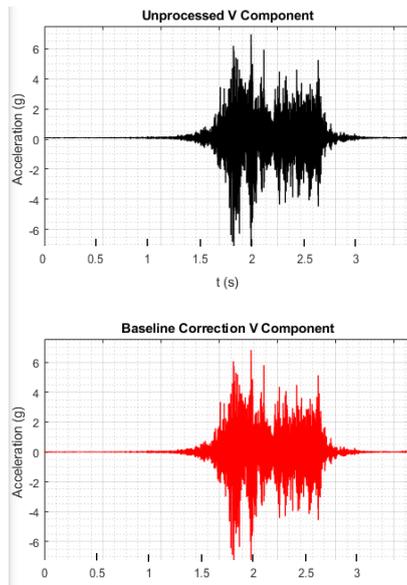


Figura 105. Aceleración Punto 19

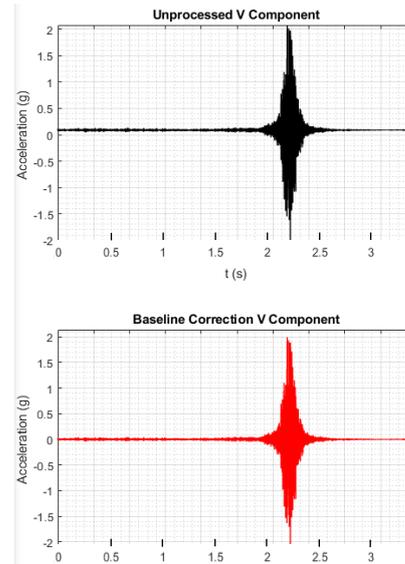


Figura 106. Aceleración Punto 39

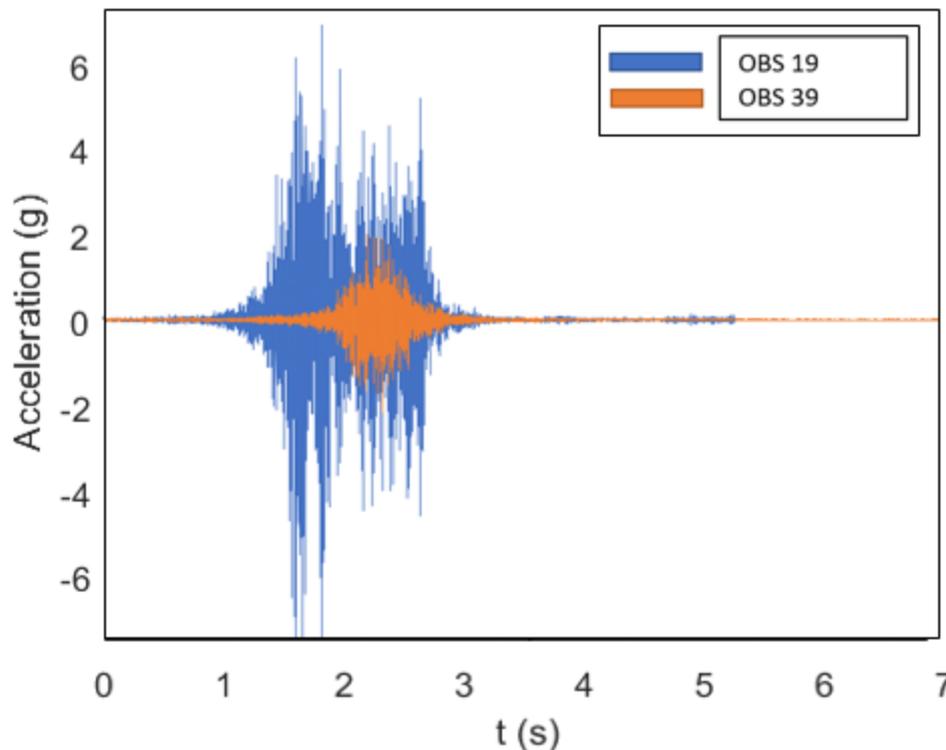


Figura 107. Superposición de ondas 19 – 39



El sismógrafo nos muestra en el punto 18 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 7.50 cm/s^2 estando a 1 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 39, donde se registra una amplitud máxima de 2.05 cm/s^2 estando a 11.30 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

20. Ondas registradas en los puntos de grabación 20 – 40

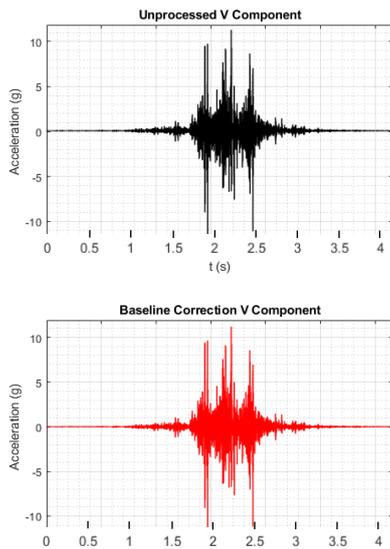


Figura 108. Aceleración Punto 20

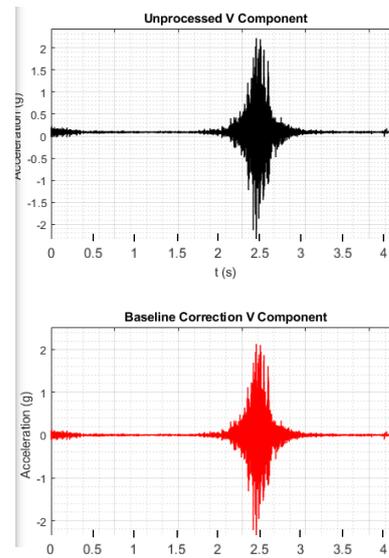


Figura 109. Aceleración Punto 40

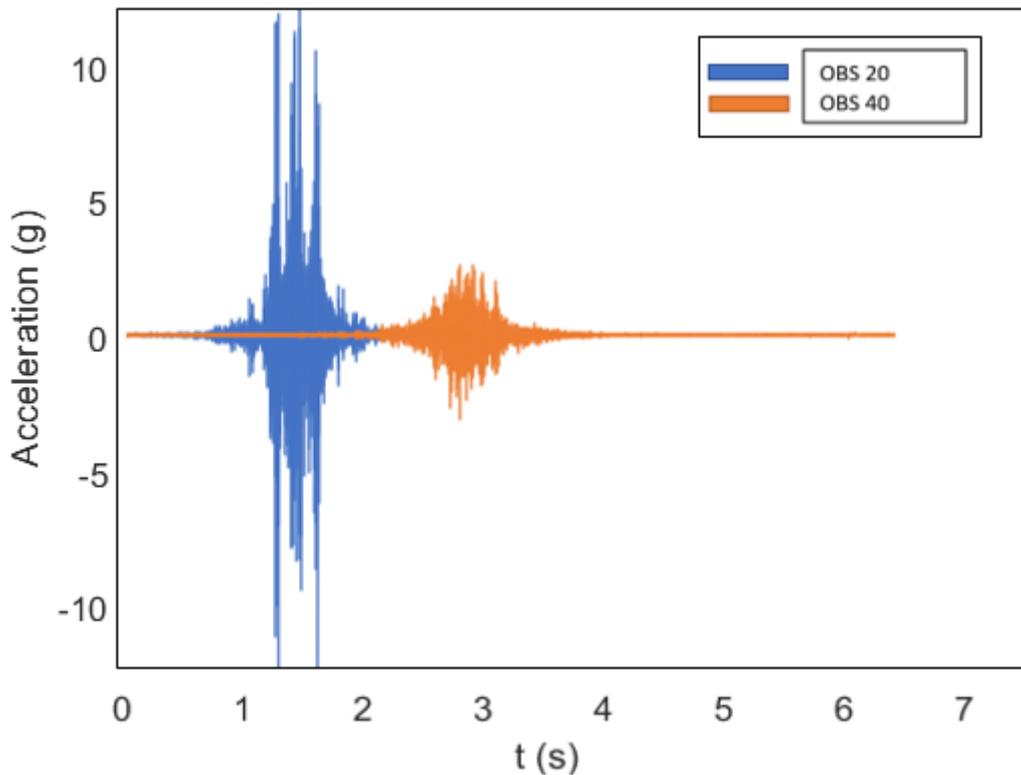


Figura 110. Superposición de ondas 20 – 40



El sismógrafo nos muestra en el punto 18 una aceleración registrada con una amplitud máxima de 12.30 cm/s^2 estando a 2 m de distancia de la vía férrea, a comparación del punto 40, donde se registra una amplitud máxima de 2.30 cm/s^2 estando a 11.65 m de la vía férrea, siendo evidente la atenuación de la onda.

4.4 Propiedades dinámicas del suelo

4.4.1 Velocidad de onda de corte

Teniendo en cuenta lo antes mencionado en el capítulo 2.2.4.1 usaremos la velocidad máxima encontrada cercana a la vía férrea, según la tabla 5. Teniendo así 0.5274 m/s como valor máximo.

4.4.2 Módulo de cortante, módulo de cortante máximo

Para encontrar este valor, usaremos la formula (8), ubicada en el capítulo 2.2.4.2 donde usaremos una densidad del suelo de $P = 1900 \text{ kg/m}^3$, logrando obtener un valor para $G_{\text{Max}} = 528.4864 \text{ Pa}$. Posteriormente, hallamos el valor para $G_{\text{Sec}} = 0.85$.

Esto gracias a la investigación dada por Stoll y Kald, siendo el suelo un material con un bajo índice de plasticidad, se obtiene un valor de 0.005 para el esfuerzo cortante cíclico.

4.4.3 Factor de amortiguamiento

Para encontrar el valor de este parámetro, usamos el valor del esfuerzo cortante hallado anteriormente, y con ayuda de la figura 12, hallamos el factor de amortiguamiento, logrando ver que, se tiene un valor del 4%.

4.4.4 Periodo fundamental del suelo

Para encontrar este valor, usaremos la formula (9), y para corroborar estos valores usaremos la formula (10).

Debemos tener en cuenta que, para el valor de H (altura), consideraremos una altura de 2 metros para el estrato en la zona aledaña a la vía férrea, y un valor de 0.2 metros para el estrato en la andenería de Mask'abamba.



Tabla 20

Periodo fundamental del suelo

Obs	Ts Formula 9 (s)	Ts Formula 10 (s)
1	0.009	0.064
2	0.025	0.117
3	0.066	0.038
4	0.011	0.036
5	0.011	0.026
6	0.021	0.033
7	0.037	0.026
8	0.030	0.027
9	0.037	0.036
10	0.033	0.030
11	0.026	0.031
12	0.020	0.036
13	0.033	0.031
14	0.022	0.027
15	0.033	0.031
16	0.028	0.025
17	0.011	0.044
18	0.016	0.026
19	0.017	0.038
20	0.006	0.029
21	0.123	0.058
22	0.025	0.079
23	0.049	0.080
24	0.018	0.079
25	0.010	0.117
26	0.027	0.048
27	0.018	0.059
28	0.010	0.075
29	0.024	0.080
30	0.015	0.065
31	0.007	0.102
32	0.017	0.070
33	0.023	0.060
34	0.019	0.052
35	0.025	0.064
36	0.015	0.091
37	0.041	0.125
38	0.018	0.153



39	0.011	0.123
40	0.009	0.116

Se debe aclarar que, comparando los resultados de la tabla 20 entra los valores obtenidos con la fórmula 9 y la fórmula 10, se mantienen los valores esperados, corroborando lo mencionado anteriormente en el capítulo 2.2.4.4, periodos cortos, menores a 1 segundo, con frecuencias mayores a 1 Hz. Teniendo un periodo fundamental en zona aledaña de la vía férrea, entre 0.006 y 0.066 segundos; y un periodo fundamental en la andenería de Mask'abamba entre 0.007 y 0.123 segundos.

Teniendo en cuenta estos valores, podemos recurrir a la norma E.030 para encontrar valores de S , T_P y T_L .

Se presenta un perfil tipo S_3 , Suelo blando, con velocidad de onda de corte menores a 180 m/s, con presencia de grava arenosa, de densidad suelta a muy suelta. Teniendo en cuenta la zona Z_2 , se tiene un factor de suelo S de 1.40, un valor de T_P de 1.0 y un valor de T_L de 1.6.

Teniendo en cuenta los valores mostrados previamente del periodo fundamental encontrado en la investigación, sacamos un promedio, teniendo un valor de T : 0.030 en la zona aledaña a la vía férrea, y T : 0.058 en la andenería de Mask'abamba, encontramos un factor de amplificación de C : 2.5, debido a que $T < T_P$.

4.4.5 Atenuación de ondas

La atenuación de ondas se puede corroborar visualmente en el capítulo 4.3, sin embargo, podemos hacer uso de las fórmulas presentadas en el capítulo 2.2.3.5.

Cabe recalcar que todas las fórmulas estudiadas por Theurer, son un modelo para sismos, de igual forma las fórmulas presentadas por Soberón et al. Estos modelos no se adaptan para calcular la atenuación de onda de microtrepidaciones, ya que estas tienen diferentes características y propiedades. Aun así, podemos relacionar el porcentaje de atenuación entre los resultados encontrados en la presente investigación, comparándolos con los resultados obtenidos usando las fórmulas. El valor de M será de 2, el valor de R para la zona aledaña a la vía férrea será de 1.5, y el valor de R para la andenería de Mask'abamba será de 8.325. Para hallar los resultados se usó una calculadora científica.

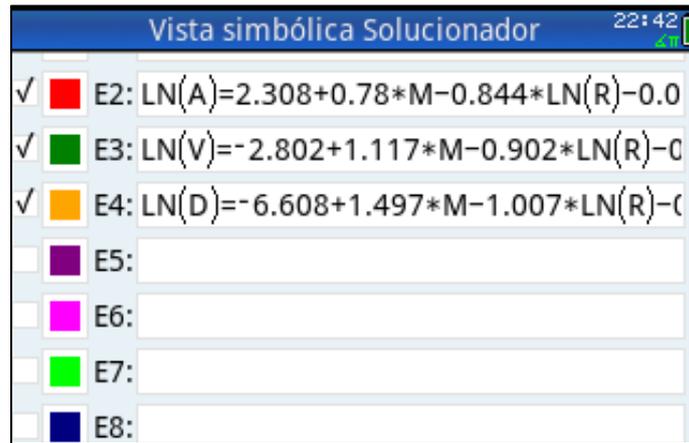


Figura 111. Formulas establecidas en la calculadora científica

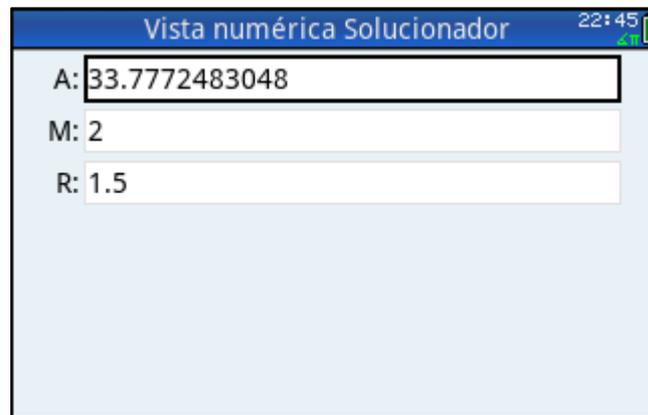


Figura 112. Valor de la aceleración con R=1.5

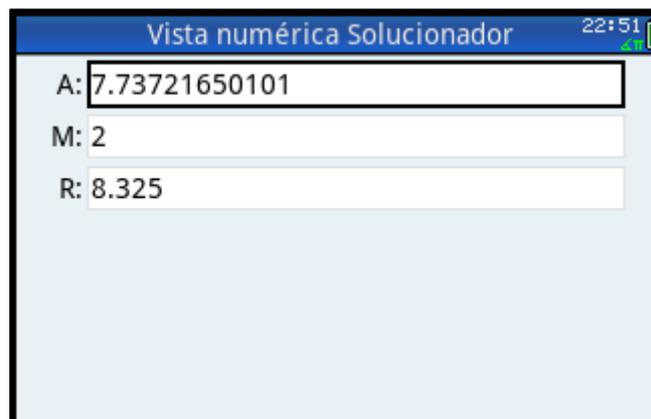


Figura 113. Valor de la aceleración con R=8.325



Se puede apreciar el valor de la aceleración en las figuras 112 y 113, las cuales presentan reducción en su valor, haciendo evidente la atenuación de la onda reduciéndose en un 77.11%, comparadas con los datos presentados en las conclusiones, el cual presenta un valor de 88.24% de reducción, evidenciando que la diferencia entre ambos valores está por debajo del error mencionado por Theurer (25%).

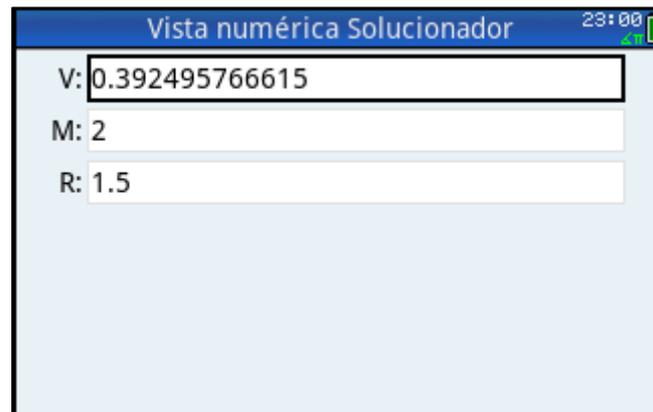


Figura 114. Valor de la velocidad con R=1.5

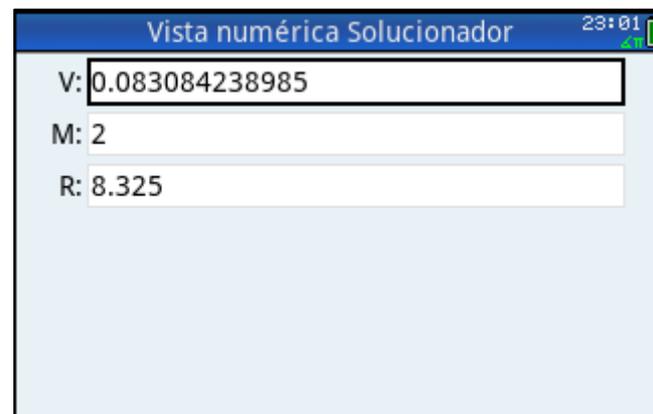


Figura 115. Valor de la velocidad con R=8.325

Se puede apreciar el valor de la aceleración en las figuras 114 y 115, las cuales presentan reducción en su valor, haciendo evidente la atenuación de la onda reduciéndose en un 78.83%, comparadas con los datos presentados en las conclusiones, el cual presenta un valor de 81.31% de reducción, evidenciando que la diferencia entre ambos valores está por debajo del error mencionado por Theurer (25%).

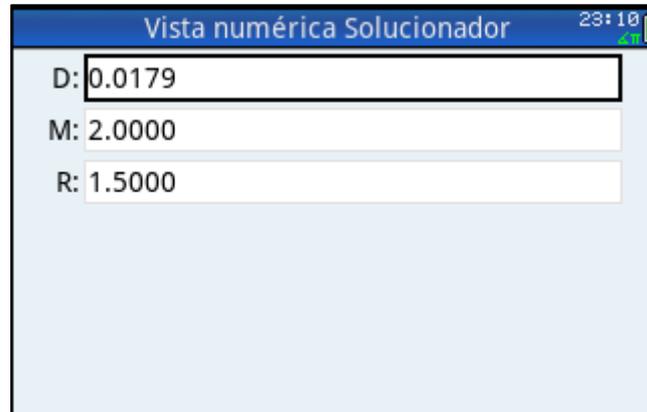


Figura 116. Valor del desplazamiento con $R=1.5$

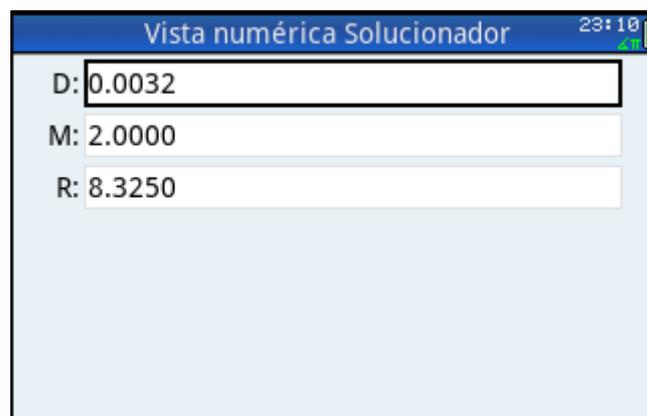


Figura 117. Valor del desplazamiento con $R=8.325$

Se puede apreciar el valor de la aceleración en las figuras 116 y 117, las cuales presentan reducción en su valor, haciendo evidente la atenuación de la onda reduciéndose en un 82.12%, comparadas con los datos presentados en el capítulo 4.2.3, el cual presenta un valor de 87.89% de reducción, evidenciando que la diferencia entre ambos valores está por debajo del error mencionado por Theurer (25%).



Tabla 21

Resumen de valores de parámetros comparados con ley de atenuación de ondas

	Aceleración	Velocidad	Desplazamiento
R = 1.5 km	33.77 cm / s²	0.39 cm /s	0.017 cm
R = 8.325 km	7.73 cm / s²	0.08 cm /s	0.003 cm

Esta tabla muestra un resumen de los valores encontrados en cada parámetro usando las leyes de atenuación para tener una comparación en cuanto a porcentaje de los valores encontrados en la presente investigación.



V. Discusión

5.1 Contraste de resultados con referentes del marco teórico

1. ¿La aceleración y velocidad encontrada en la andenería de Mask'abamba se encuentra dentro de uno los rangos establecidos por la USGS, el cual no tiene daño potencial?

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 5, debemos comparar estos valores, con los valores de la tabla 3, las microtrepidaciones registradas en la andenería de Mask'abamba nos muestran una intensidad instrumental IV y V, siendo estas vibraciones percibidas de forma ligera y moderada, el daño potencial en esta intensidad será ninguno o muy ligero.

2. ¿De qué manera queda evidenciada la poca significatividad de las vibraciones producidas por el paso del tren en la andenería de Mask'abamba teniendo en cuenta el antecedente internacional N° 2?

El antecedente internacional N° 2 evidencia el desplazamiento vertical en el suelo superficial con valores mayores a 1 cm, resultado obtenido de estudios de sismos de baja magnitud, las cuales causan daños ligeros y moderados en las viviendas, en la presente investigación, el desplazamiento encontrado máximo en la andenería de Mask'abamba es de 0.28 cm (tabla 5), y un valor medio de 0.066 cm (tabla 19), siendo valores muy bajos.

3. ¿Las leyes de atenuación de ondas mostradas en la presente investigación son modelos los cuales se pueden usar con microtrepidaciones?

No, ya que estas fórmulas son solo para sismos, los cuales tienen condiciones diferentes a las de una microtrepidación, sin embargo, si es posible usar estas fórmulas para corroborar, mediante porcentajes, la similitud de los resultados.

4. ¿El valor de frecuencias encontradas en la presente investigación, se encuentran dentro del rango establecido en el capítulo 2.2?

En la figura 5 se muestran frecuencias registradas en diferentes tipos de suelos, siendo un total de 4, estableciéndose los valores registrados en la presente investigación, dentro de los valores observados en la tabla.

En la zona aledaña a la vía férrea nos encontramos con un suelo gravoso arenoso, y en la andenería de Mask'abamba con un suelo orgánico, el cual puede ser comparado,



debido a sus propiedades, con un suelo aluvial. Obteniendo un valor promedio de 30.35 Hz en la zona aledaña a la vía férrea, y un valor máximo de 40.03 Hz, estando dentro del rango mostrado en la figura 5, y un valor promedio de 13.01 Hz en la andenería de Mask'abamba, y un valor máximo de 20.8 Hz estando dentro del rango mostrado en la figura 5.

5. ¿Los valores, resultado del análisis estadístico, encontrados en cada parámetro de la investigación, satisfacen la confiabilidad del estudio?

En cuanto a el análisis estadístico, la mayoría de resultados son de interpretación, no presentan unidad, los resultados encontrados se encuentran dentro de lo esperado, ya que se desarrollo una matriz de correlación precisa, en los estadísticos de bondad se muestran valores de R-Cuadrado mayores al 50%, lo cual son validos para esta investigación, los análisis de varianza y covarianza demuestran un modelo de ajuste <0.0001 el cual es el mejor resultado posible para la investigación, por ultimo todos estos valores se obtuvieron con un 95% de confiabilidad.

6. ¿Se puede evidenciar la presencia de ondas armónicas en las vibraciones estudiadas en la presente investigación?

Si, ya que lo presentado en el capítulo 2.2.5 queda demostrado en el desarrollo de los resultados obtenidos, individualmente se puede ver cada uno de estos resultados en los anexos.

7. ¿Los valores de la respuesta dinámica del suelo se encuentran dentro de los valores establecidos en el 2.2.4?

En cuanto a la velocidad de onda de corte, queda demostrado la similitud entre una onda S y una onda Rayleigh, tomando como valor de estudio, la velocidad de onda superficial encontrada en la investigación. En el módulo de cortante se muestran valores establecidos para este parámetro, dependiendo del esfuerzo cortante y el índice de plasticidad del suelo, este valor es el esperado para un suelo gravoso, de igual forma pasa con el factor de amortiguamiento. Por último, el periodo fundamental del suelo en esta investigación corrobora lo mencionado por los autores Mendoza y Velázquez, ya que se puede evidenciar que los microsismos de la presente investigación tienen periodos cortos, menores a 1 segundo, pero con frecuencias mayores a los 1 Hz



5.2 Interpretación de los resultados encontrados en la investigación

1. Del análisis de la aceleración

Como se puede observar en la tabla 5 y la tabla 11, tenemos valores máximos y valores medios de la aceleración, ubicados en la zona aledaña a la vía férrea, y en la andenería de Mask'abamba. Se determina que los valores, en ambas tablas, encontrados en la andenería de Mask'abamba son bajos, y no representan ningún tipo de peligro potencial.

También contamos con la figura 46, el mapa de aceleraciones máximas normalizadas, donde podemos observar que la aceleración encontrada en el andén de Mask'abamba, no llega a representar ni el 1% de un sismo de seis grados.

Sin embargo, los resultados obtenidos a 1 y 2 metros de la vía férrea, son valores altos, los cuales llegan a representar un peligro moderado para las estructuras que se encuentren a dicha distancia.

2. Del análisis de la velocidad

Como se puede observar en la tabla 5 y la tabla 15, tenemos valores máximos y valores medios de la velocidad, ubicados en la zona aledaña a la vía férrea, y en la andenería de Mask'abamba. Se determina que los valores, en ambas tablas, encontrados en la andenería de Mask'abamba son bajos, y no representan ningún tipo de peligro potencial.

Sin embargo, los resultados obtenidos a 1 y 2 metros de la vía férrea, son valores altos, los cuales llegan a representar un peligro moderado para las estructuras que se encuentren a dicha distancia.

3. Del análisis del desplazamiento

Como se puede observar en la tabla 5 y la tabla 19, tenemos valores máximos y valores medios del desplazamiento, ubicados en la zona aledaña a la vía férrea, y en la andenería de Mask'abamba. Se determina que los valores, en ambas tablas, encontrados en la andenería de Mask'abamba son bajos, y no representan ningún tipo de peligro potencial.



Sin embargo, los resultados obtenidos a 1 y 2 metros de la vía férrea, son valores altos, los cuales llegan a representar un peligro moderado para las estructuras que se encuentren a dicha distancia.

5.3 Comentario de la demostración de la hipótesis

Es necesario mencionar que para la obtención de los resultados de los parámetros estudiados se usaron instrumentos los cuales tienen un gran uso y aplicabilidad en laboratorios de diferentes partes del mundo, y para el procesamiento de los resultados, se usaron softwares reconocidos en el medio de la investigación sísmica y de análisis de ondas importantes alrededor del mundo

La metodología empleada para la demostración de la hipótesis se basa en autores como (Nakamura, 1989), (Griem, 1998), (Allam & Shima, 1967), (Aki, 1957), solo por mencionar algunos, si bien toda esta metodología ya se encuentra automatizada (codigo SedPro) la validez interna y externa se mantiene y tiene un precedente significativo y relevante.

El nivel de confiabilidad de los datos queda demostrado en el desarrollo de los resultados, demostrando que los valores obtenidos en la tabla 5, estadísticamente no presentan errores superiores al 5% de diferencia, en cada parámetro estudiado.

5.4 Aporte de la investigación

- Esta tesis logro obtener resultados los cuales no se tenía conocimiento previo en nuestro entorno.
- Se planteó el uso del software Matlab para el estudio de vibraciones, el cual ya tiene precedentes en el extranjero, pero no en el entorno nacional.
- Se demostró que las vibraciones superficiales, de origen sísmico superficial, tienen valores altos los cuales pueden llegar a ser potencialmente dañinos para estructuras cercanas a la vía férrea.
- En esta tesis se responde si los parámetros de velocidad, aceleración y desplazamiento son perjudiciales para una andenería en específico, la andenería de Mask'abamba, la cual está a 5 metros de la vía férrea, y esta se abre hasta llegar en el otro extremo del muro a 11.65 metros, como se observa en la figura 23.



Sin embargo, los resultados obtenidos a 1 y 2 metros de distancia de la vía férrea son tema de suma importancia, el cual puede servir de base para otra investigación.

5.5 Incorporación de temas nuevos que se presentaron en el proceso

Como se menciona en el capítulo 5.1 los resultados obtenidos en la andenería de Mask'abamba son bajos y representa ningún daño potencial para el mismo, sin embargo, nos encontramos con los resultados aledaños a la vía férrea.

Como se menciona en la descripción del problema, capítulo 1.1 está la norma N° 032- 2005-MTC Reglamento de Ferrocarriles, artículo 19, la cual nos dice que a partir de los 10 metros se puede realizar la construcción de una estructura, sin embargo, esto no se respeta, y así como hay viviendas construidas a una distancia muy corta de la vía férrea, también está la posibilidad de la existencia de andenerías, muros incas, patrimonio cultural en general, que se encuentre a una distancia de 1 o 2 metros de la vía férrea.

Los resultados máximos encontrados a esta distancia, tabla 6, son muy altos y no puede pasar desapercibido, para poner en referencia al antecedente N°2, este menciona que el desplazamiento vertical que supere 1 cm, ya es dañino para la vivienda.



Glosario

Aceleración	La aceleración es el cambio de velocidad en un cuerpo.
Amplitud:	Distancia más lejana de la línea de equilibrio en una onda.
ANCOVA:	El análisis de covarianza es una fusión entre el ANOVA y la regresión lineal.
ANOVA:	Es un análisis de varianza, el cual prueba la hipótesis de que la media de dos o más poblaciones es igual, este a su vez, evalúa la importancia de los factores al comparar las medias de la variable de respuesta.
Confiabilidad:	Hace referencia al grado al que una escala produce resultados consistentes
Desplazamiento	El desplazamiento equivale al cambio de posición de un cuerpo en un intervalo de tiempo dado.
Frecuencia	Es el número de veces que se repite un fenómeno por unidad de tiempo.
Microtrrepidaciones:	Vibraciones de magnitud baja generadas normalmente artificialmente, tales como explosiones, tráfico vehicular, etc.
Ondas L:	Viajan sobre la tierra a partir de su epicentro. Movimiento de lado a lado.
Ondas P:	Ondas de tipo compresivo. atraviesan el planeta. Las ondas P en su propagación comprimen y dilatan periódicamente el material rocoso.
Ondas R:	Produce un movimiento de partícula del suelo elíptico y retrógrado.
Ondas S:	Ondas transversales, se mueve de forma perpendicular a su movimiento. La dirección de vibración es perpendicular a la dirección de propagación.
Ondas sísmicas:	Movimientos que se producen en la corteza terrestre, este movimiento es producto de la energía liberada a partir de un foco llamado hipocentro.
Periodo	Es el tiempo en el que tarda en dar una vibración una estructura en la forma que moviliza la mayor parte de su masa.
Sismógrafo:	Herramienta el cual se usa para medir movimientos generados en la tierra



Velocidad

La velocidad es el tiempo en el que un cuerpo se tarda en recorrer un espacio.



Conclusiones

1. No se demostró la hipótesis general que indica “Los andenes de Mask’abamba ubicados en el km 84 de la ruta ferroviaria Cusco-Machupicchu si son afectados de forma negativa por las microtrepidaciones producidas por el paso del tren”, debido a que en el estudio se demuestra la poca influencia de las ondas generadas por el paso del tren en los andenes, siendo estas comparadas con el mapa de aceleraciones máximas normalizadas, los resultados máximos obtenidos en el estudio (tabla 5) y los valores medios de cada parámetro estudiado.
2. No se logró demostrar la sub hipótesis N.º 01 que indica: “La magnitud del parámetro de velocidad en la zona influencia por el paso del tren aledaña a los andenes de Mask’abamba km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 13.2 mm/s (1.32 cm/s)”, esto se puede observar en la tabla 5, en la cual nos muestra el valor máximo de velocidad en la zona aledaña a la vía férrea, siendo este de 52.74 cm/s, también podemos observar la tabla 15, la cual nos muestra los valores medios de la velocidad en la zona aledaña a la vía férrea, siendo este un valor de 19.69 cm/s, siendo ambos valores mucho más altos que el establecido en un principio.
3. No se logró demostrar la sub hipótesis N.º 02 que indica: “La magnitud del parámetro de aceleración en la zona influencia por el paso del tren aledaña a los andenes de Mask’abamba km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 293 mg (0.293 cm/s²)”, esto se puede observar en la tabla 5, en la cual nos muestra el valor máximo de la aceleración en la zona aledaña a la vía férrea, siendo este de 53.32 cm/s², siendo este valor más alto que el establecido en un principio, también podemos observar la tabla 11, la cual nos muestra los valores medios de la aceleración en la zona aledaña a la vía férrea, siendo este un valor de 23.83 cm/s², siendo ambos valores mucho más altos que el establecido en un principio.
4. No se logró demostrar la sub hipótesis N.º 03 que indica: “La magnitud del parámetro de desplazamiento en la zona influencia por el paso del tren aledaña a los andenes de Mask’abamba km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 0.1 mm (0.01 cm)” esto se puede observar en la tabla 5, en la cual nos muestra el valor máximo del desplazamiento



en la zona aledaña a la vía férrea (valor máximo de desplazamiento en toda la investigación) siendo este 11.59 mm (1.159 cm), este valor es demasiado alto en comparación al establecido en un principio, también podemos observar la tabla 19, la cual nos muestra los valores medios del desplazamiento en la zona aledaña a la vía férrea, siendo este un valor de 5.45 mm (0.545 cm), siendo ambos valores mucho más altos que el establecido en un principio.

5. Se logró demostrar la sub hipótesis N.º 04 que indica: “El parámetro de velocidad en los andenes de Mask’abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación se redujo en una proporción del 47% con respecto al valor inicial, logrando un resultado de 6.204 mm/s (0.62 cm/s)”, ya que este valor logra reducirse, entre valores máximos (tabla 5), en un 81.31% pasando de 52.74 cm/s a 9.85 cm / s, y entre valores medios (tabla 15) en un 89.92%. pasando de 19.69 cm/s a 1.98 cm/s
6. Se logró demostrar la sub hipótesis N.º 05 que indica: “El parámetro de aceleración en los andenes de Mask’abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación se redujo en una proporción del 47% con respecto al valor inicial, logrando un resultado de 137.71 mg (0.137 cm/s²)” ya que este valor logra reducirse, entre valores máximos (tabla 5), en un 88.24% pasando de 53.32 cm/s² a 6.27 cm/s², y entre valores medios (tabla 11), en un 84.33% pasando de 23.83 cm/s² a 3.73 cm/s².

El valor medio de la aceleración en la andenería fue de mucha utilidad para ser comparado con el mapa de aceleraciones máximas normalizadas (figura 46), este mapa nos indica una aceleración de 0.16*G el cual tiene un valor de 156.32 cm/s², en un sismo de seis grados, la aceleración en la andenería tendría una aceleración de 0.0038 veces la gravedad, este representa el 0.38% de un sismo de seis grados. El cual no es para nada dañino y no representa ningún tipo de peligro para esta andenería.

7. Se logró demostrar la sub hipótesis N.º 06 que indica: “El parámetro de desplazamiento en los andenes de Mask’abamba influencia por el paso del tren ubicado en el km 84 de la ruta Cusco Machupicchu materia de la presente investigación tiene un valor por debajo de 10 mm (1 cm)” esto se puede observar en la tabla 5, en la cual nos muestra el valor máximo del desplazamiento en la



andenería de Mask'abamba, siendo este 2.83 mm (0.283 cm), este valor está por debajo comparado con el valor al establecido en un principio, también podemos observar la tabla 19, la cual nos muestra los valores medios del desplazamiento en la andenería de Mask'abamba, siendo este un valor de 0.66 mm (0.066 cm), siendo ambos valores mucho más bajos que el establecido en un principio.

Recomendaciones

1. Se recomienda una inspección previa de la zona de estudio debido a que puede presentarse algún inconveniente al momento de usar el sismógrafo.
2. Se recomienda una revisión general previa a la grabación de datos de las herramientas y equipos a usar.
3. Se recomienda para estudios similares realizar una calicata u otro método de estudio para la determinación del tipo de suelo en el que se hará el estudio.
4. Se recomienda tener precaución al momento de usar el software JamaSeis, ya que en este se editan datos los cuales se deben usar después en el código SedPro.m.
5. Se recomienda tener un conocimiento previo del software Matlab debido a la complejidad del mismo para tener un correcto uso de los códigos SedPro.m y rsac.m.
6. Se recomienda a la población en general, no construir estructuras cercanas a la vía férrea, ya que se demostró en la investigación, un desplazamiento vertical significativo a pocos metros de la vía férrea.
7. Se recomienda a Perú Rail tener en cuenta la cantidad máxima de coches que lleva una locomotora, ya que esta vendría a ser una de las fuentes principales que afectarán a las magnitudes estudiadas en la presente investigación, siendo la más dañina el desplazamiento vertical de suelo, de la misma forma, si se aumenta el tráfico ferroviario, las estructuras cercanas a la vía férrea con un máximo de 2 metros de distancia, se verán afectadas, dependiendo del tipo de suelo, y material de construcción de la estructura.



Referencias

- Abelardo Rodríguez, A. (2015). *Desarrollo y perspectivas de los sistemas de andenería de los andes centrales del Perú*. Cusco: Centro de Estudios Regionales Andinos Bartolomé de Las Casas.
- Addinsoft. (2022). *XLSTAT statistical and data analysis solution*. Obtenido de <https://www.xlstat.com/es>: <https://www.xlstat.com/es>
- Aki, K. (1957). Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 415-456.
- Allam, A., & Shima, E. (1967). An investigation into the nature of microtremor ground. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 1227 – 1253.
- Alva Hurtado, J. (2020). *Dinámica de Suelos*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería .
- Bark, H. (2019). Implementation of a Nonlinear Soil Material Model into a FEA Framework for the Simulation of the Seismic Soil-Structure Interaction. *Chair of Structural Mechanics Technical University Munich*.
- Bermúdez, M., Franco, L., & Martínez, S. E. (2002). Cálculo del período fundamental del suelo como herramienta para la microzonificación sísmica. *Coloquio Microzonificación Sísmica*.
- Gallego Silva, M., & Sarria Molina, A. (2006). *El concreto y los terremotos. Conceptos, comportamiento, patología y rehabilitación*. ASOCRETO.
- Gaspar, J. (julio de 2012). Sismología de América Central. *Artículo de la Red Temática Amenaza y Riesgo Sísmico*. Madrid, España.
- Gómez Soberón, M., Ordaz, M., & Tena Colunga, A. (2005). Leyes de atenuación en desplazamiento y aceleración para el diseño sísmico de estructuras con aislamiento en la costa del Pacífico. *XV CNIS Mexico* .
- Griem, W. (1998). *Geología estructural*. Chile.
- Gutenberg, B., & Richter, C. (1941). *Sismicidad de la tierra* . The society.
- iris. (2017). www.iris.edu. Obtenido de <https://www.iris.edu/hq/jamaseis/>: <https://www.iris.edu/hq/jamaseis/>
- Kanai, K., & Tanaka, T. (1961). Microtremors. *Bulletin of Earthquakes Research Institute*, 97-114.
- Kanao, M. (2017). Characteristics of Seismic Wave Propagation of Harmonic Tremors Observed at the Margin in the Lützow-Holm Bay, East Antarctica. En T. Zouaghi, *Earthquakes - Tectonics, Hazard and Risk Mitigation*.
- Kuroiwa, J. (1992). *Escala de intensidades modificada para los países andinos* . Lima: OMS Perú .
- Lay, T., & Wallace, T. (1995). *Modern Global Seismology*.
- Lazcano, S. (2012). Perfiles de velocidad de onda de corte y análisis del comportamiento sísmico. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica* .
- Mallafré, J. (febrero de 2015). Reducción de las vibraciones producidas por ferrocarriles mediante bloques de hormigón enterrados junto a la vía. *Tesis de especialidad*. Barcelona, España.



- Maps, G. (junio de 2015). *Google maps*. Obtenido de https://www.google.com/maps/@-13.2629612,-72.2604921,2a,75y,28.47h,85.62t/data=!3m7!1e1!3m5!1sRfn6KrnJC1T9Z7Xt-i0zQ!2e0!6shttps:%2F%2Fstreetviewpixels-pa.googleapis.com%2Fv1%2Fthumbnail%3Fpanoid%3DRfn6KrnJC1T9Z7Xt-i0zQ%26cb_client%3Dsearch.revgeo_and_fe
- Ministerio de Cultura. (22 de Julio de 2004). Diario Oficial El Peruano. Lima, Peru.
- Moncayo Theurer, M. (2016). Análisis comparativo entre 13 leyes de atenuación y los registros de un sismo de grado 7.1 e n magnitud Richter ocurrido en Japón. *Universidad de Guayaqui*.
- Nakamura, Y. (1989). *Method for dynamic Characteristics estimation of Subsurface using microtremor on the Ground Surface*. Tokyo: Railway Technical Research Institute.
- O'Haver , T. (2021). Harmonic analysis and the Fourier Transform. *University of Maryland*.
- Ólafsdóttir, E. (2016). Multichannel Analysis of Surface. *University of Iceland*.
- Pontificia Universidad Católica del Perú. (s.f.). *Mapa de aceleraciones maximas normalizadas*. Lima .
- Protze, J. P. (2016). *Arquitectura y construcción incas en Ollantaytambo*. Cusco: Fondo Editorial de la PUCP.
- RaspberryShake. (s.f.). *raspberrysshake*. Obtenido de raspberrysshake: <https://raspberrysshake.org>
- Robles Mendoza, A., & Jimenez Velazquez, J. C. (2017). *Metodología para realizar estudios de microzonificación sísmica*. Jefatura de Investigación Aplicada a Riesgos Sísmicos.
- Rodriguez Segurado, M. (2005). Caracterización de la Respuesta Sísmica de los Suelos. Aplicación a la ciudad de Barcelona. *Tesina*. Tesina, Barcelona, España.
- Sarria Molina, A., & Gallego Silva, M. (2010). *El concreto y los terremotos: conceptos, comportamientos, patología y rehabilitación*. Bogotá: Asocreto Bogotá.
- Stoll, R., & Kald, L. (1977). Threshold of Dilation under Cyclic Loading. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*.
- Unidas, O. d. (2004). *Terminología sobre reduccion del Riesgo de Desastres*.
- USGS. (23 de junio de 2011). *USGS*. Obtenido de USGS: <https://www.usgs.gov>
- Vacca Gámez, H., Rodríguez, J. A., & Ruiz Valencia, D. (Abril de 2011). Medición e interpretación de vibraciones producidas por el tráfico en Bogotá D.C. *Articulo de investigacion*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Vucetic, M., & Dobry, R. (enero de 1991). Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response. *Articulo* . California, Estados Unidos.
- Zhao, L., Liang, R., Shi, X., Dai, K., Cheng, J., & Cao, J. (agosto de 2021). Detecting and Analyzing the Displacement of a Small-Magnitude Earthquake Cluster in Rong County, China by the GACOS Based InSAR Technology. *Articulo de investigacion*. Chengdu University of Technology, Chengdu, China.



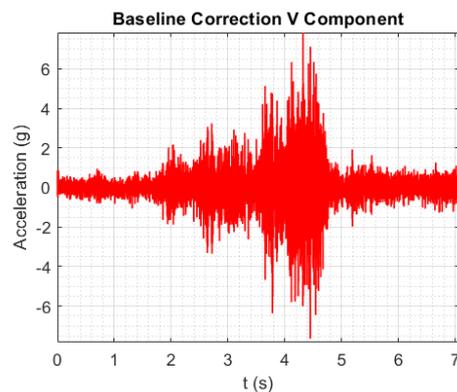
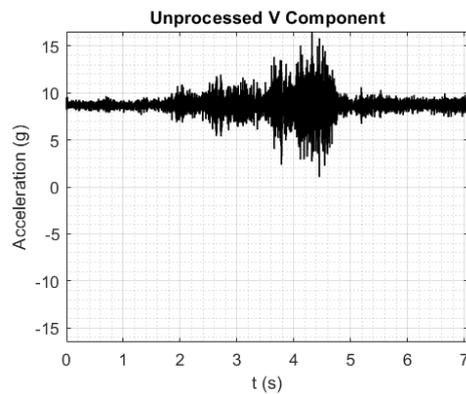
VI. Anexos

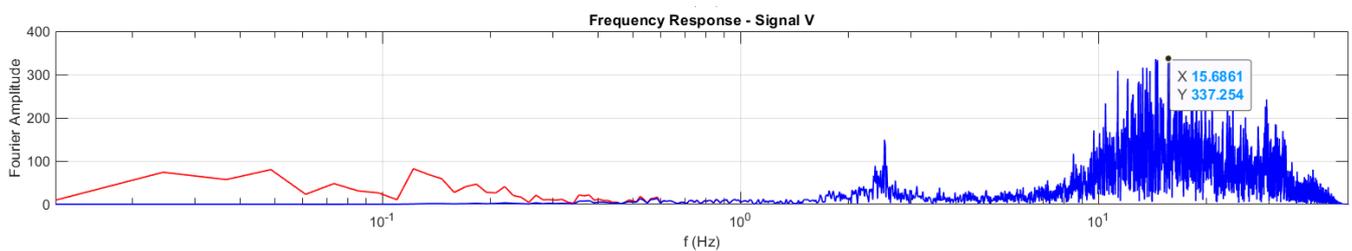
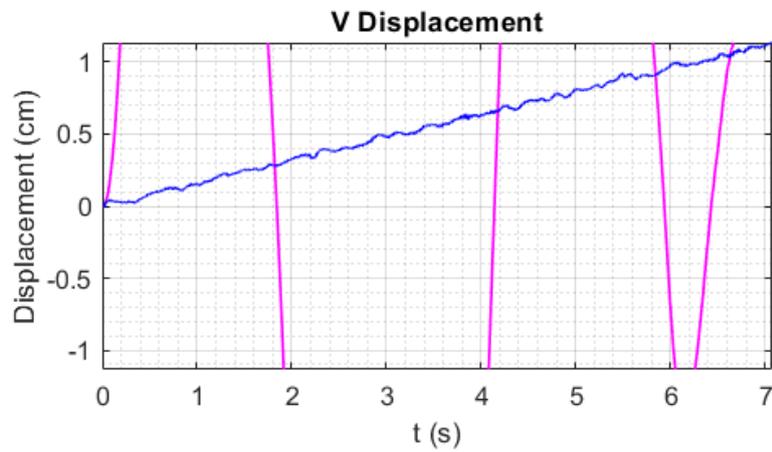
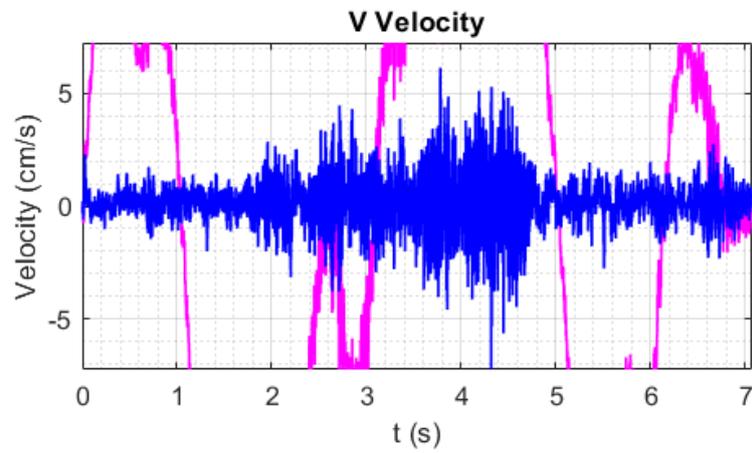
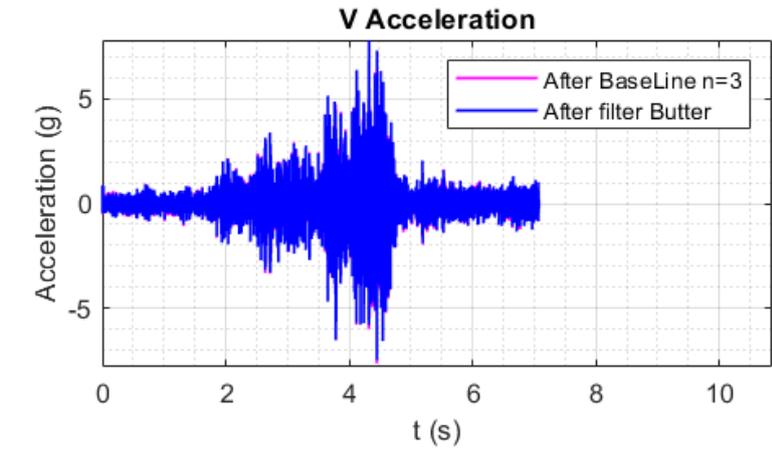
Detalles de análisis de cada observación

• Observación 01

```
Editor - C:\Users\AXEL\Desktop\UAMASEIS\rsac.m
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 if h(106) == 1
87     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 else
89     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 %-----
94 h(303) = 77;
95 h(304) = 73;
96 h(305) = 75;
97 h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 %-----
101 OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 if h(80) < 306
107     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 end
110
111 fclose(fid);
112
113 varargout{nrecs} = OUTPUT;
114
115 end
```

```
Command Window
0.0319 0.8500 0
0.0319 0.8438 0
0.0320 0.8148 0
0.0320 0.8133 0
0.0320 0.8811 0
0.0320 0.9039 0
0.0320 0.8576 0
0.0320 0.8137 0
0.0320 0.7981 0
0.0320 0.8362 0
fx >>
```





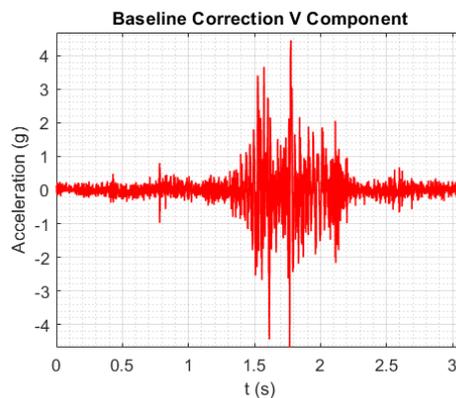
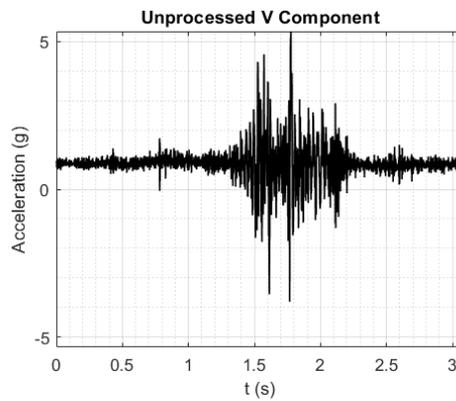


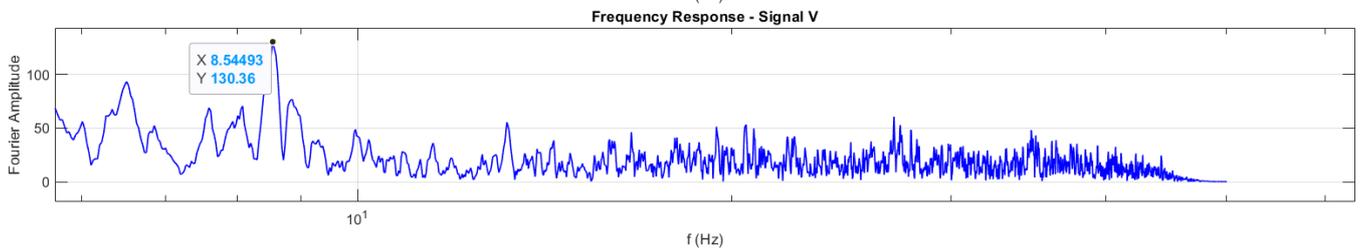
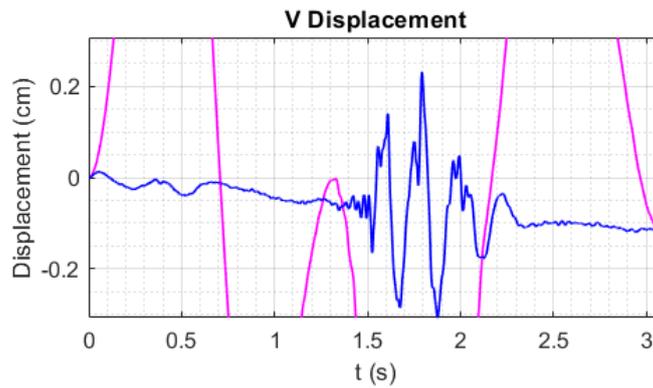
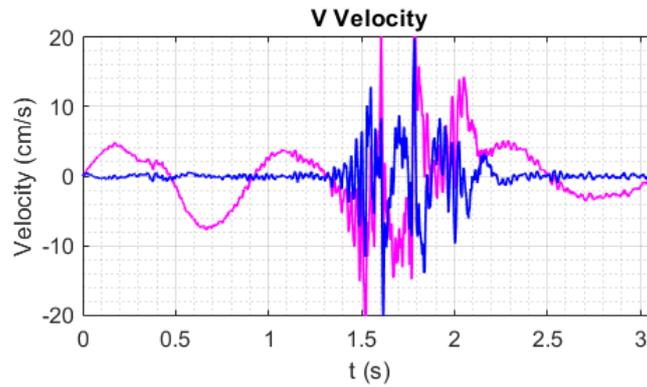
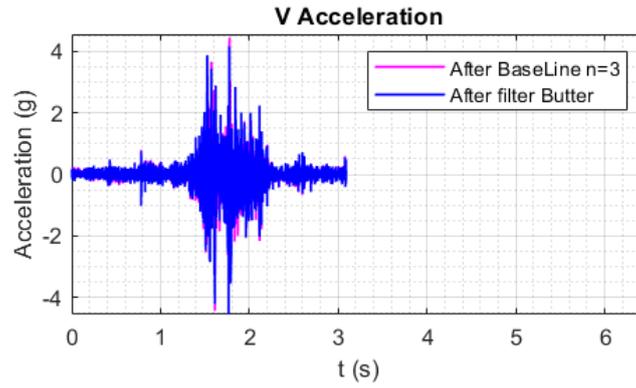
- Observación 02

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
-
- if h(106) == 1
-     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
- else
-     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
- end
-
- % add header signature for testing files for SAC format
- %-----
- h(303) = 77;
- h(304) = 73;
- h(305) = 75;
- h(306) = 69;
-
- % arrange output files
- %-----
- OUTPUT(:,1) = XARRAY;
- OUTPUT(:,2) = YARRAY;
- OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
-
- %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
- if h(80) < 306
-     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
-     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
- end
-
- fclose(fid);
-
- varargout(nrecs) = OUTPUT;
-
- end
```

Command Window

0.0306	0.7643	0
0.0306	0.6988	0
0.0306	0.7914	0
0.0306	0.8550	0
0.0306	0.9031	0
0.0306	0.8542	0
0.0306	0.6926	0
0.0306	0.7229	0
0.0306	0.8866	0
0.0306	0.9249	0



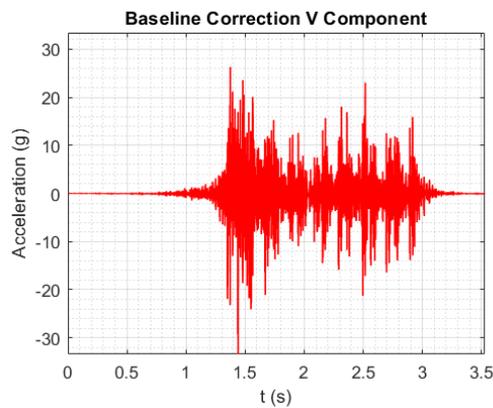
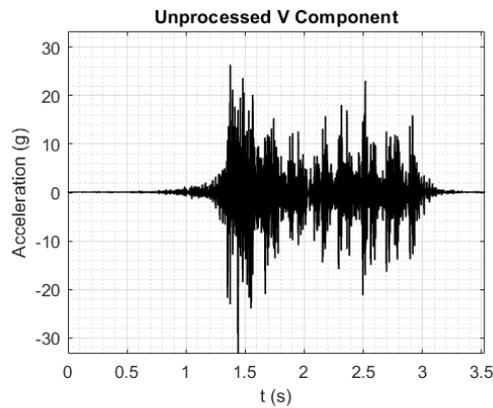


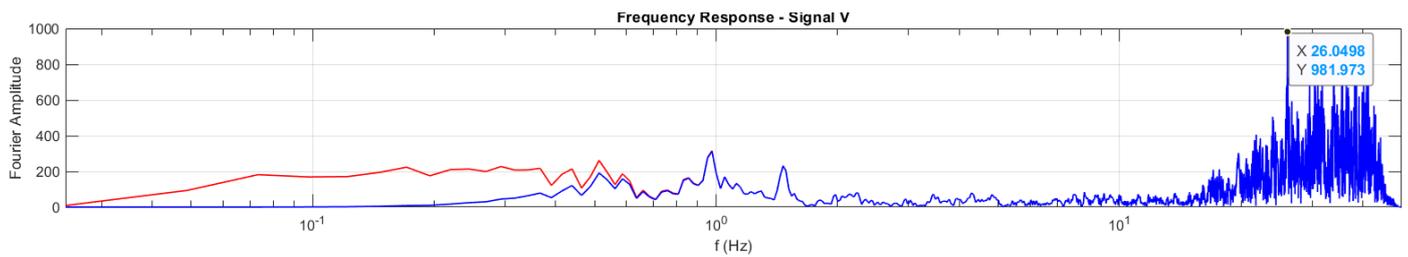
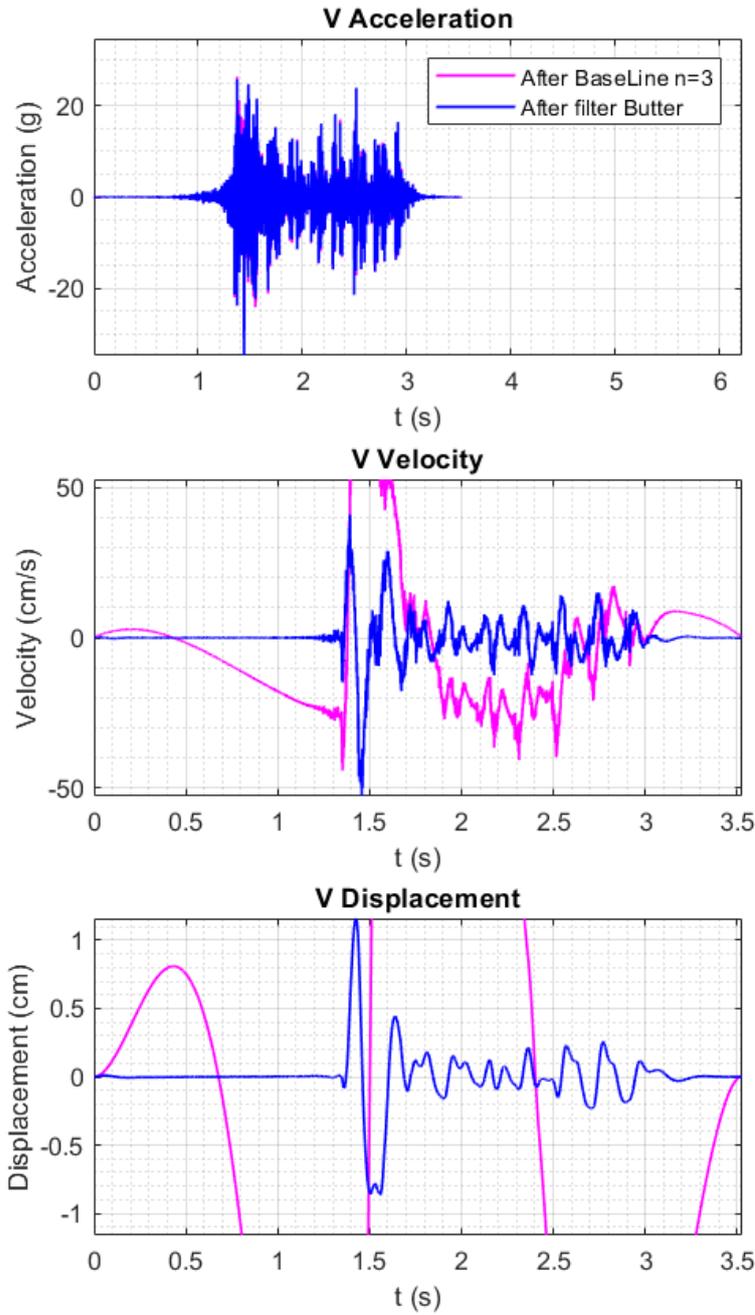


- Observación 03

```
Editor - C:\Users\AXEL\Desktop\UAMASEIS\rsac.m
SedPro.m x FFTSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 if h(106) == 1
87     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 else
89     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 -----
94 h(303) = 77;
95 h(304) = 73;
96 h(305) = 75;
97 h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 -----
101 OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 if h(80) < 306
107     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 end
110
111 fclose(fid);
112
113 varargout{nrecs} = OUTPUT;
114
115 end

Command Window
0.0003  0.0078  0
0.0003  0.0079  0
0.0003  0.0083  0
0.0003  0.0095  0
0.0003  0.0094  0
0.0003  0.0080  0
0.0003  0.0086  0
0.0003  0.0094  0
0.0003  0.0086  0
0.0003  0.0078  0
>>
```

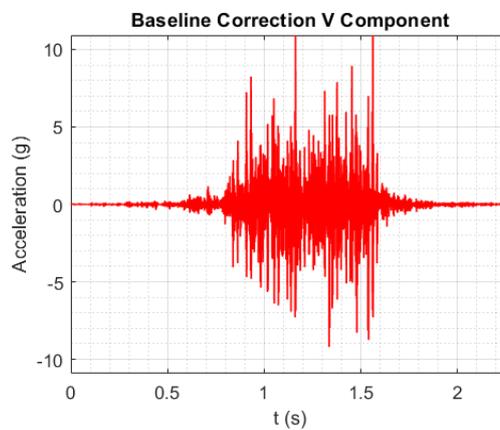
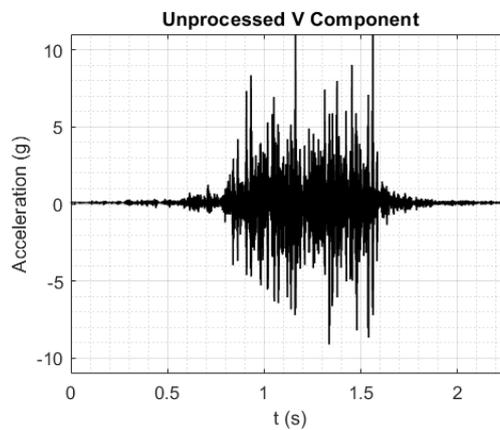


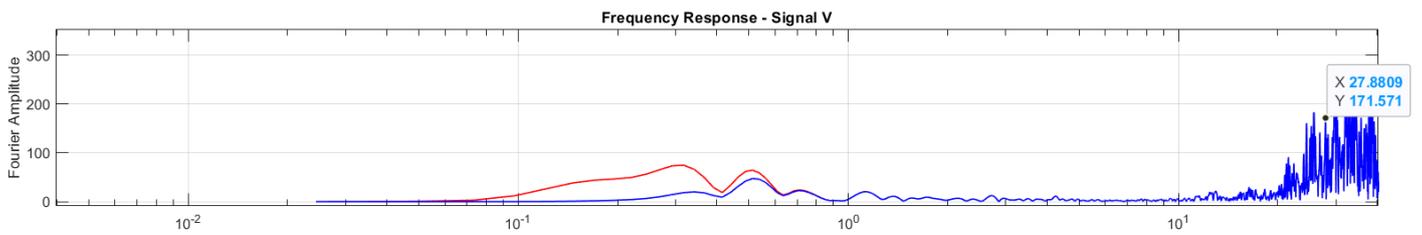
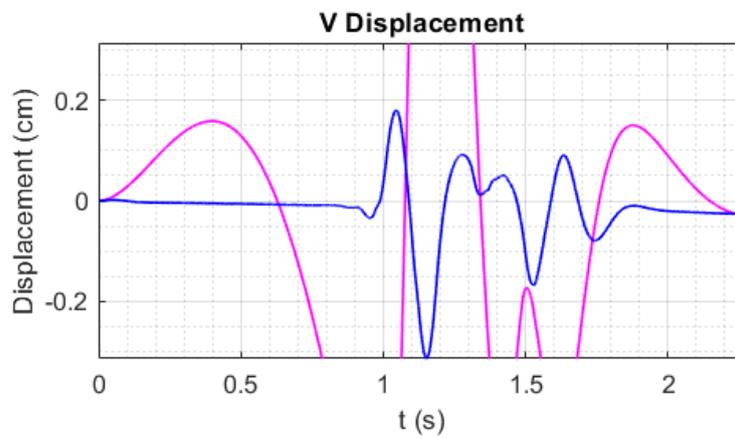
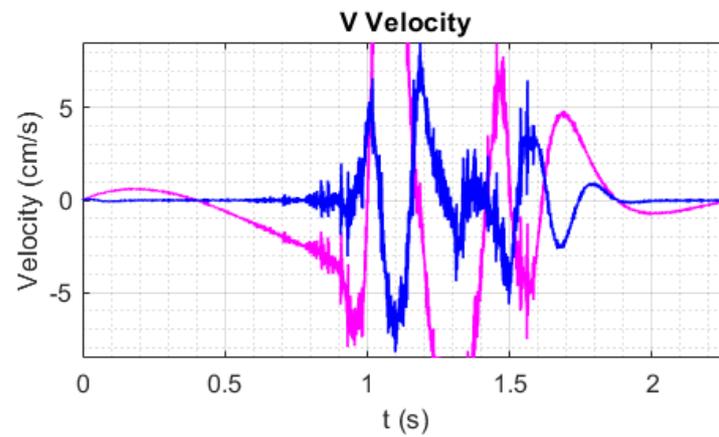
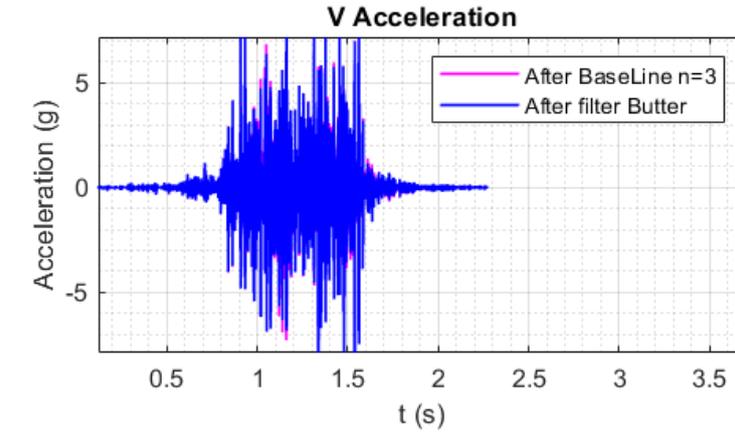




- Observación 04

```
SedPro.m x FFTSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 - if h(106) == 1
87 -     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 - else
89 -     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 - end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 %-----
94 - h(303) = 77;
95 - h(304) = 73;
96 - h(305) = 75;
97 - h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 %-----
101 - OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 - OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 - OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 - if h(80) < 306
107 -     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108 -     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 - end
110
111 - fclose(fid);
112
113 varargout(nrecs) = OUTPUT;
114
115 - end
command Window
0.0001 0.0085 0
0.0001 0.0074 0
0.0001 0.0078 0
0.0001 0.0082 0
0.0001 0.0080 0
0.0001 0.0082 0
0.0001 0.0089 0
0.0001 0.0099 0
0.0001 0.0099 0
0.0001 0.0099 0
f >>
```







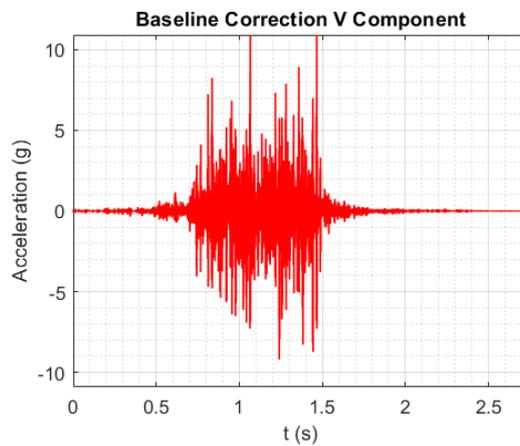
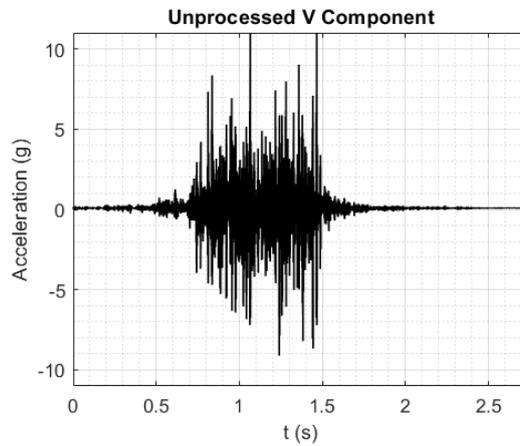
- Observación 05

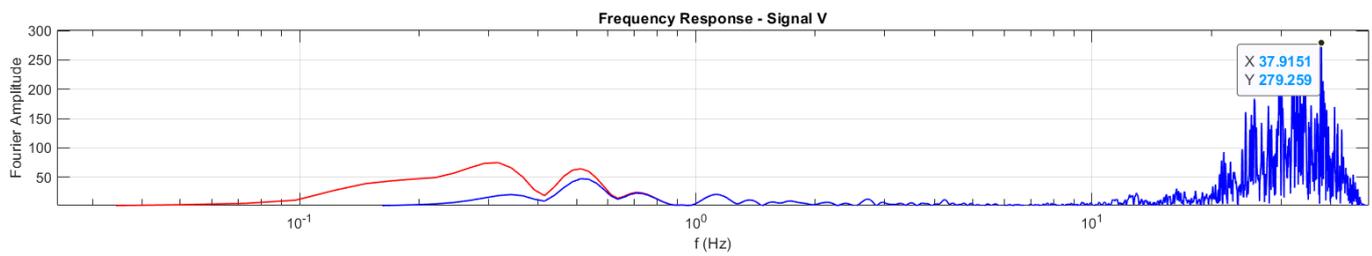
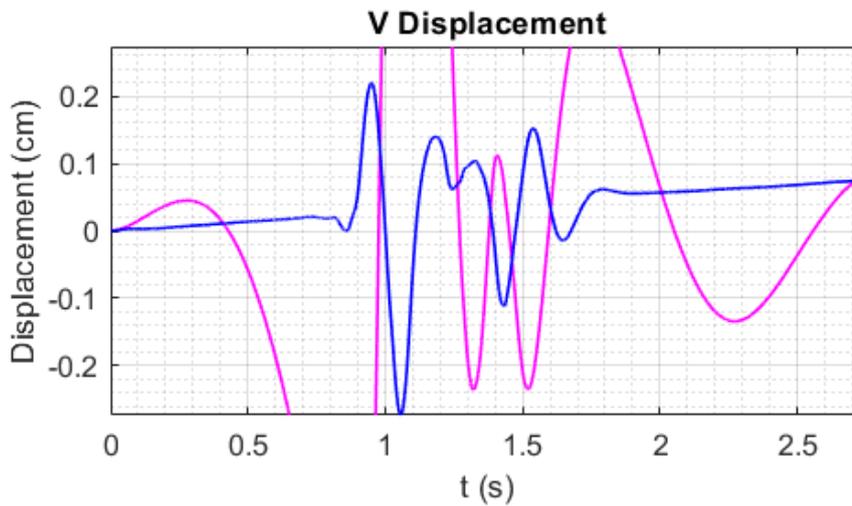
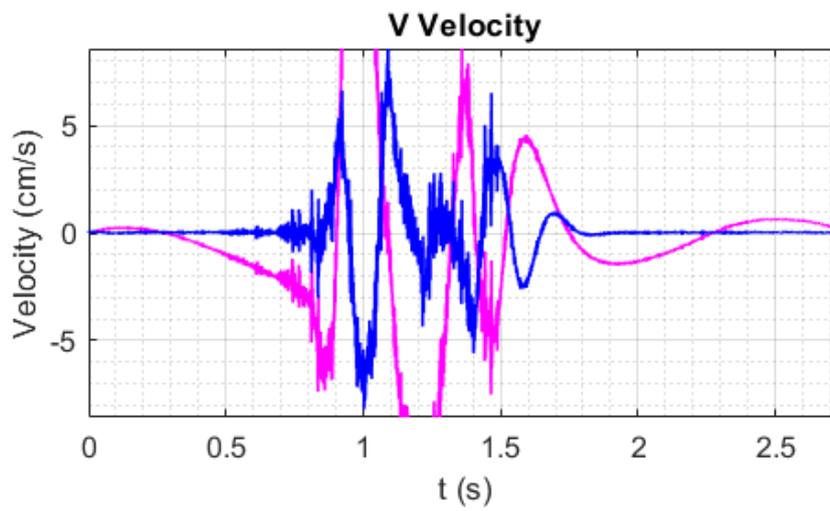
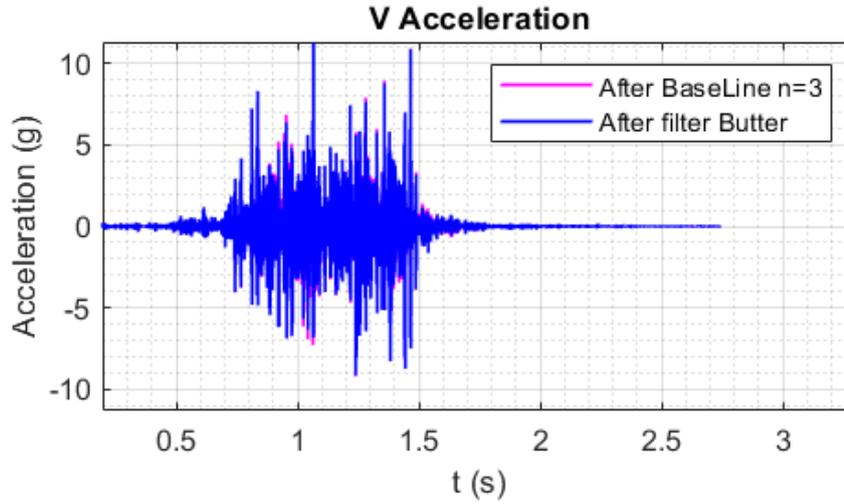
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85 -
86 -   if h(106) == 1
87 -       XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 -   else
89 -       error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 -   end
91 -
92 -   % add header signature for testing files for SAC format
93 -   %-----
94 -   h(303) = 77;
95 -   h(304) = 73;
96 -   h(305) = 75;
97 -   h(306) = 69;
98 -
99 -   % arrange output files
100 -  %-----
101 -  OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 -  OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 -  OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104 -
105 -  %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 -  if h(80) < 306
107 -      OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108 -      OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 -  end
110 -
111 -  fclose(fid);
112 -
113 -  varargout{nrecs} = OUTPUT;
114 -
115 -  end
```

Command Window

0.0003	0.0120	0
0.0003	0.0107	0
0.0003	0.0075	0
0.0003	0.0079	0
0.0003	0.0075	0
0.0003	0.0088	0
0.0003	0.0071	0
0.0003	0.0000	0
0.0003	0.0047	0
0.0003	0.0122	0

fx >>







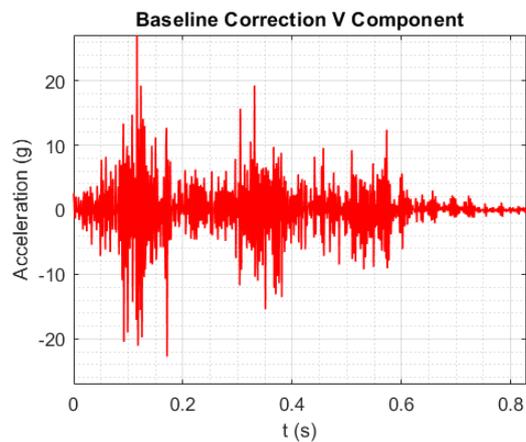
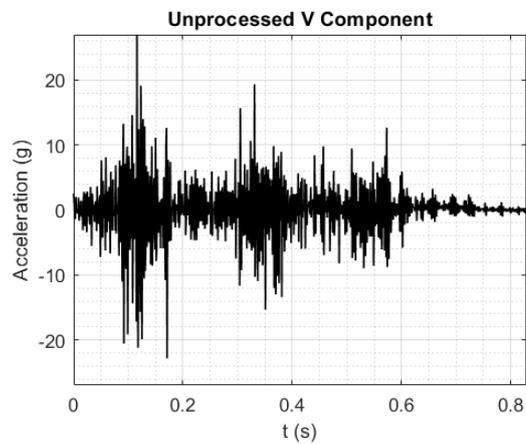
• Observación 06

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 if h(106) == 1
87     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 else
89     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 -----
94 h(303) = 77;
95 h(304) = 73;
96 h(305) = 75;
97 h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 -----
101 OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 if h(80) < 306
107     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 end
110
111 fclose(fid);
112
113 varargout(nrecs) = OUTPUT;
114
115 end
```

Command Window

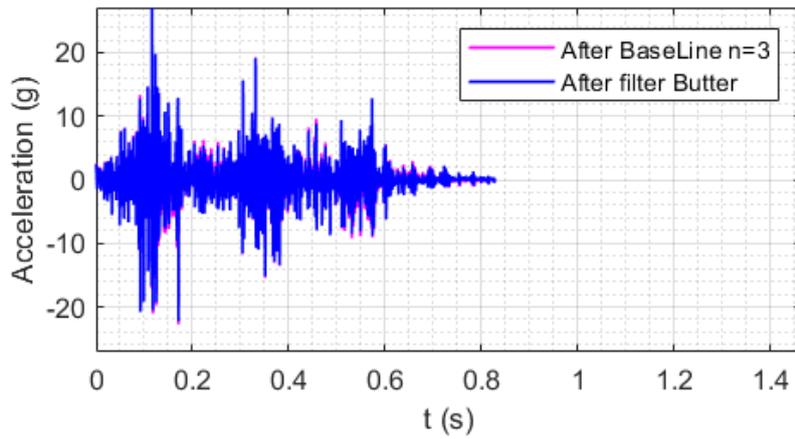
0.0003	-0.1080	0
0.0003	-0.1069	0
0.0003	-0.1038	0
0.0003	-0.1047	0
0.0003	-0.1028	0
0.0003	-0.1018	0
0.0003	-0.1017	0
0.0003	-0.0991	0
0.0003	-0.0994	0
0.0003	-0.0986	0

fx >>

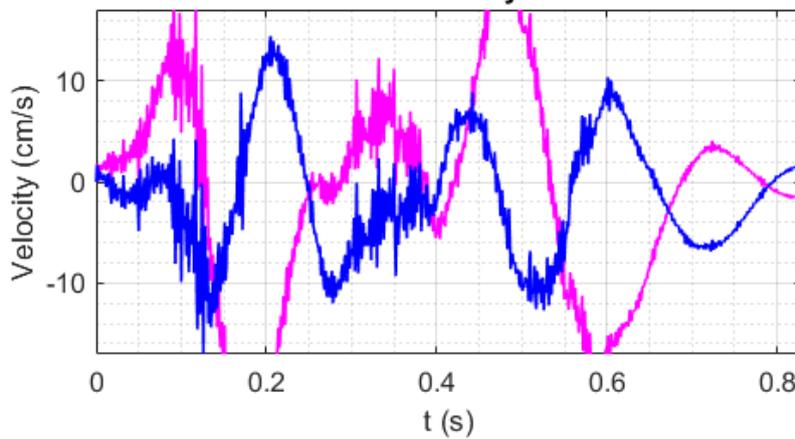




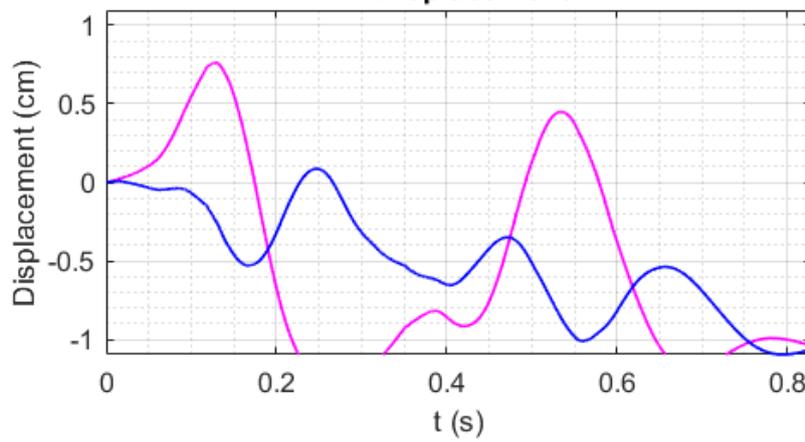
V Acceleration



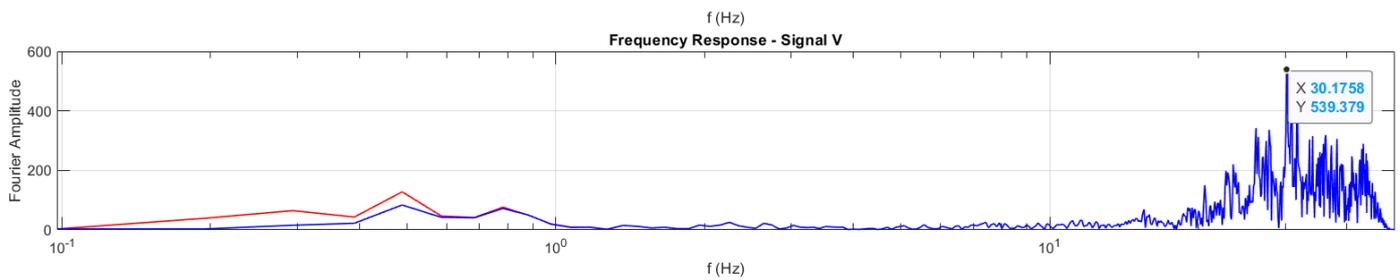
V Velocity



V Displacement



Frequency Response - Signal V



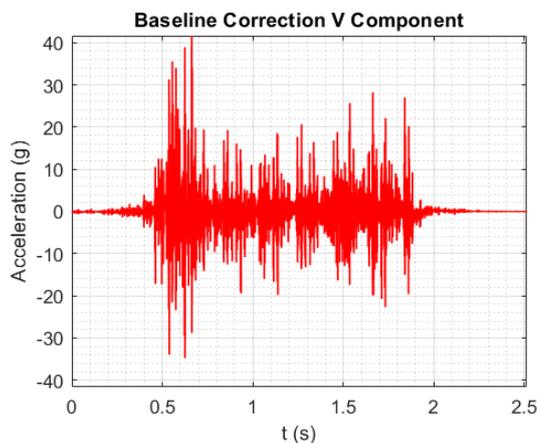
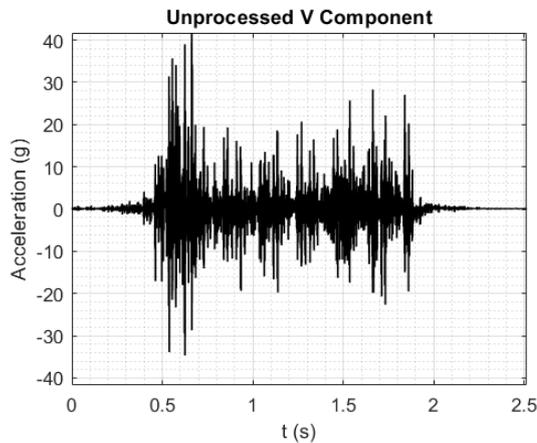


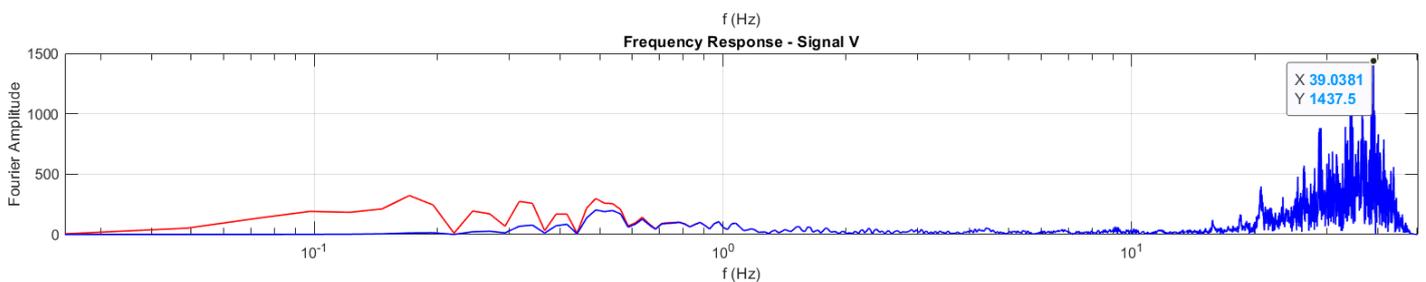
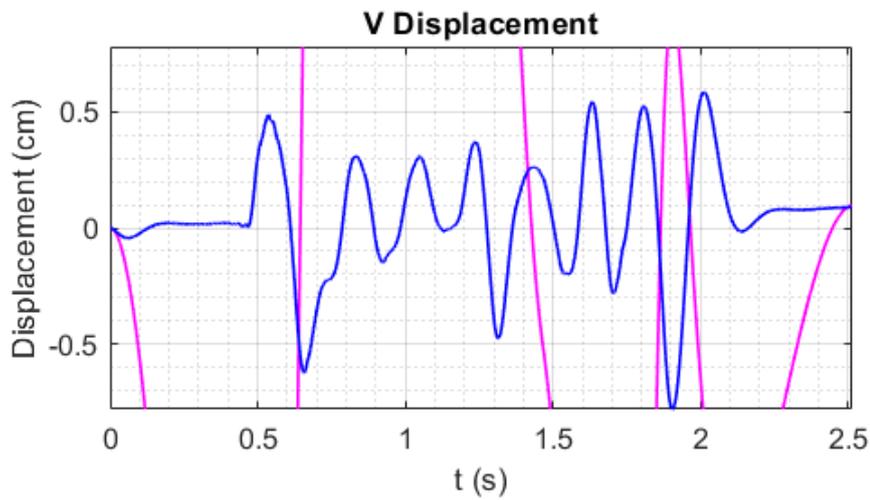
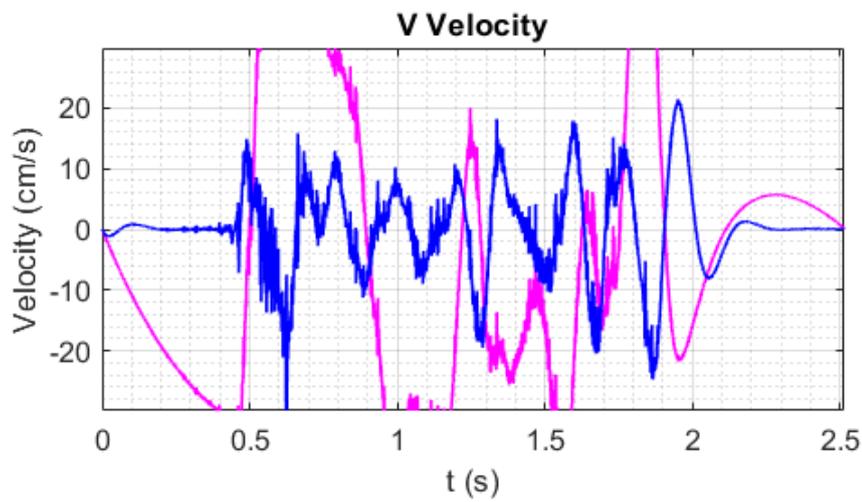
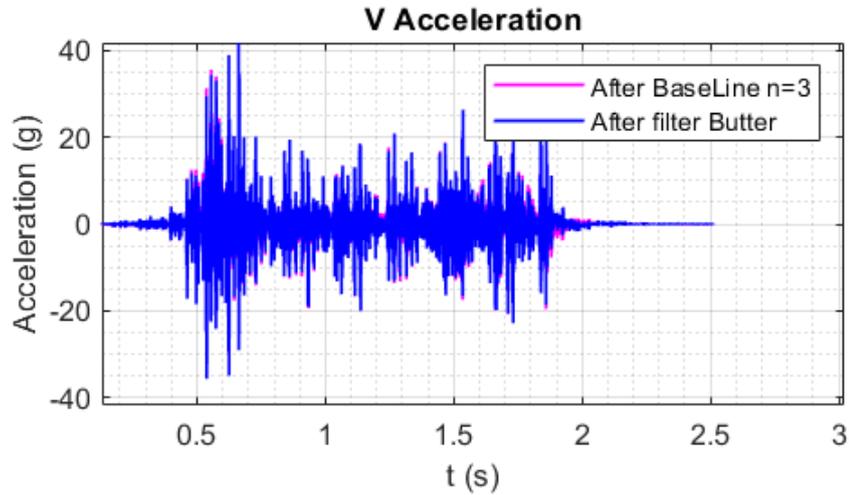
• Observación 07

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 - if h(106) == 1
87 -     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 - else
89 -     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 - end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 %-----
94 - h(303) = 77;
95 - h(304) = 73;
96 - h(305) = 75;
97 - h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 %-----
101 - OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 - OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 - OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 - if h(80) < 306
107 -     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108 -     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 - end
110
111 - fclose(fid);
112
113 - varargout{nrecs} = OUTPUT;
114
115 - end
```

Command Window

0.0003	0.0087	0
0.0003	0.0097	0
0.0003	0.0089	0
0.0003	0.0082	0
0.0003	0.0090	0
0.0003	0.0084	0
0.0003	0.0082	0
0.0003	0.0088	0
0.0003	0.0099	0
0.0003	0.0098	0





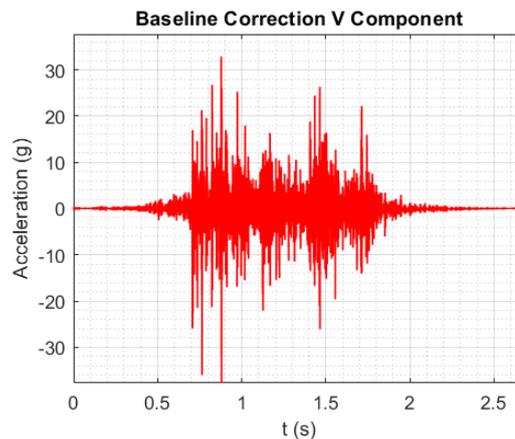
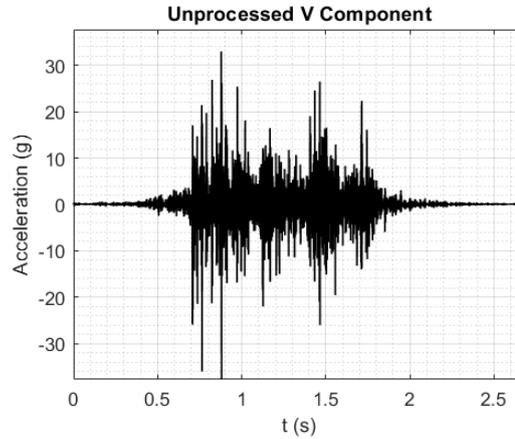


• Observación 08

```
SedPro.m x FSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85 -
86 - if h(106) == 1
87 -     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 - else
89 -     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 - end
91 -
92 - % add header signature for testing files for SAC format
93 - %-----
94 - h(303) = 77;
95 - h(304) = 73;
96 - h(305) = 75;
97 - h(306) = 69;
98 -
99 - % arrange output files
100 - %-----
101 - OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 - OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 - OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104 -
105 - %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 - if h(80) < 306
107 -     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108 -     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 - end
110 -
111 - fclose(fid);
112 -
113 - varargout{nrecs} = OUTPUT;
114 -
115 - end
```

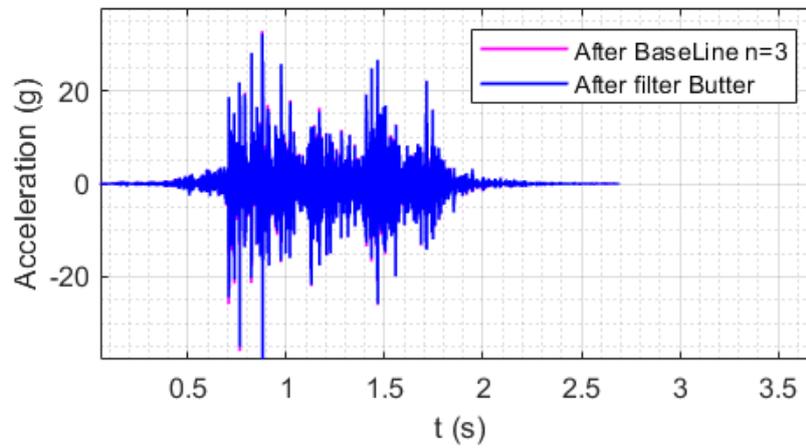
Command Window

0.0002	0.0109	0
0.0002	0.0083	0
0.0002	0.0069	0
0.0002	0.0090	0
0.0002	0.0093	0
0.0002	0.0086	0
0.0002	0.0052	0
0.0002	0.0108	0
0.0002	0.0110	0
0.0002	0.0102	0

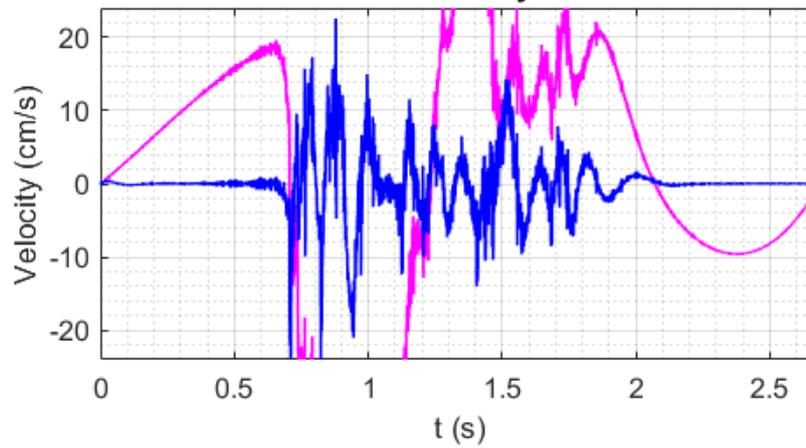




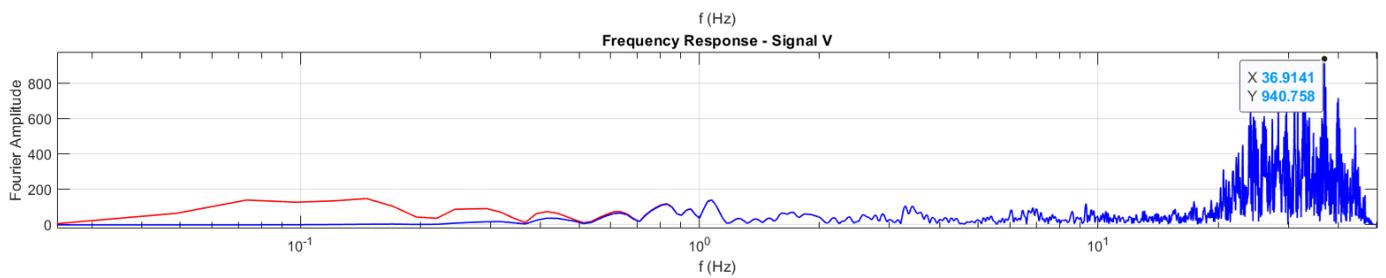
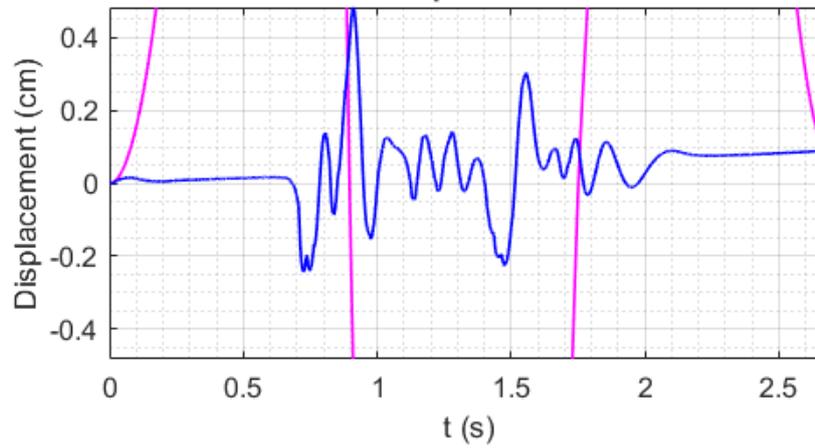
V Acceleration



V Velocity



V Displacement





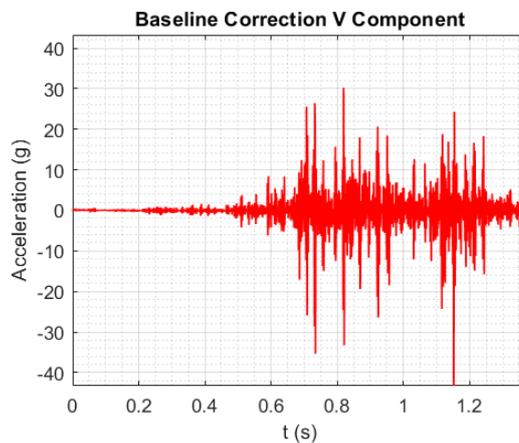
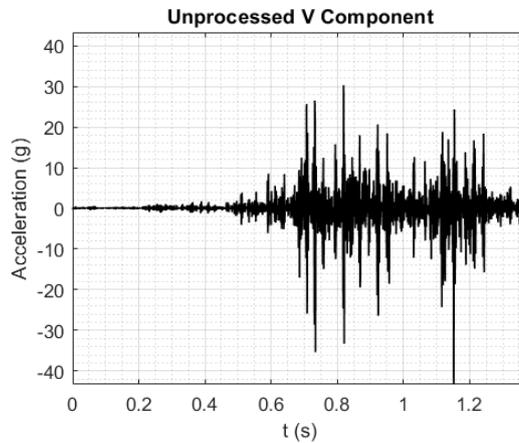
- Observación 09

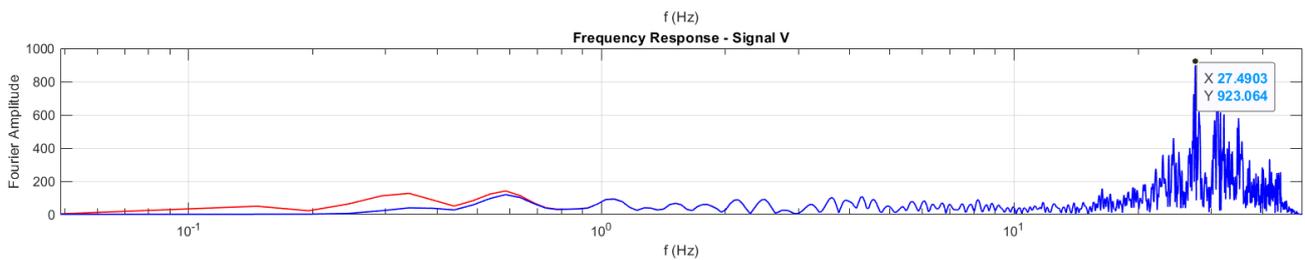
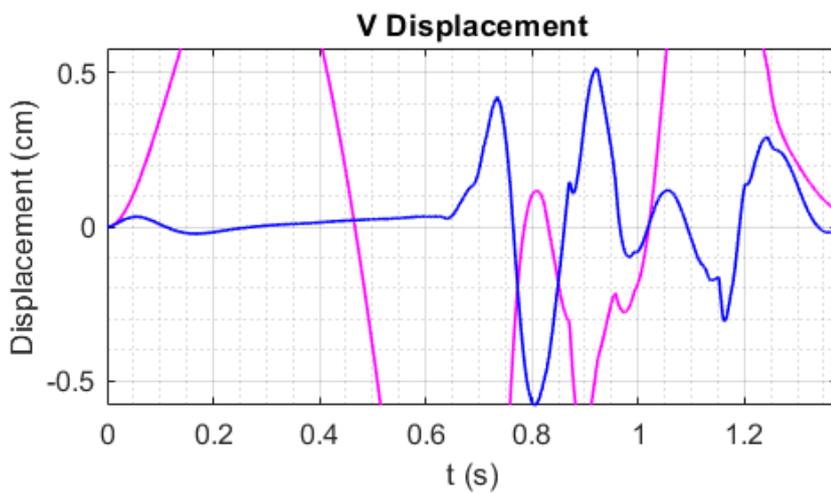
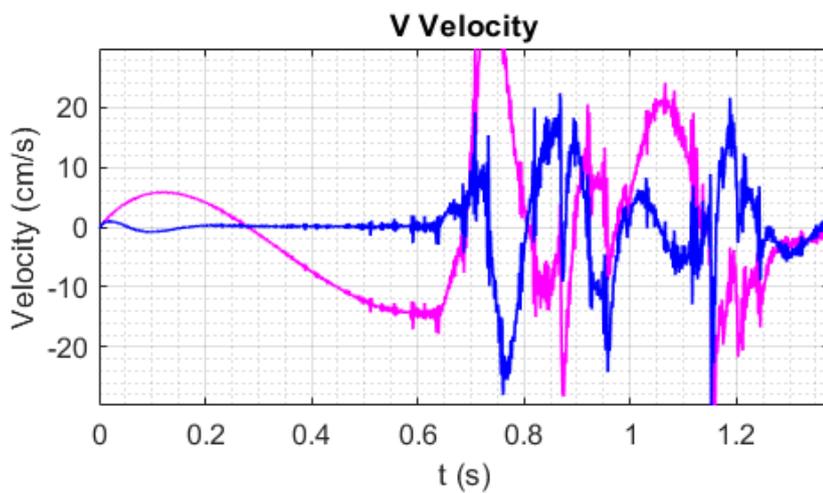
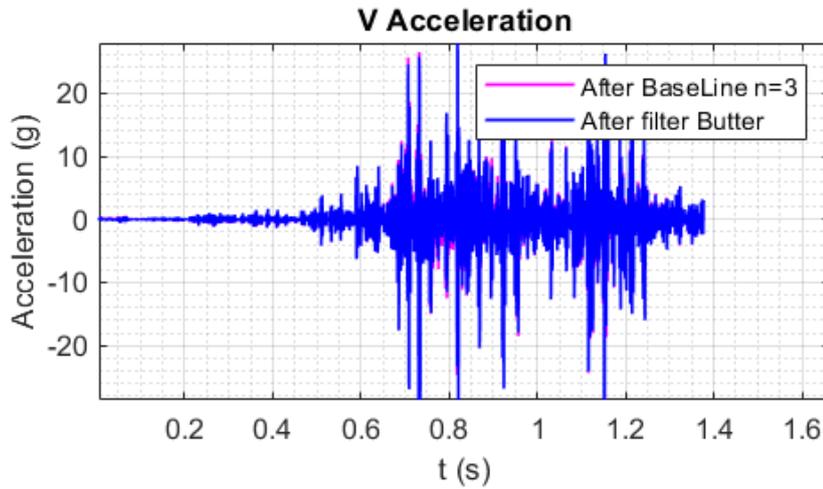
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
85
86 if h(106) == 1
87     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 else
89     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 %-----
94 h(303) = 77;
95 h(304) = 73;
96 h(305) = 75;
97 h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 %-----
101 OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 if h(80) < 306
107     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 end
110
111 fclose(fid);
112
113 varargin{inrecs} = OUTPUT;
114
115 end
```

Command Window

0.0002	0.0069	0
0.0002	0.0069	0
0.0002	0.0086	0
0.0002	0.0095	0
0.0002	0.0083	0
0.0002	0.0092	0
0.0002	0.0104	0
0.0002	0.0086	0
0.0002	0.0080	0
0.0002	0.0078	0

fₓ >>

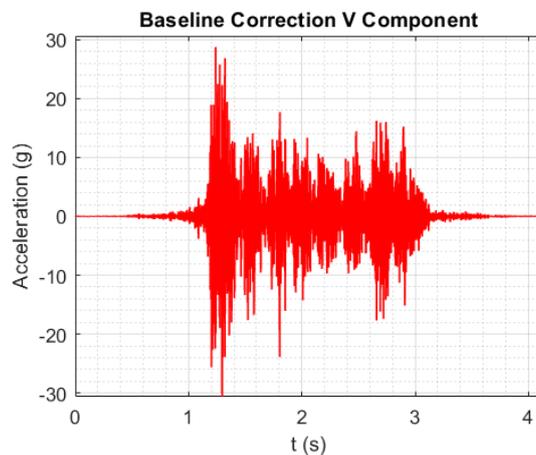
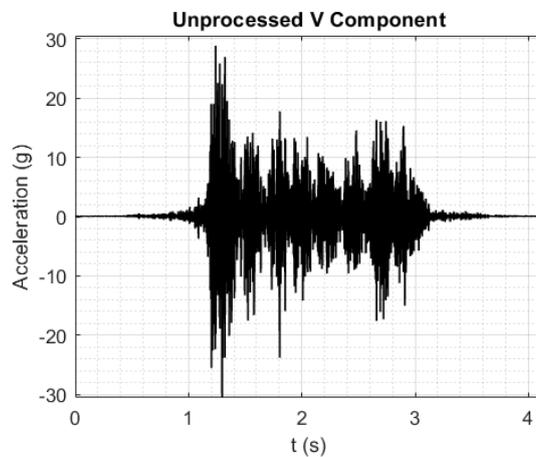






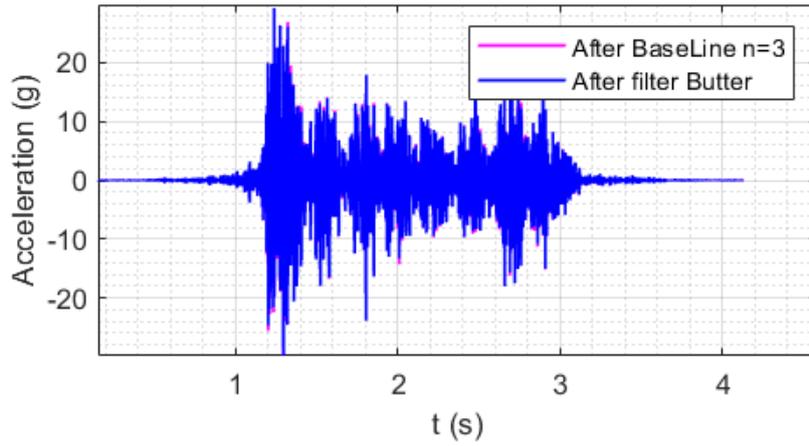
• Observación 10

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1
2 %% Seismic Data Processing "SedPro"
3 % Analysis of Colombian ground motion records
4 % Javier Ardila & Angélica Fernández
5 % Project advisors : Professors José Benjumea & Gustavo Chio
6 % Universidad Industrial de Santander - School of Civil Engineering
7
8 close all; clc; clear;
9 disp('----- SEISMIC DATA PROCESSING SedPro -----');
10 set(0,'defaultAxesFontName', 'Humanst521 BT');
11 set(0,'defaultTextFontName', 'Humanst521 BT');
12
13 %% Scale Factor
14
15 ScaleFactor=0.001; %Amplitude Scale Factor
16 dt=0.001; %Recorded time step (s)
17 gravity= 977; % (cm/s2)
18
19 %% Input Components
20
21 % Dialog box to select the file
22 [file,route]=uigetfile('*.','OPEN FILE');
23 if file==0
24 return;
25 else
26 % Open the file and read 3 columns of data after 20 header lines
27 % * .ANC file of the "Servicio Geológico Colombiano", SGC
28 fid =fopen([route file],'r');
29 A=textscan(fid,'%f %f %f','headerlines',5);
30 A=cell2mat(A);fclose(fid);display(A);
31 end
Command Window
0.0002 0.0091 0
0.0002 0.0061 0
0.0002 0.0080 0
0.0002 0.0097 0
0.0002 0.0080 0
0.0002 0.0066 0
0.0002 0.0082 0
0.0002 0.0109 0
0.0002 0.0091 0
0.0002 0.0070 0
f >>
```

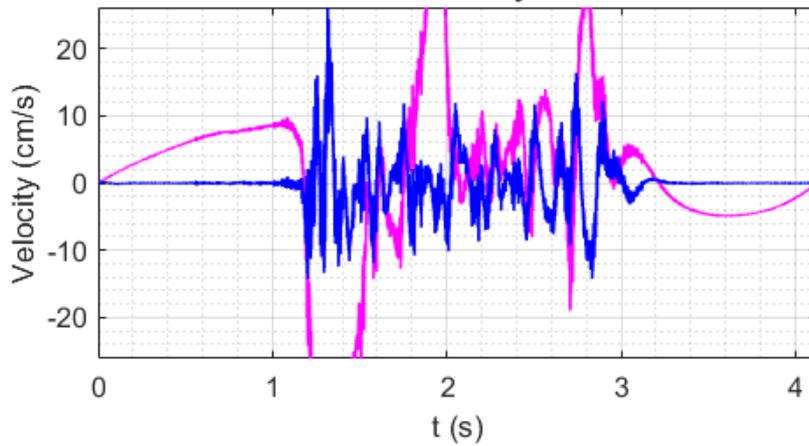




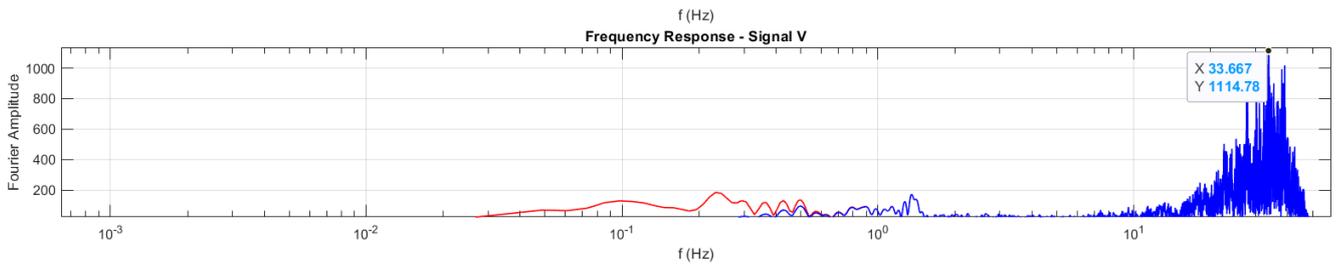
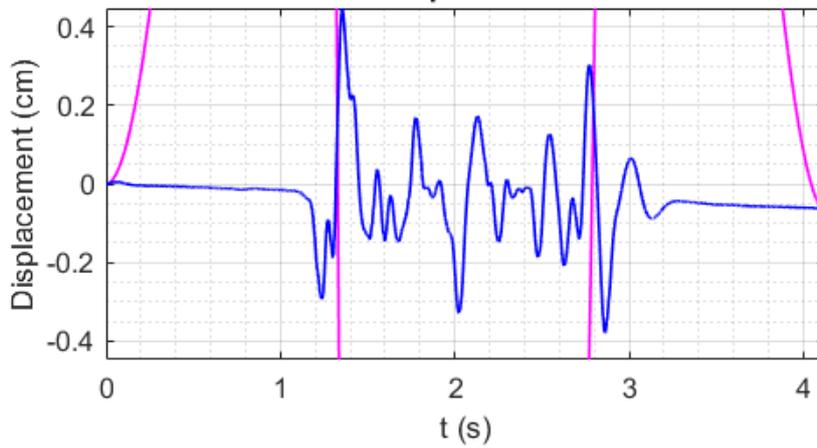
V Acceleration



V Velocity



V Displacement





• Observación 11

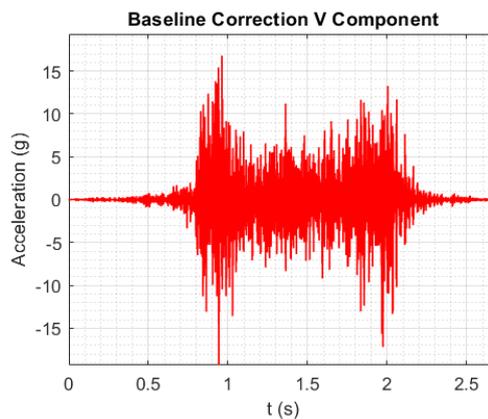
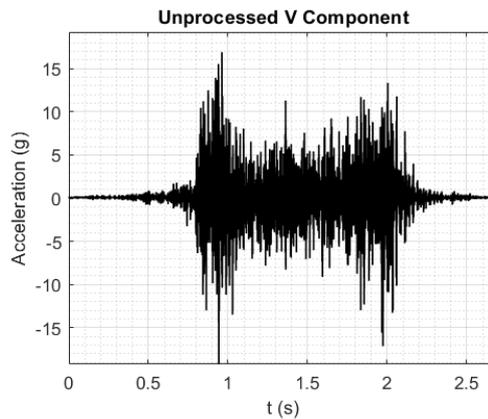
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1
2 %% Seismic Data Processing "SedPro"
3 % Analysis of Colombian ground motion records
4 % Javier Ardila & Angélica Fernández
5 % Project advisors : Professors José Benjumea & Gustavo Chio
6 % Universidad Industrial de Santander - School of Civil Engineering
7
8 close all; clc; clear;
9 disp('----- SEISMIC DATA PROCESSING SedPro -----');
10 set(0,'defaultAxesFontName','Humanst521 BT');
11 set(0,'defaultTextFontName','Humanst521 BT');
12
13 %% Scale Factor
14
15 ScaleFactor=0.001; %Amplitude Scale Factor
16 dt=0.001; %Recorded time step (s)
17 gravity= 977; % (cm/s2)
18
19 %% Input Components
20
21 % Dialog box to select the file
22 [file,route]=uigetfile('*.ANC','OPEN FILE');
23 if file==0
24     return;
25 else
26     % Open the file and read 3 columns of data after 20 header lines
27     % * .ANC file of the "Servicio Geológico Colombiano", SGC
28     fid =fopen([route file],'r');
29     A=textscan(fid,'%f %f %f','headerlines',5);
30     A=cell2mat(A);fclose(fid);display(A);
31     end

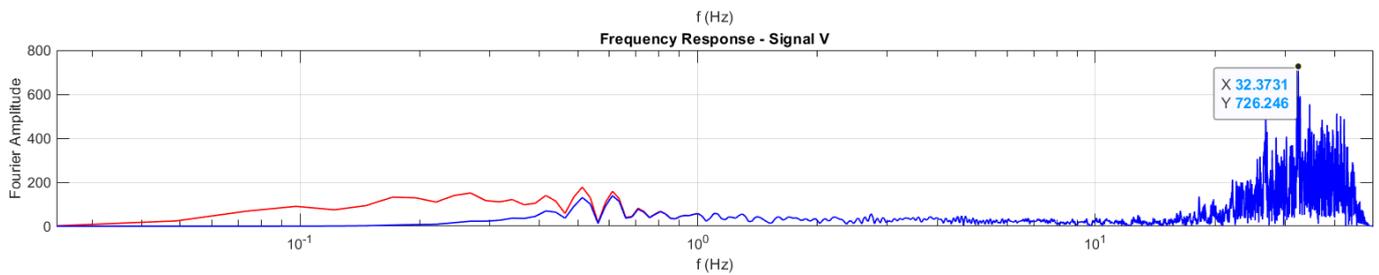
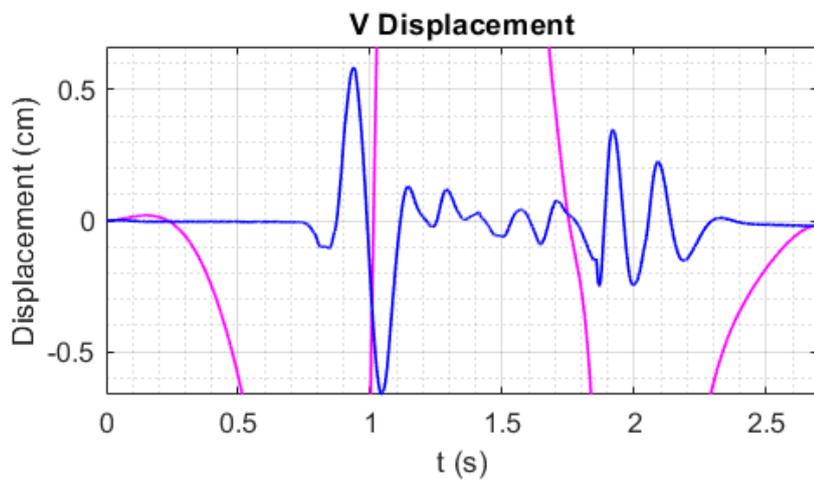
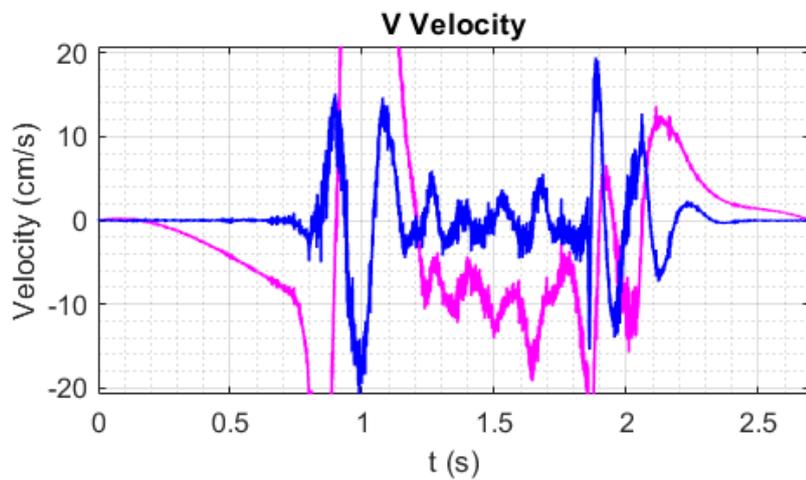
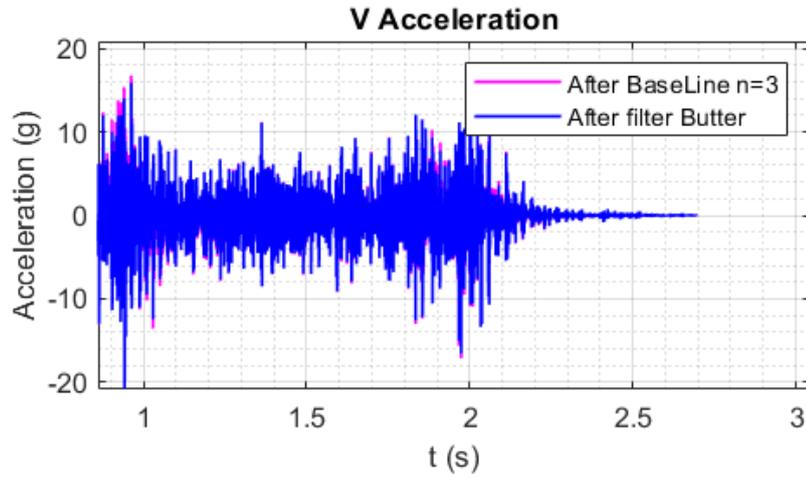
```

Command Window

0.0002	0.0080	0
0.0002	0.0076	0
0.0002	0.0087	0
0.0002	0.0085	0
0.0002	0.0071	0
0.0002	0.0088	0
0.0002	0.0097	0
0.0002	0.0088	0
0.0002	0.0086	0
0.0002	0.0079	0

fx >>





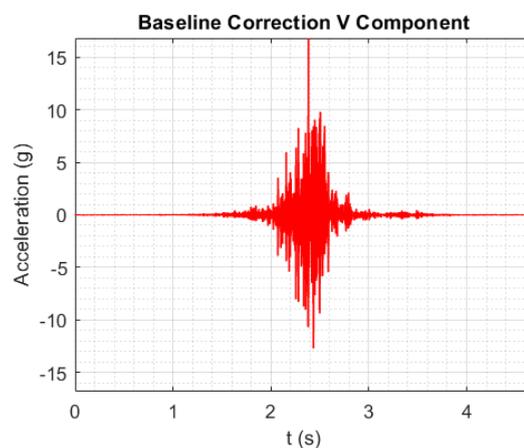
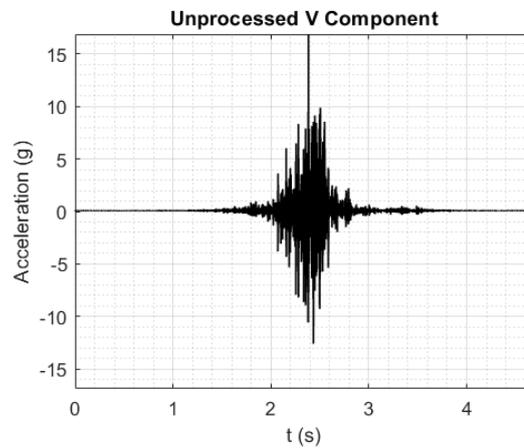


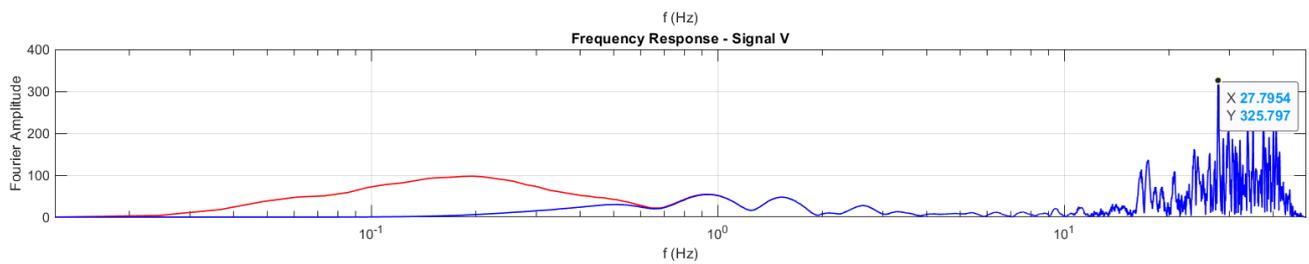
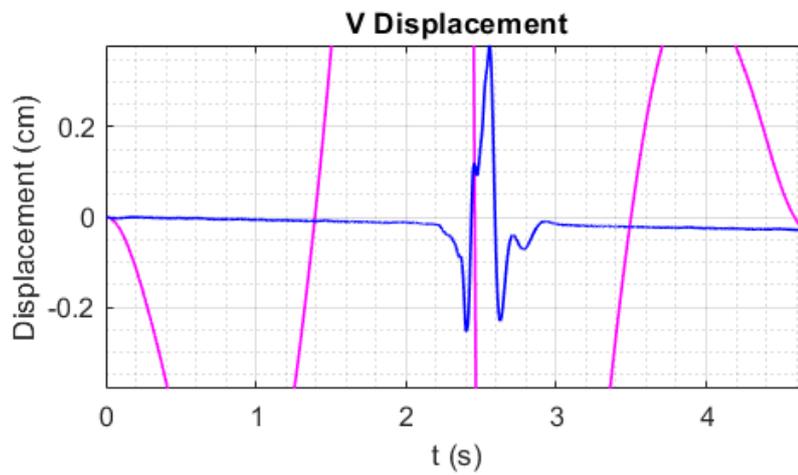
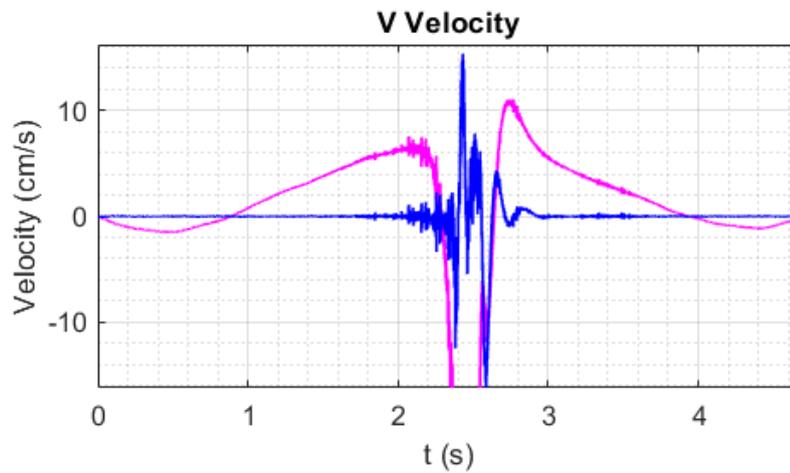
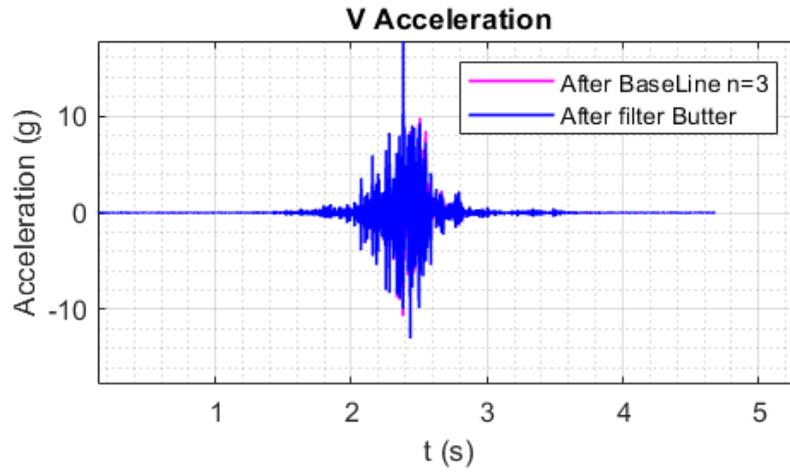
• Observación 12

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24     sacfile = varargin{nrecs};
25
26     %-----
27     % Default byte-order
28     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
29     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
30     %
31     endian = 'big-endian';
32
33     if strcmp(endian,'big-endian')
34         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
35     elseif strcmp(endian,'little-endian')
36         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
37     end
38
39     % read in single precision real header variables:
40
```

Command Window

0.0005	0.0074	0
0.0005	0.0079	0
0.0005	0.0093	0
0.0005	0.0095	0
0.0005	0.0095	0
0.0005	0.0086	0
0.0005	0.0076	0
0.0005	0.0080	0
0.0005	0.0083	0
0.0005	0.0091	0







• Observación 13

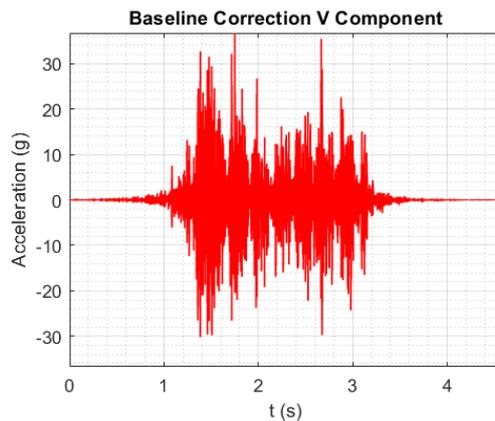
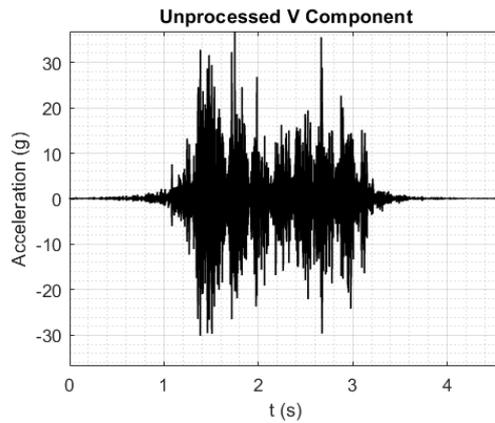
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32     endian = 'big-endian';
33
34     if strcmp(endian,'big-endian')
35         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36     elseif strcmp(endian,'little-endian')
37         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38     end
39
40     % read in single precision real header variables:

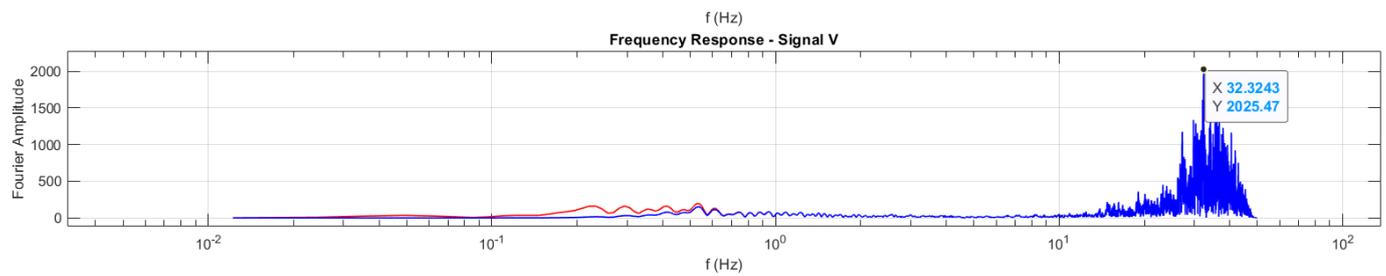
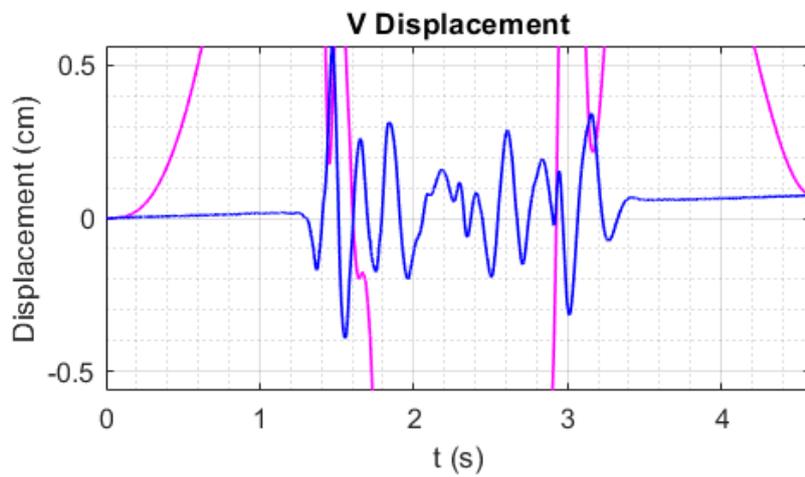
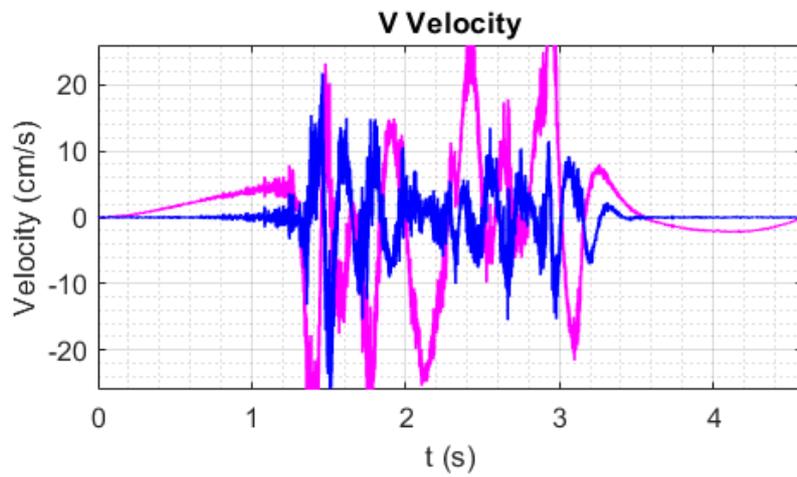
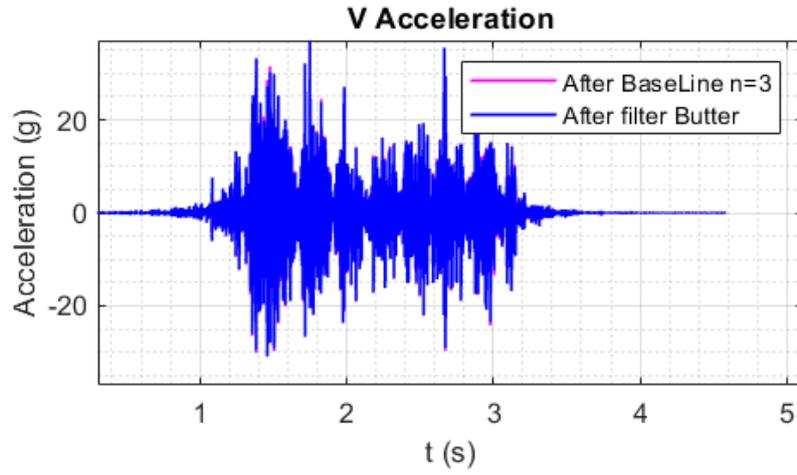
```

Command Window

0.0004	0.0078	0
0.0004	0.0088	0
0.0004	0.0096	0
0.0004	0.0071	0
0.0004	0.0066	0
0.0004	0.0087	0
0.0004	0.0091	0
0.0004	0.0098	0
0.0004	0.0089	0
0.0004	0.0094	0

fx >>







• Observación 14

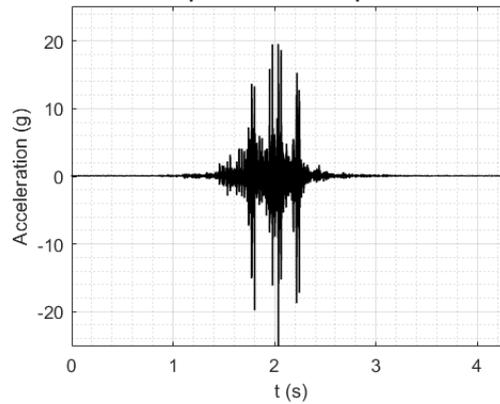
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQLR, AAK] = rsac('SQLR.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     %-----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32     endian = 'big-endian';
33
34     if strcmp(endian,'big-endian')
35         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36     elseif strcmp(endian,'little-endian')
37         fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38     end
39
40     % read in single precision real header variables:
```

Command Window

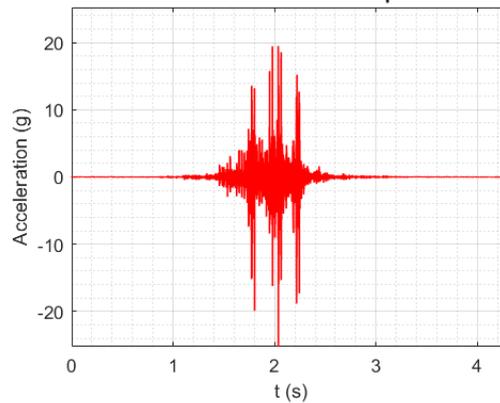
0.0003	0.0080	0
0.0003	0.0090	0
0.0003	0.0097	0
0.0003	0.0094	0
0.0003	0.0088	0
0.0003	0.0084	0
0.0003	0.0082	0
0.0003	0.0082	0
0.0003	0.0080	0
0.0003	0.0084	0

fx >>

Unprocessed V Component

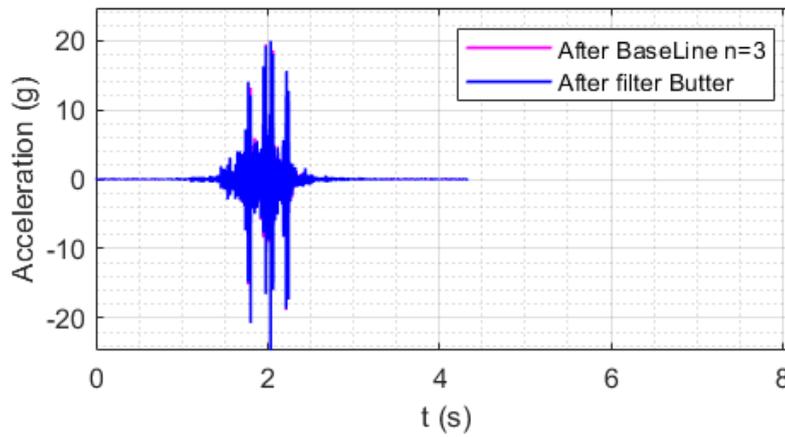


Baseline Correction V Component

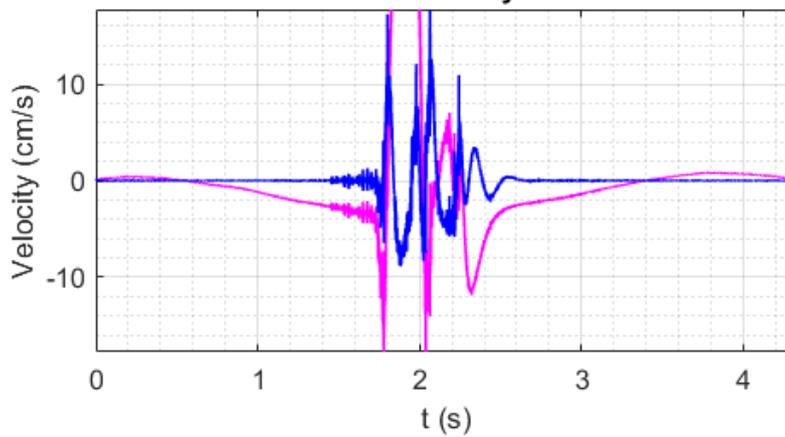




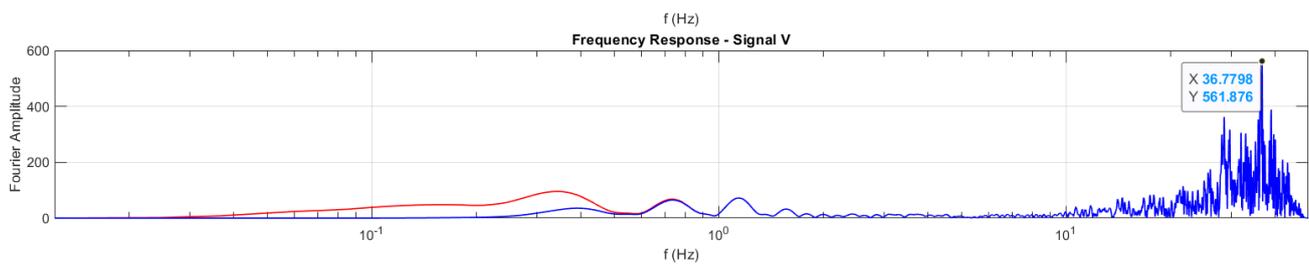
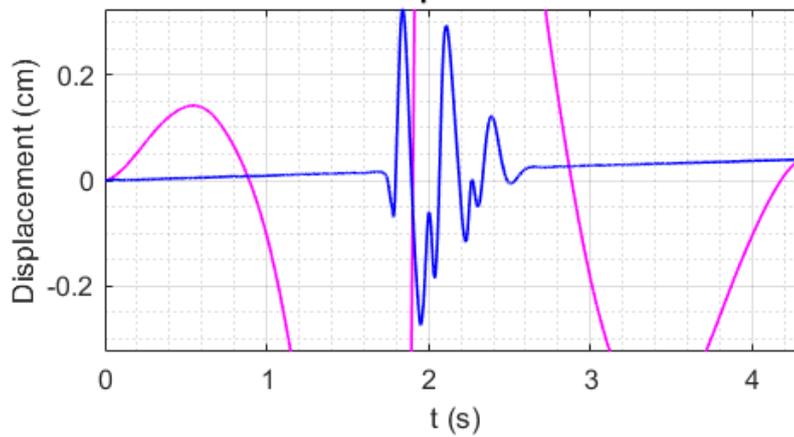
V Acceleration



V Velocity



V Displacement

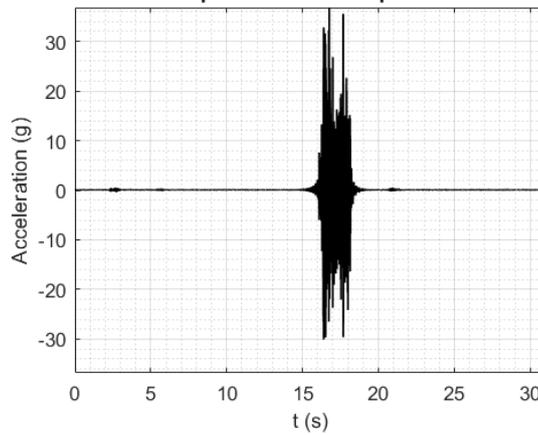




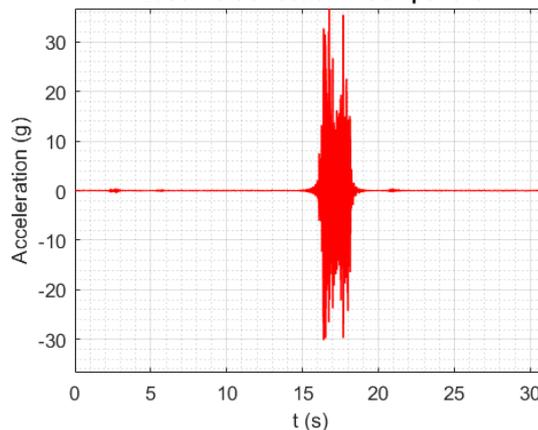
• Observación 15

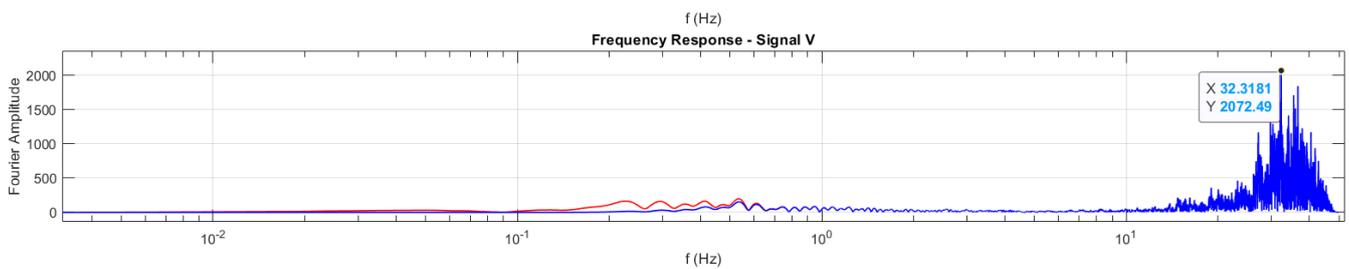
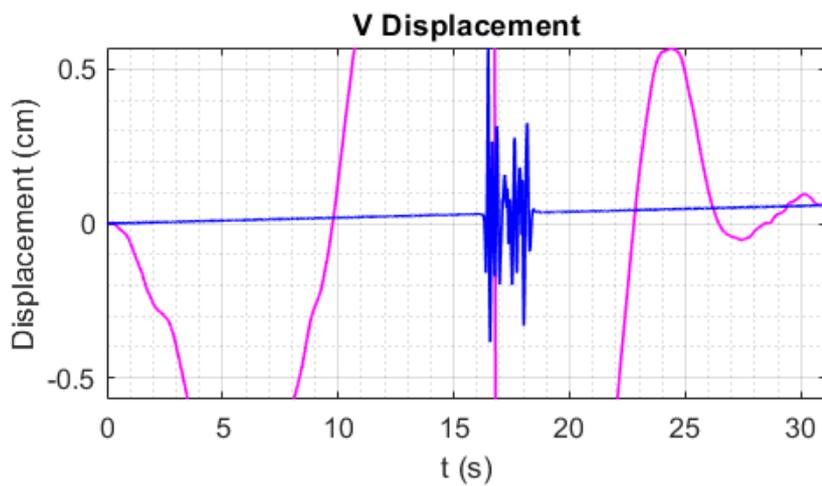
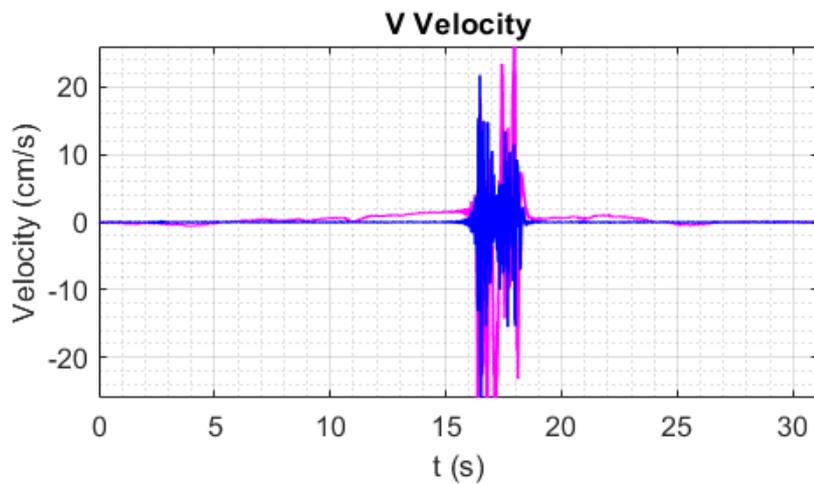
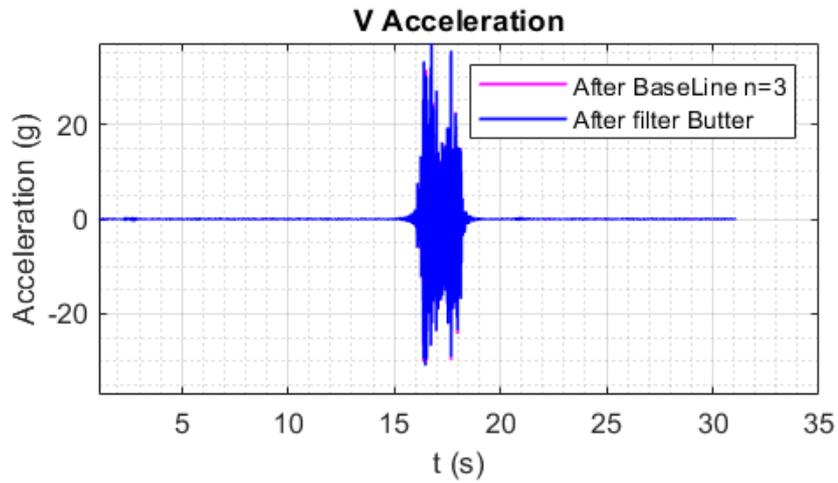
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0004 0.0097 0
0.0004 0.0083 0
0.0004 0.0085 0
0.0004 0.0079 0
0.0004 0.0085 0
0.0004 0.0094 0
0.0004 0.0073 0
0.0004 0.0086 0
0.0004 0.0086 0
0.0004 0.0086 0
fx >>
```

Unprocessed V Component



Baseline Correction V Component

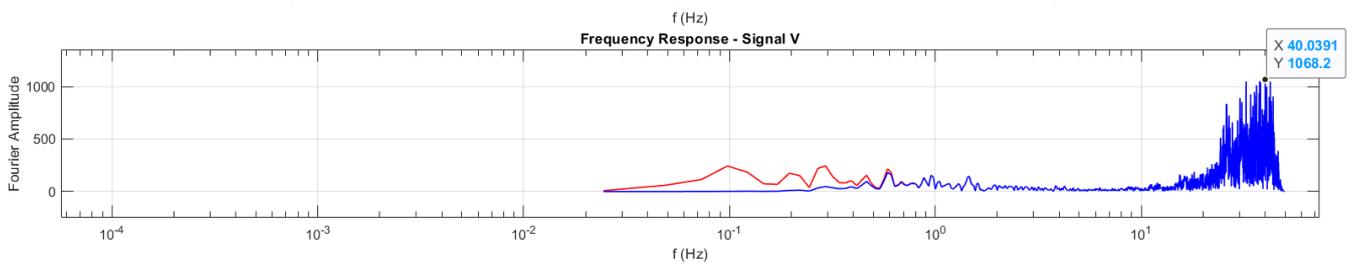
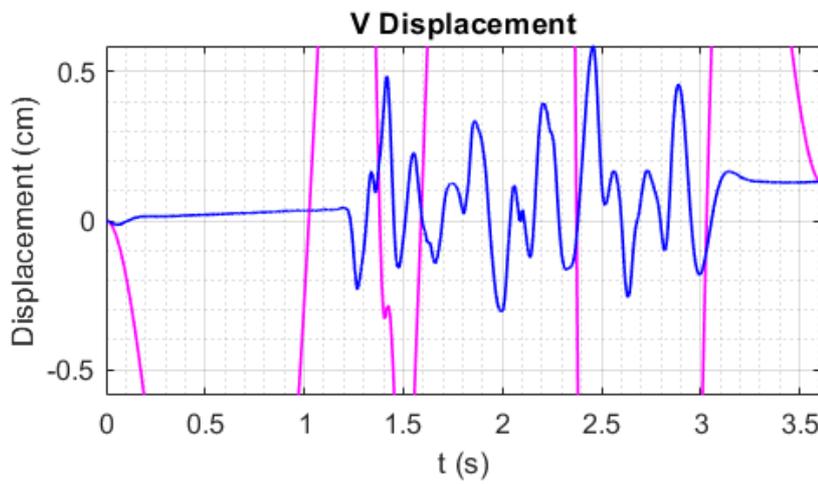
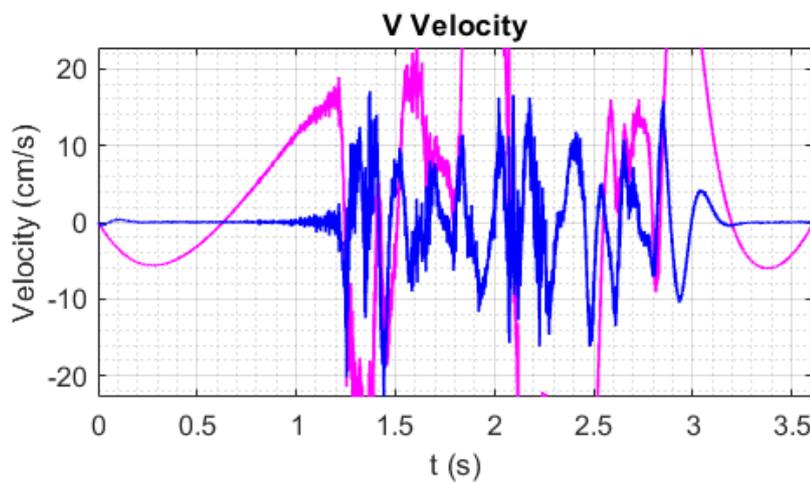
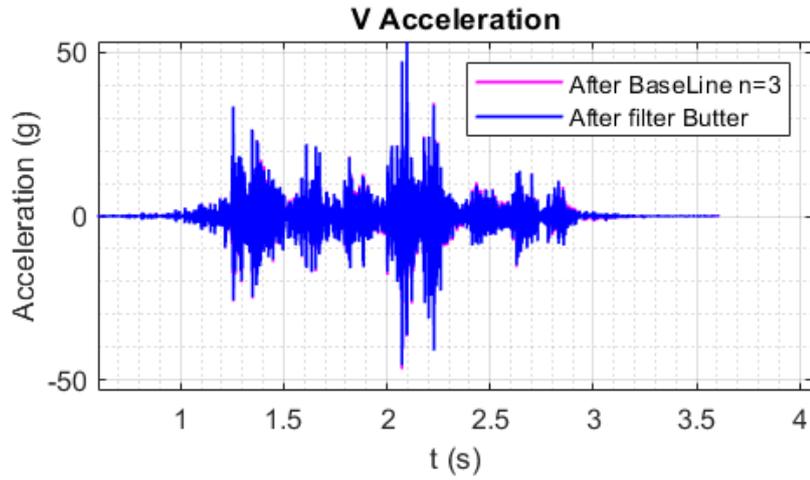






• Observación 16

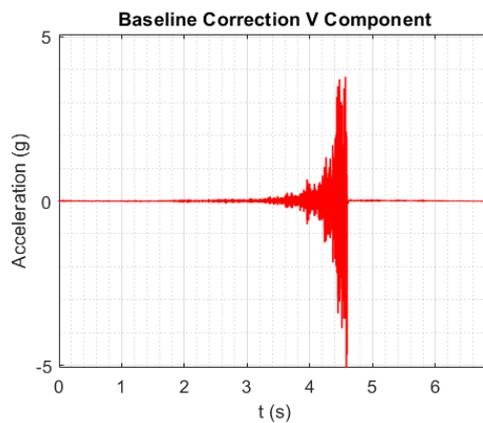
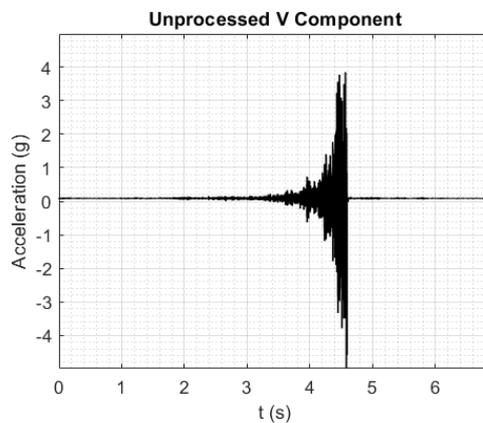
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 %
3 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
4 % format file into a 3-column vector.
5 %
6 % Column 1 contains time values.
7 % Column 2 contains amplitude values.
8 % Column 3 contains all SAC header information.
9 %
10 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
11 % little-endian byte order.
12 %
13 %
14 % usage: output = rsac('sacfile')
15 %
16 %
17 % Examples:
18 %
19 % KATH = rsac('KATH.R');
20 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
21 %
22 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
23 %
24 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
25 %
26
27 function [varargout] = rsac(varargin);
28
29 for nrecs = 1:nargin
30     sacfile = varargin{nrecs};
31
32     -----
33     % Default byte-order
34     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
35     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2
```





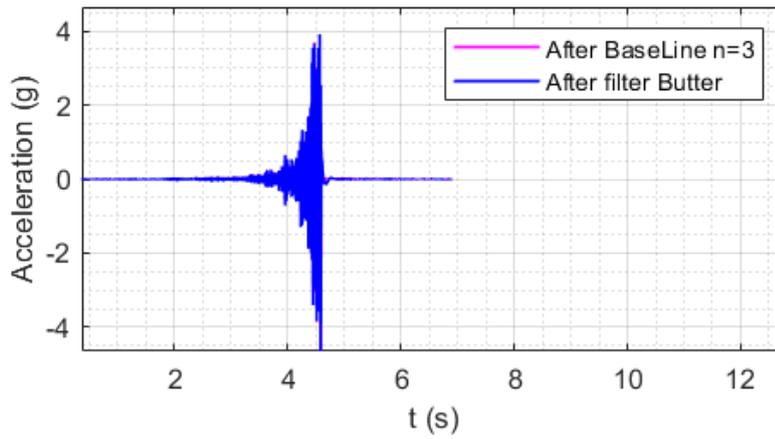
- Observación 17

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0035    0.0871    0
0.0035    0.0737    0
0.0035    0.0779    0
0.0035    0.0889    0
0.0035    0.0839    0
0.0035    0.0815    0
0.0035    0.0870    0
0.0035    0.0891    0
0.0035    0.0865    0
>> plot(obs17(:,2))
ft >>
```

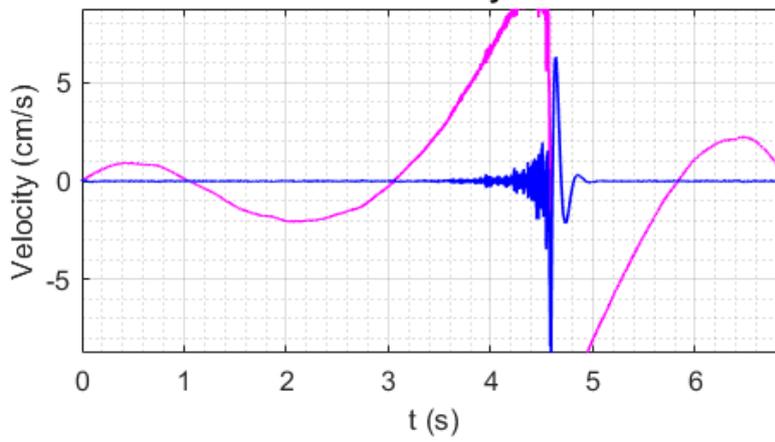




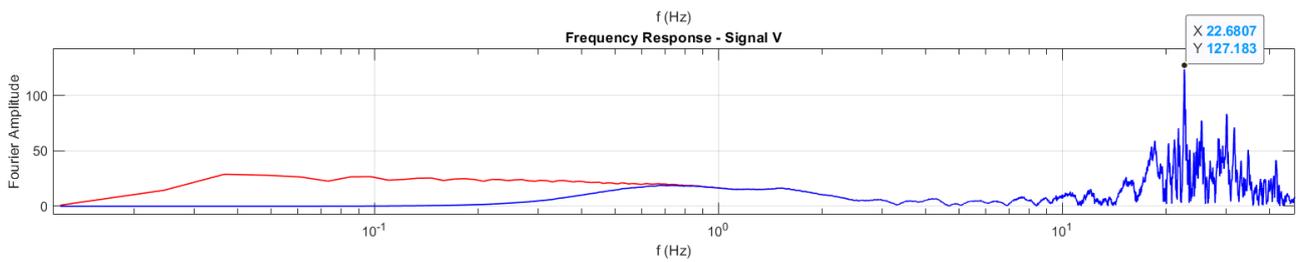
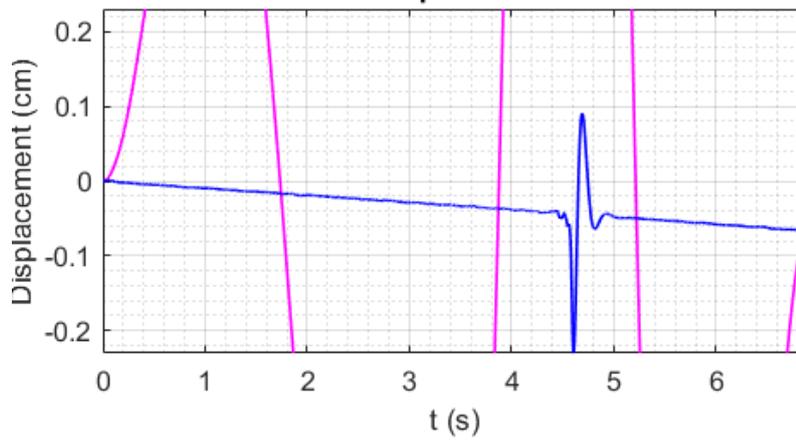
V Acceleration



V Velocity



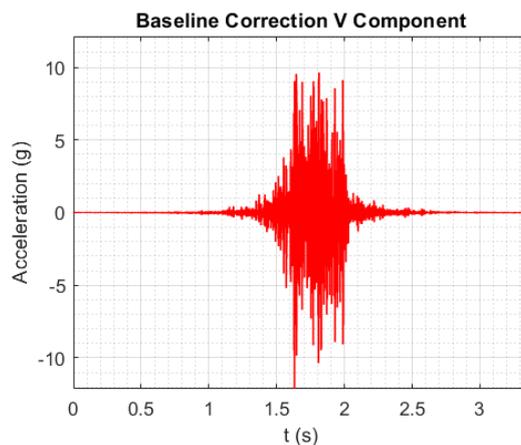
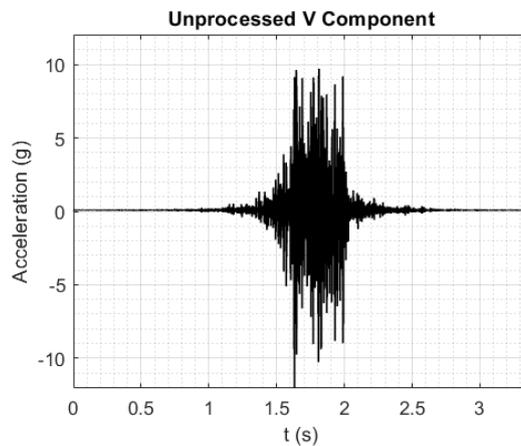
V Displacement

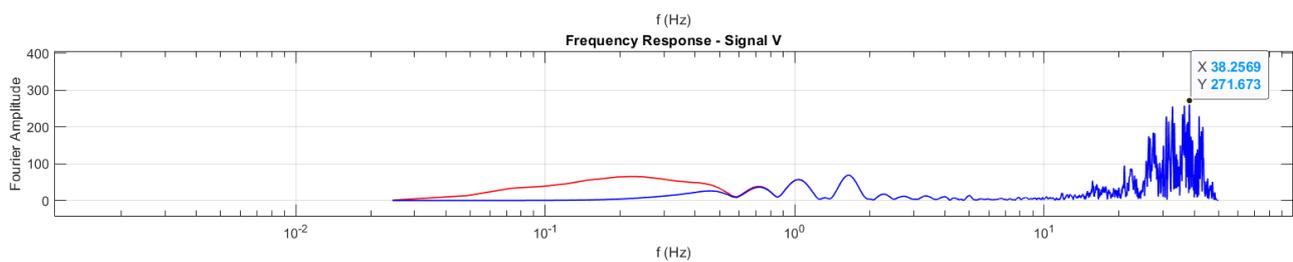
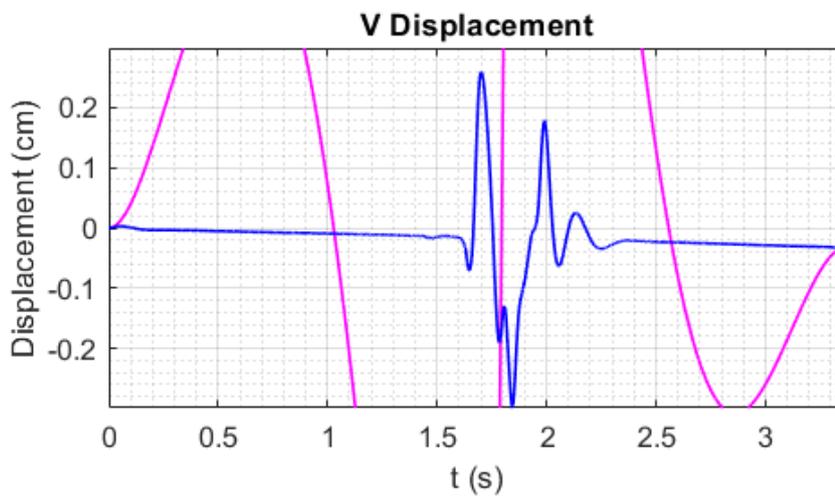
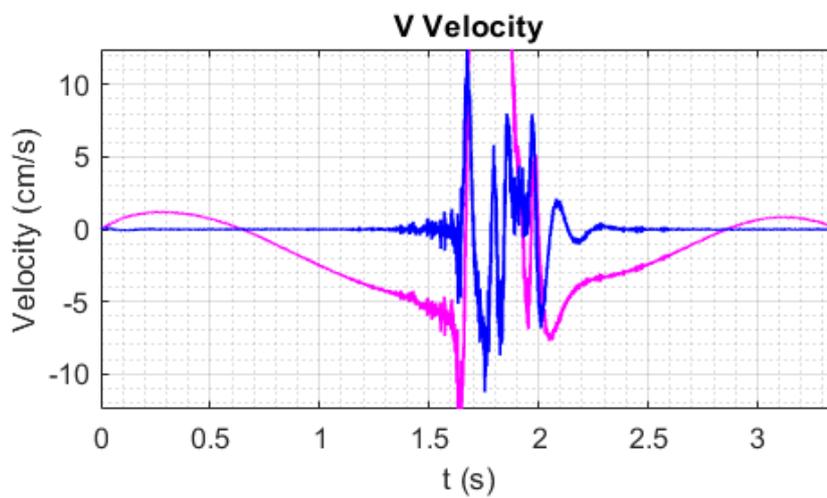
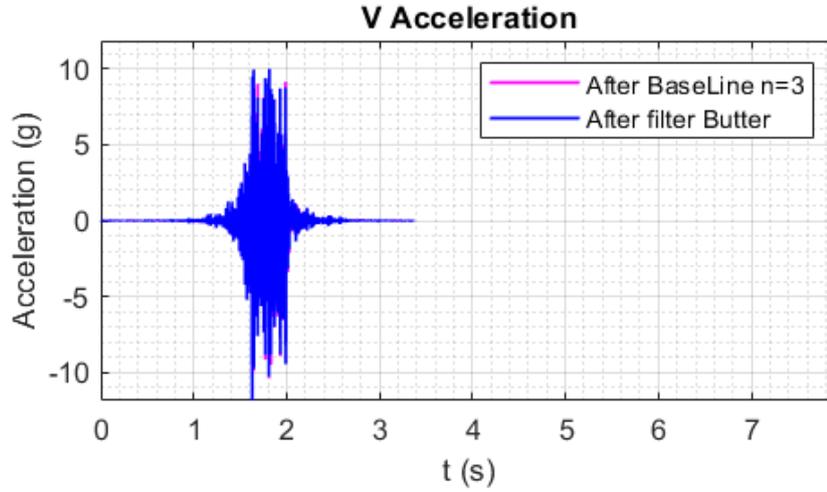




- Observación 18

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0003 0.0089 0
0.0003 0.0087 0
0.0003 0.0085 0
0.0003 0.0085 0
0.0003 0.0082 0
0.0003 0.0083 0
0.0003 0.0085 0
0.0003 0.0086 0
0.0003 0.0089 0
0.0003 0.0088 0
fx >>
```

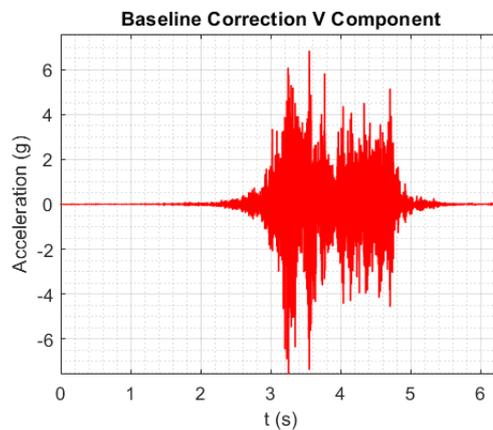
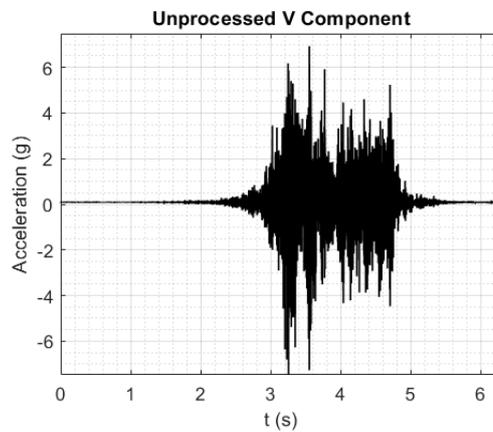






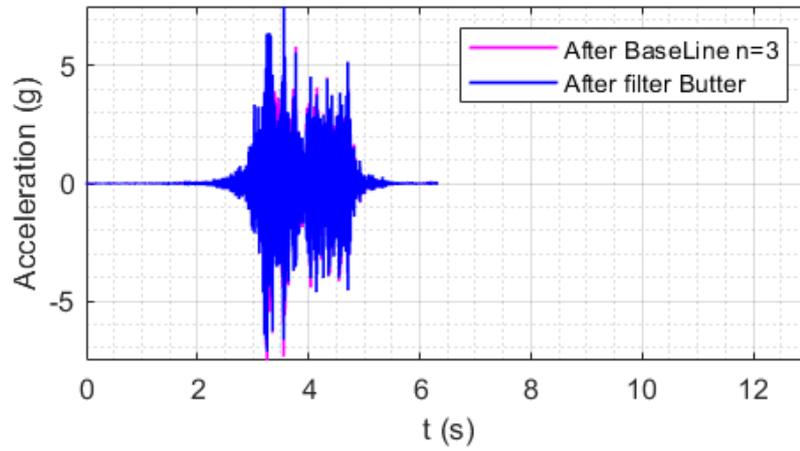
• Observación 19

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 %
3 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
4 % format file into a 3-column vector.
5 % Column 1 contains time values.
6 % Column 2 contains amplitude values.
7 % Column 3 contains all SAC header information.
8 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
9 % little-endian byte order.
10 %
11 % usage: output = rsac('sacfile')
12 %
13 % Examples:
14 %
15 % KATH = rsac('KATH.R');
16 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
17 %
18 % [SQLR, AAK] = rsac('SQLR.R','AAK.R');
19 %
20 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
21
22 function [varargout] = rsac(varargin);
23
24 for nrecs = 1:nargin
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0042 0.0834 0
0.0042 0.0822 0
0.0042 0.0829 0
0.0042 0.0838 0
0.0042 0.0831 0
0.0042 0.0827 0
0.0042 0.0863 0
0.0042 0.0898 0
0.0042 0.0878 0
0.0042 0.0856 0
fx >>
```

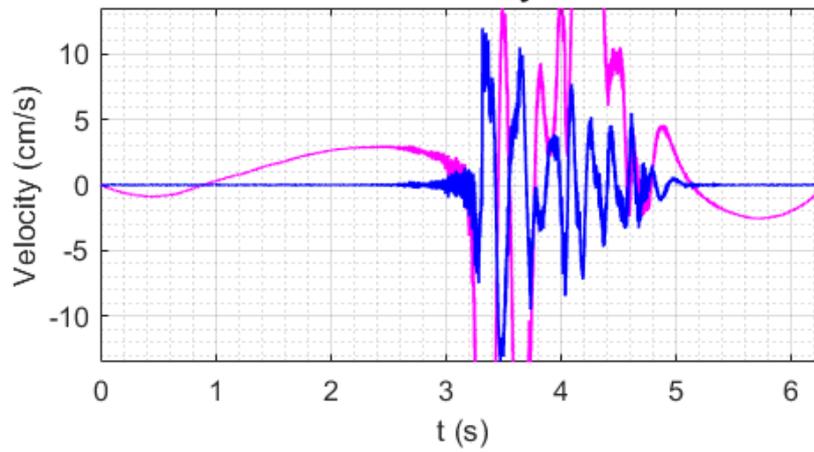




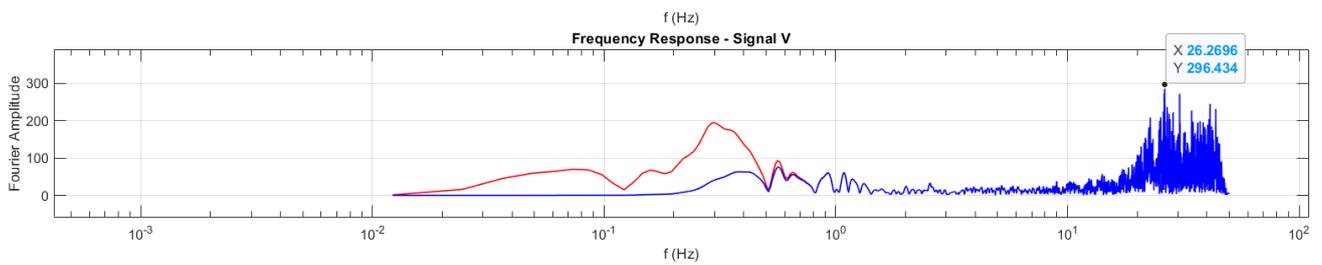
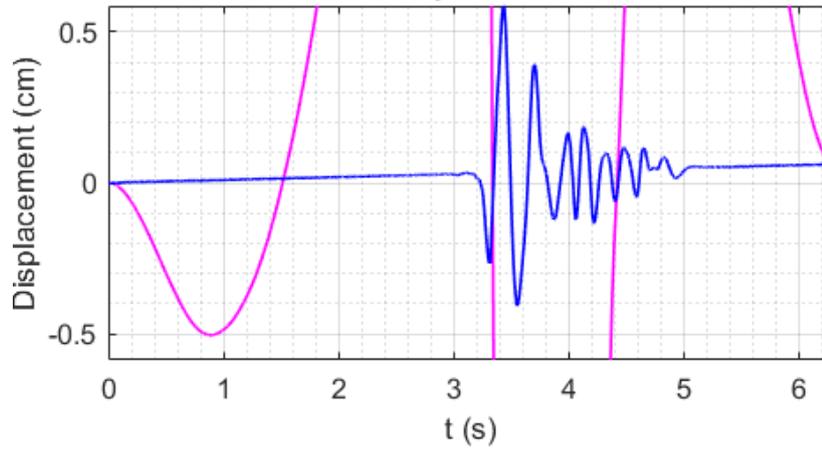
V Acceleration



V Velocity



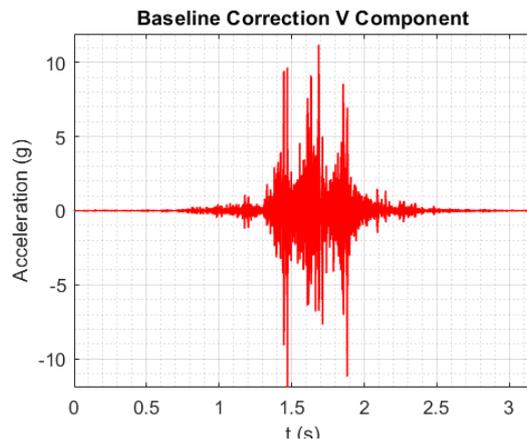
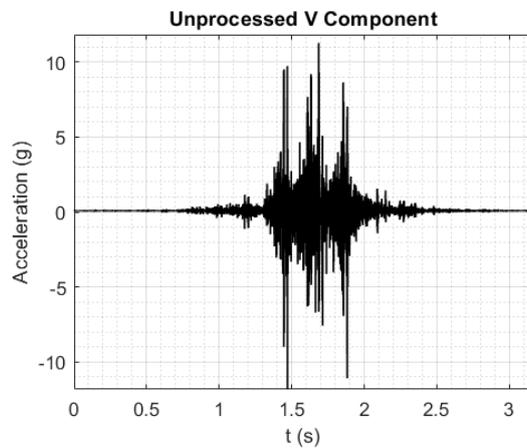
V Displacement

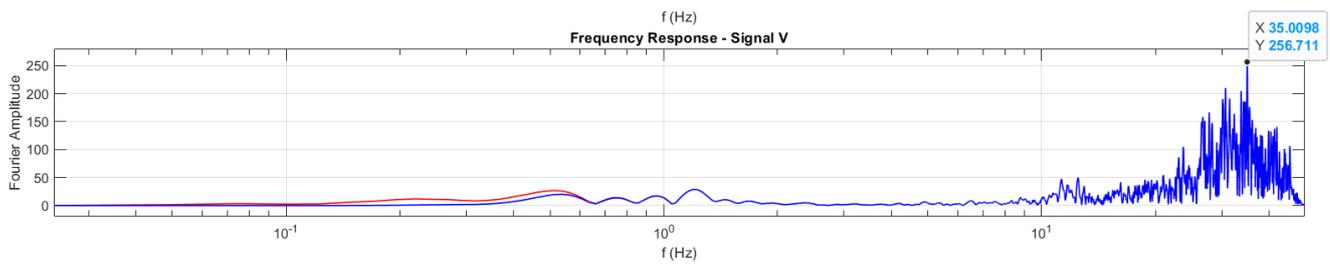
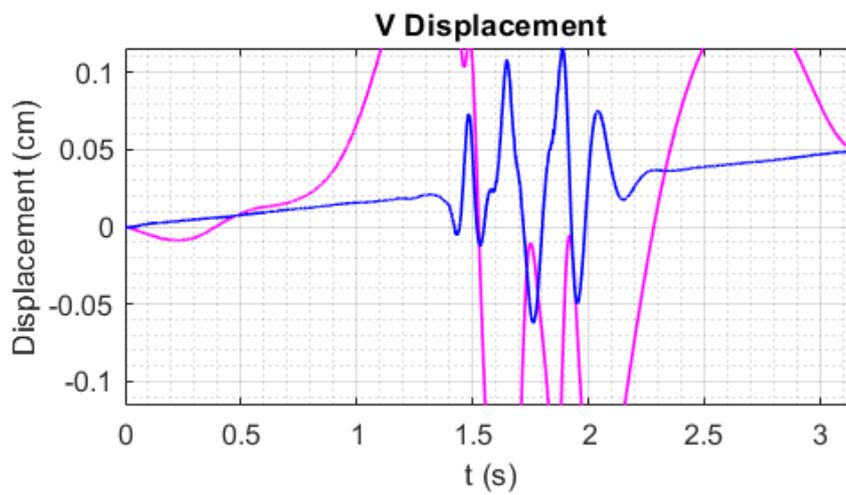
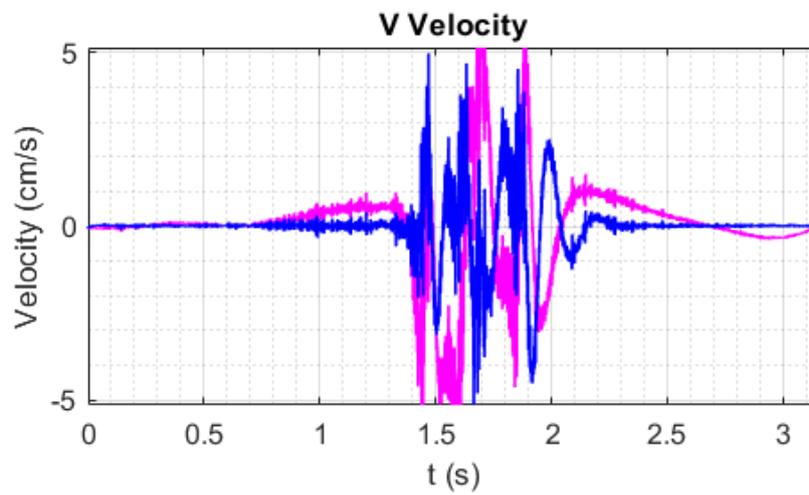
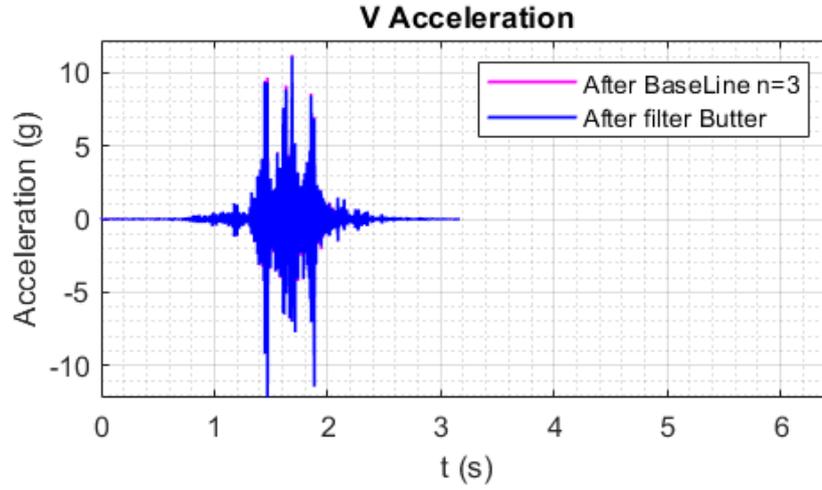




- Observación 20

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin(nrecs);
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0003 0.0071 0
0.0003 0.0085 0
0.0003 0.0097 0
0.0003 0.0101 0
0.0003 0.0097 0
0.0003 0.0086 0
0.0003 0.0081 0
0.0003 0.0083 0
0.0003 0.0083 0
0.0003 0.0085 0
fx >>
```







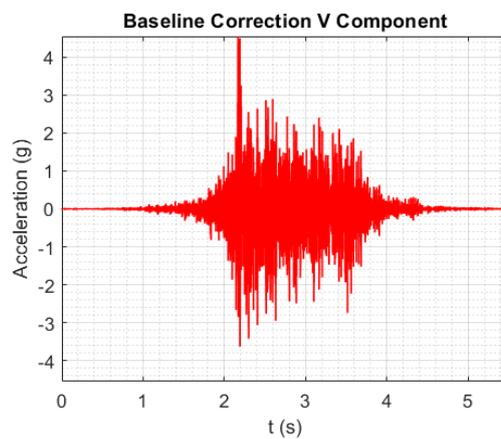
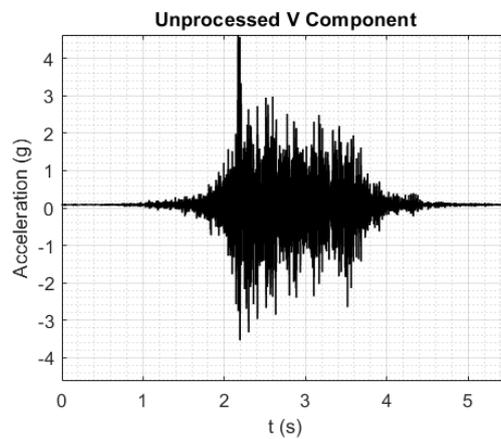
- Observación 21

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 %
3 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
4 % format file into a 3-column vector.
5 % Column 1 contains time values.
6 % Column 2 contains amplitude values.
7 % Column 3 contains all SAC header information.
8 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
9 % little-endian byte order.
10 %
11 % usage: output = rsac('sacfile')
12 %
13 % Examples:
14 %
15 % KATH = rsac('KATH.R');
16 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
17 %
18 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
19 %
20 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
21
22 function [varargout] = rsac(varargin);
23
24 for nrecs = 1:nargin
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     %-----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
```

Command Window

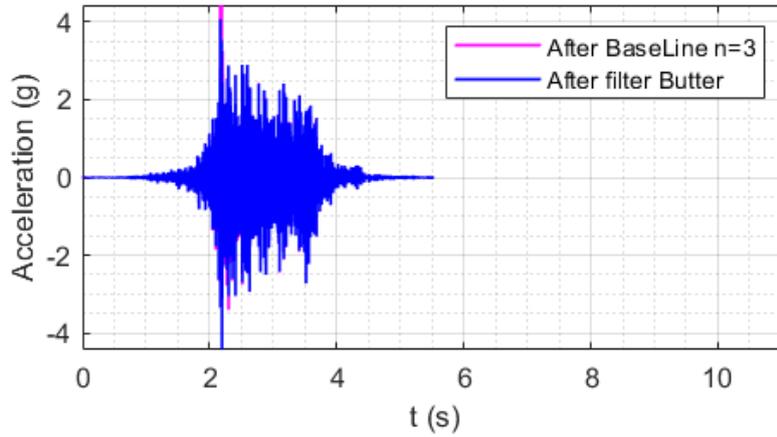
0.0056	0.0850	0
0.0056	0.0909	0
0.0056	0.0902	0
0.0056	0.0695	0
0.0056	0.0700	0
0.0056	0.0847	0
0.0056	0.0938	0
0.0056	0.0949	0
0.0056	0.0911	0
0.0056	0.0832	0

fx >>

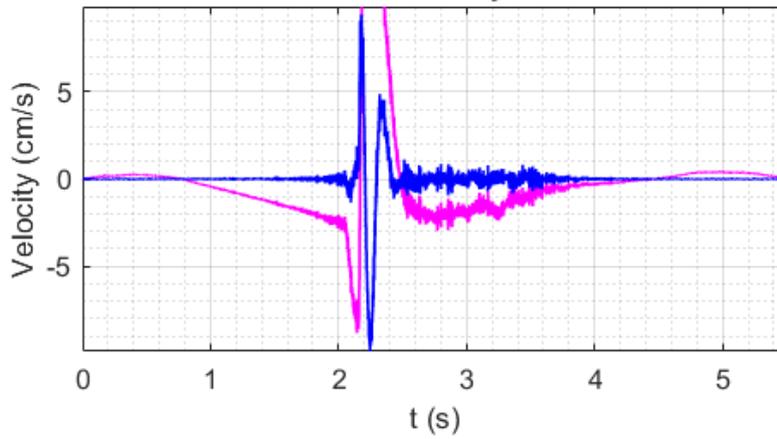




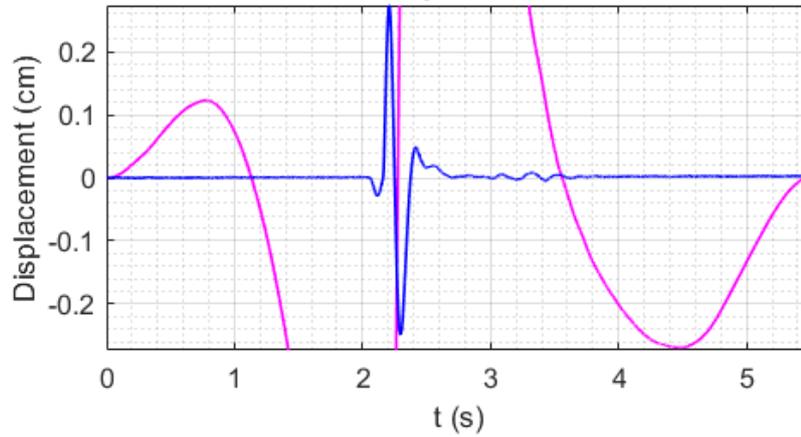
V Acceleration



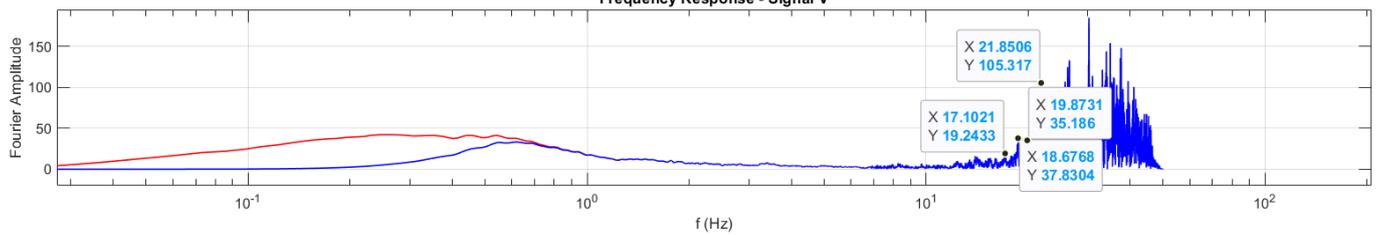
V Velocity



V Displacement



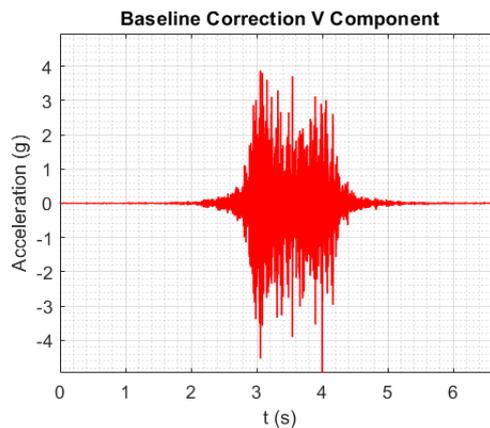
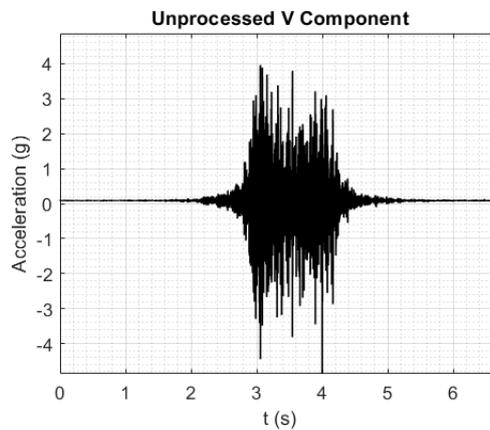
f (Hz)
Frequency Response - Signal V

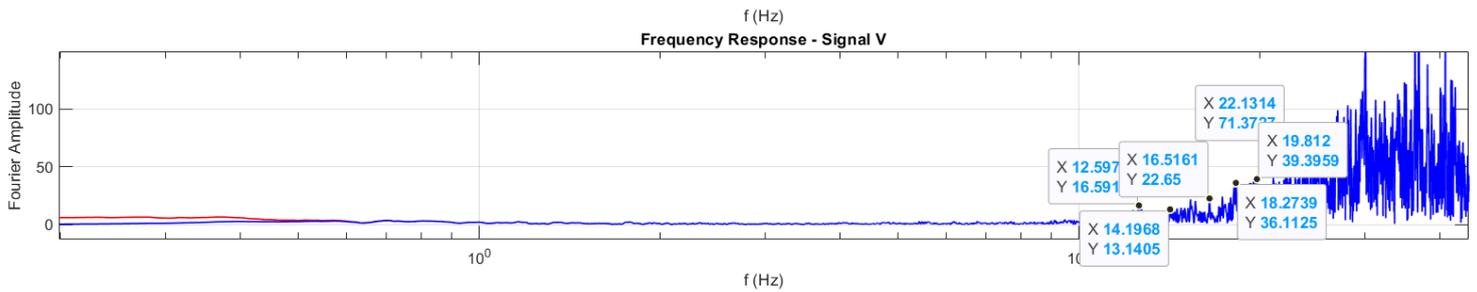
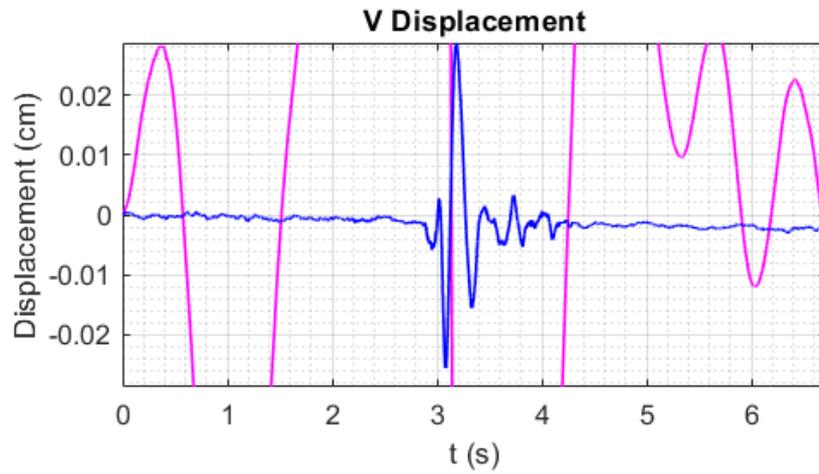
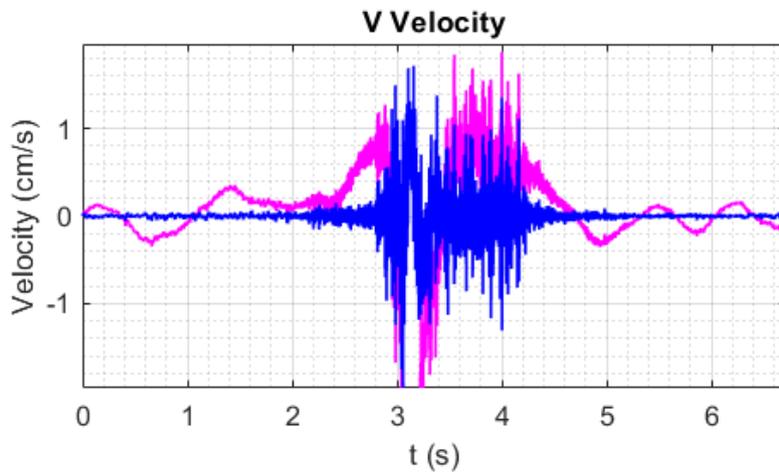
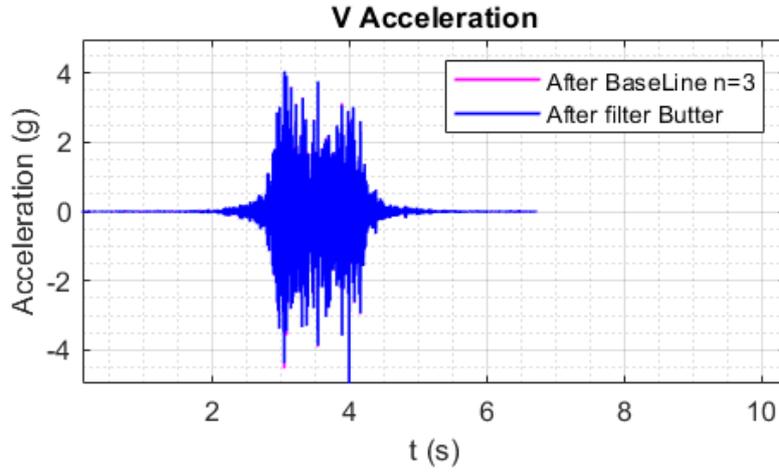




• Observación 22

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0041 0.0886 0
0.0041 0.0797 0
0.0041 0.0775 0
0.0041 0.0799 0
0.0041 0.0886 0
0.0041 0.0909 0
0.0041 0.0854 0
0.0041 0.0809 0
0.0041 0.0765 0
0.0041 0.0778 0
fx >>
```

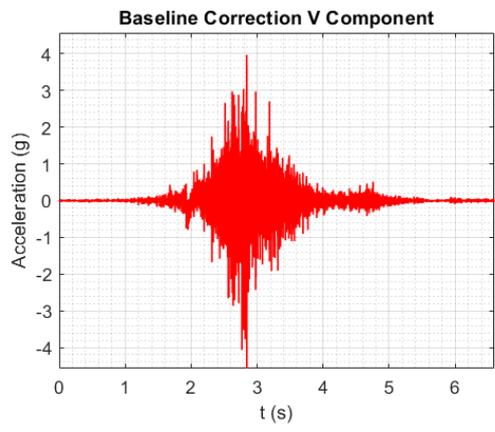
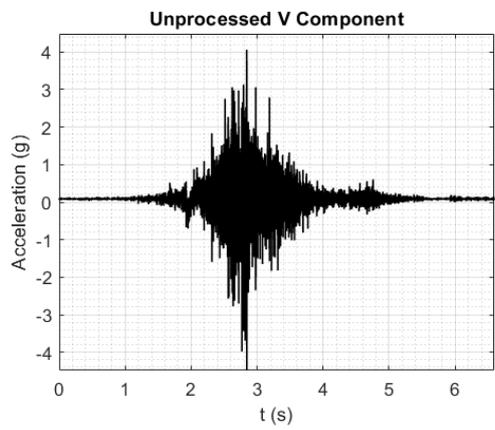


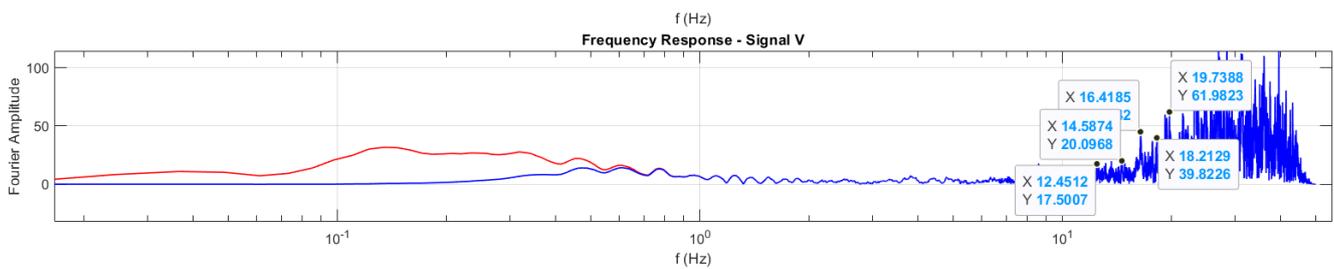
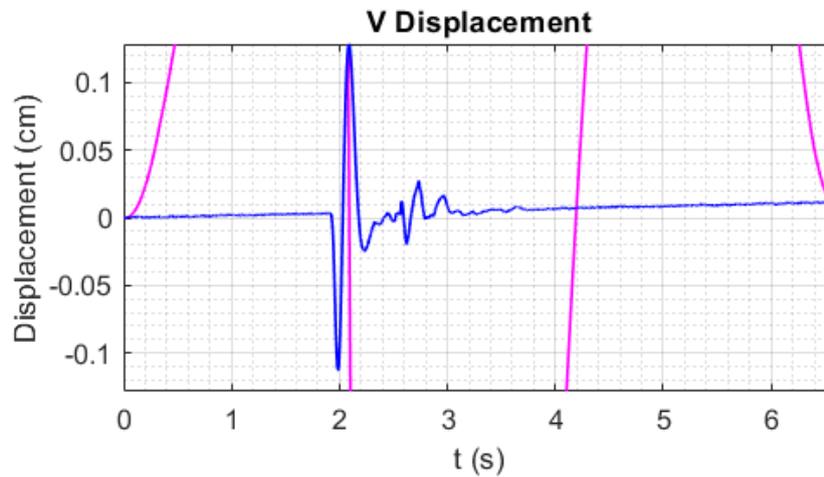
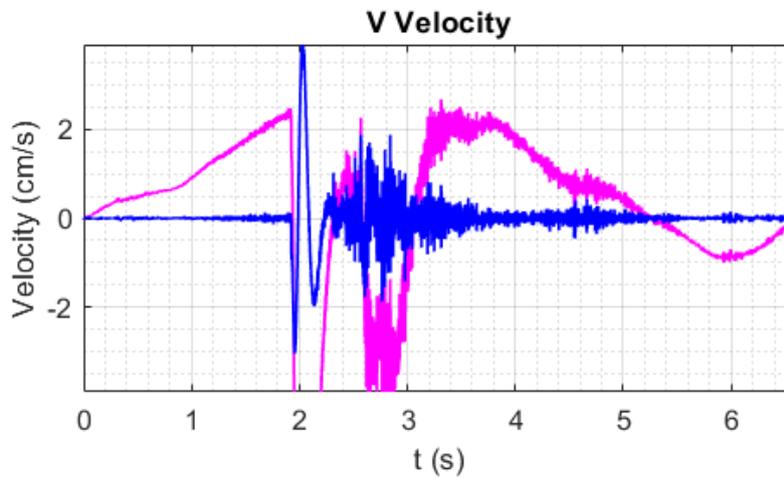
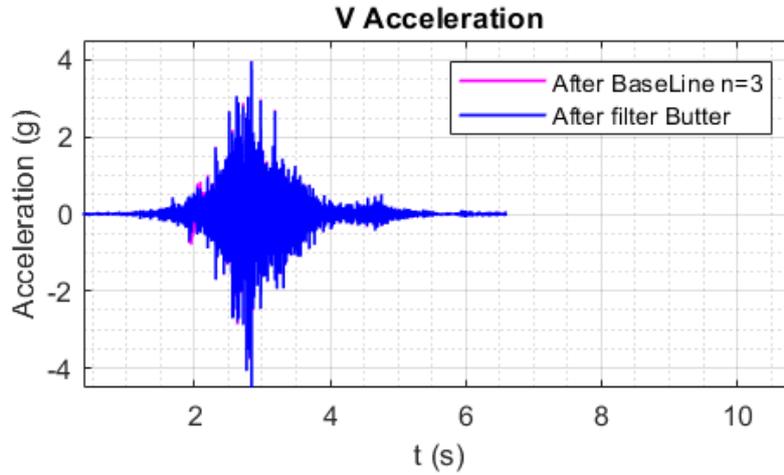




• Observación 23

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0033 0.0886 0
0.0033 0.0781 0
0.0033 0.0783 0
0.0033 0.0894 0
0.0033 0.0851 0
0.0033 0.0847 0
0.0033 0.0890 0
0.0033 0.0845 0
0.0033 0.0835 0
0.0033 0.0844 0
fx >>
```

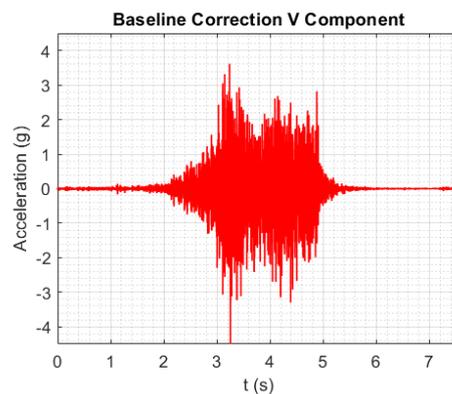
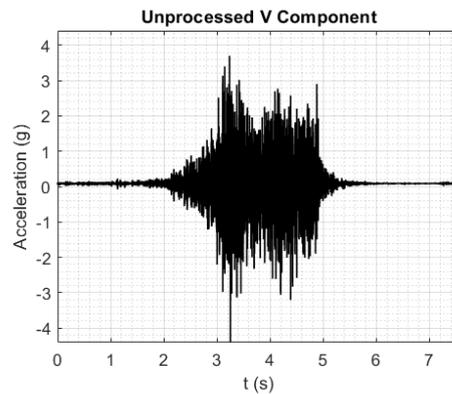


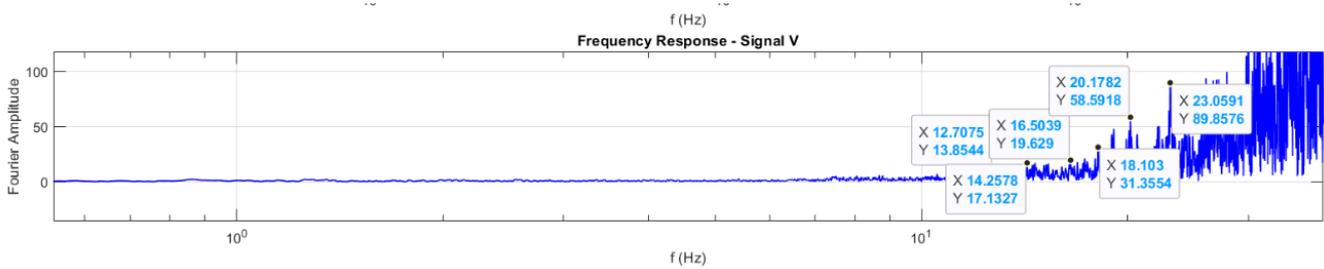
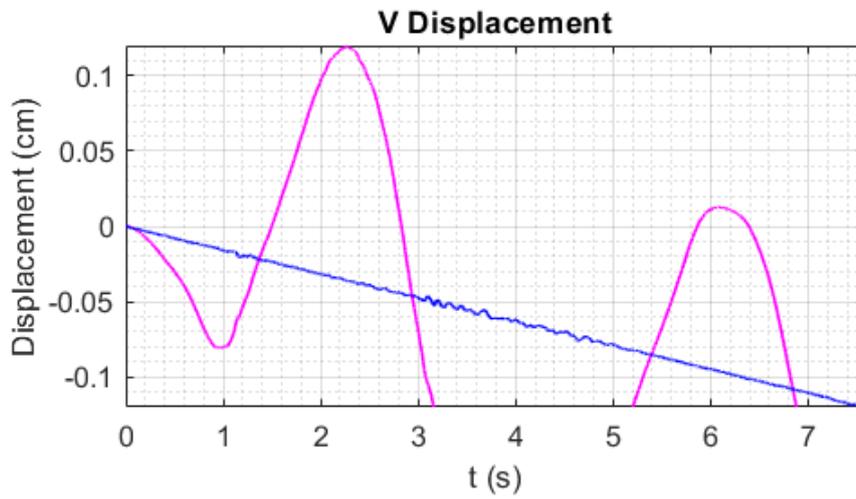
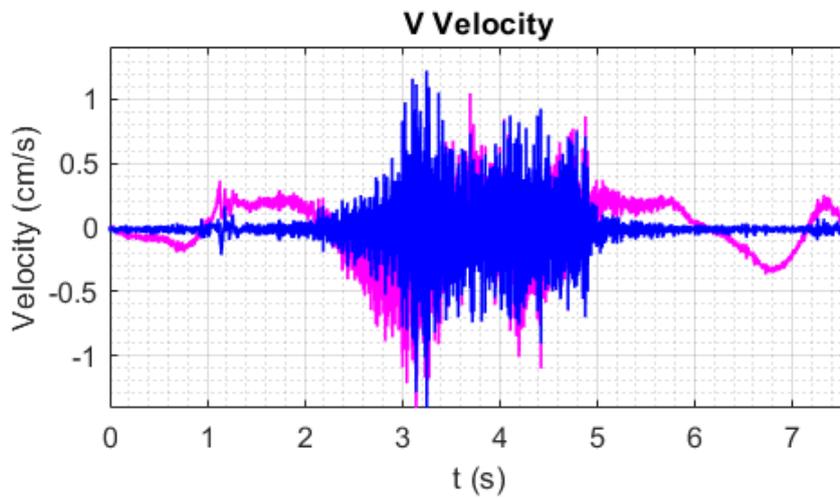
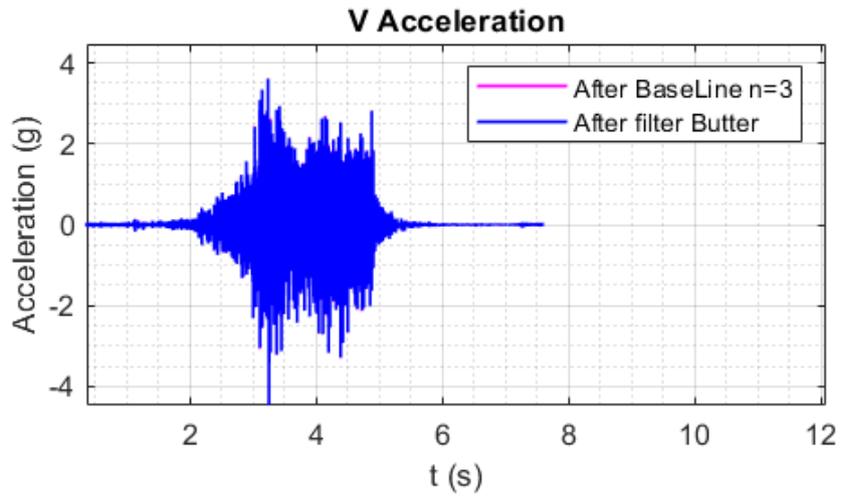




• Observación 24

```
SedPro.m x FFTSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQLR, AAK] = rsac('SQLR.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     %-----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0047 0.0862 0
0.0047 0.0845 0
0.0047 0.0807 0
0.0047 0.0800 0
0.0047 0.0854 0
0.0047 0.0929 0
0.0047 0.0921 0
0.0047 0.0881 0
0.0047 0.0840 0
0.0047 0.0832 0
fx >>
```







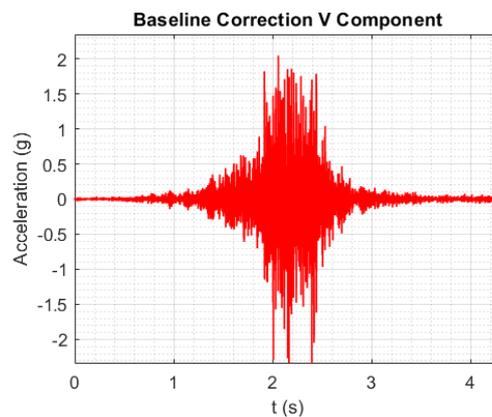
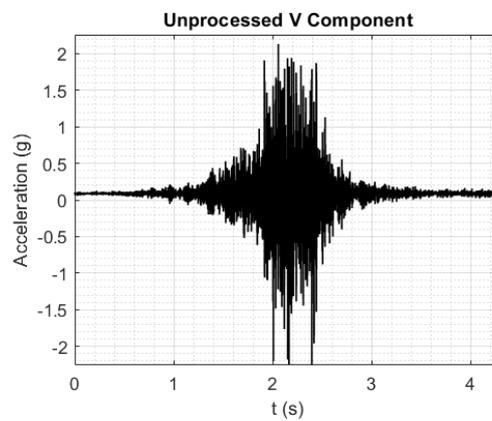
• Observación 25

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQLR, AAK] = rsac('SQLR.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
```

Command Window

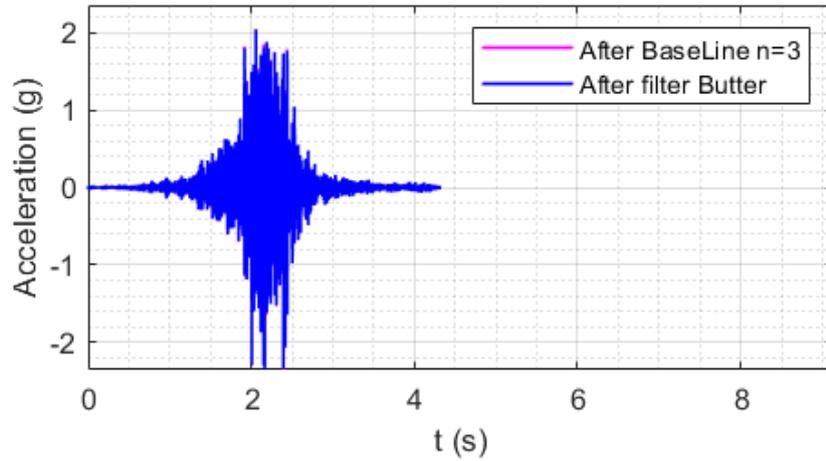
0.0036	0.0909	0
0.0036	0.0909	0
0.0036	0.0781	0
0.0036	0.0857	0
0.0036	0.0811	0
0.0036	0.0860	0
0.0036	0.0899	0
0.0036	0.0819	0
0.0036	0.0862	0
0.0036	0.0840	0

fx >>

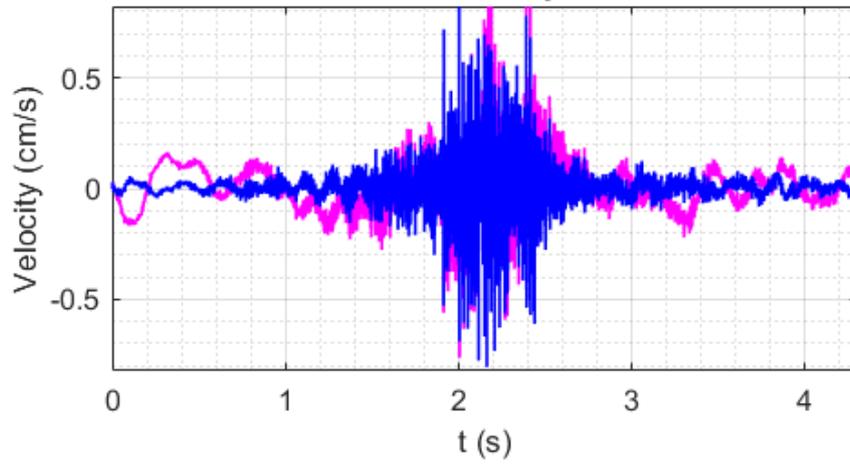




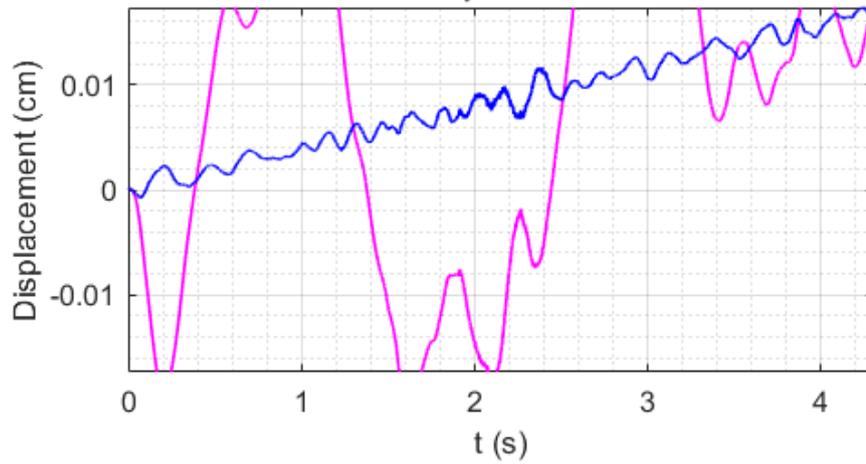
V Acceleration



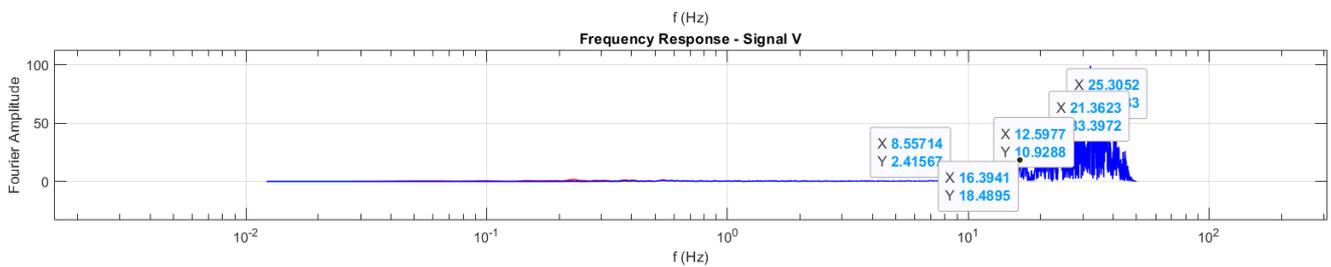
V Velocity



V Displacement



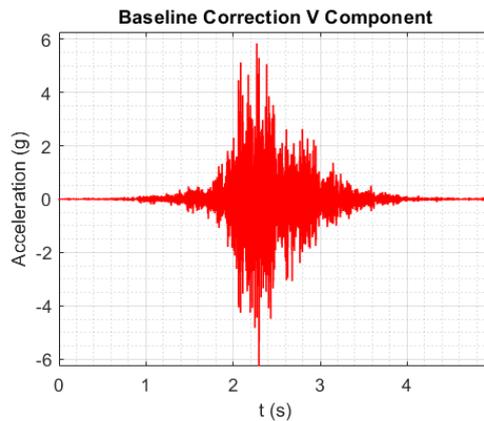
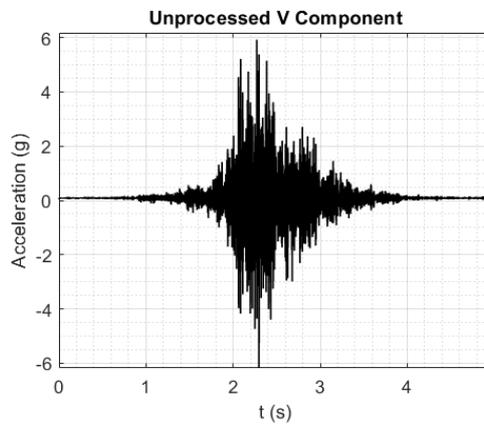
Frequency Response - Signal V

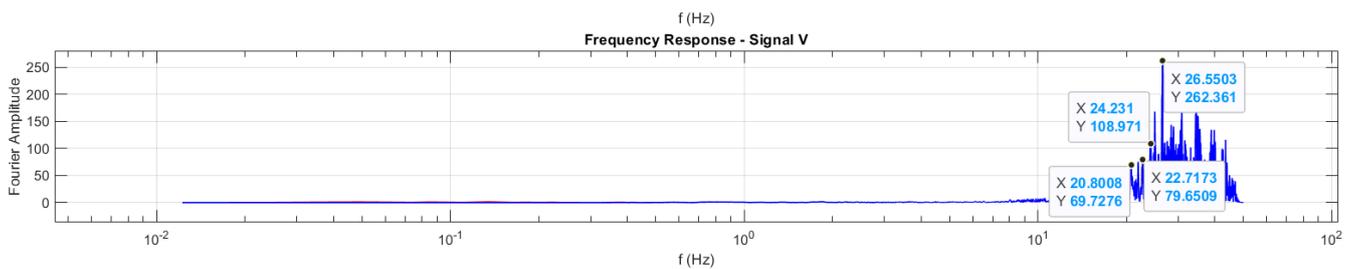
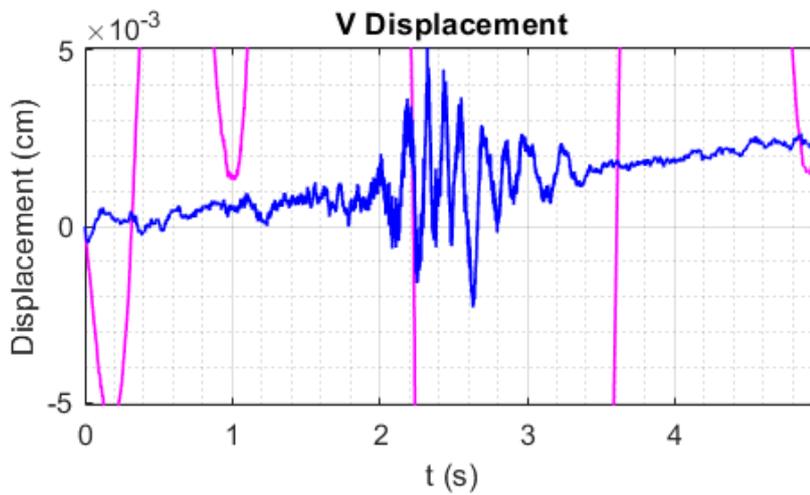
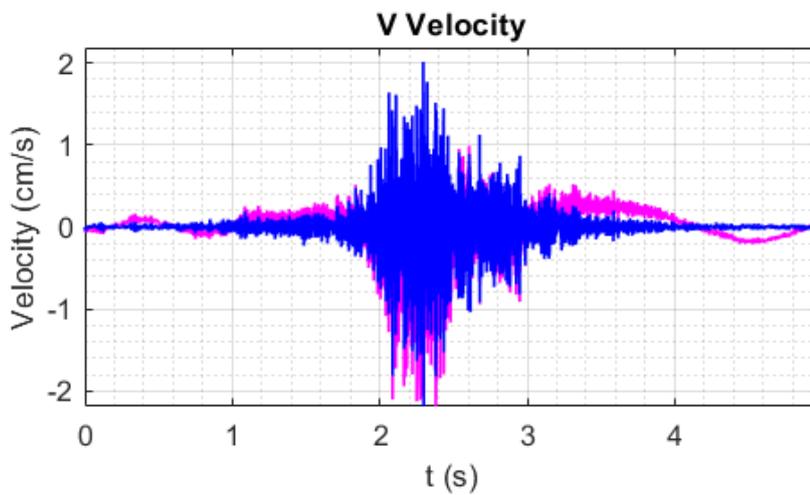
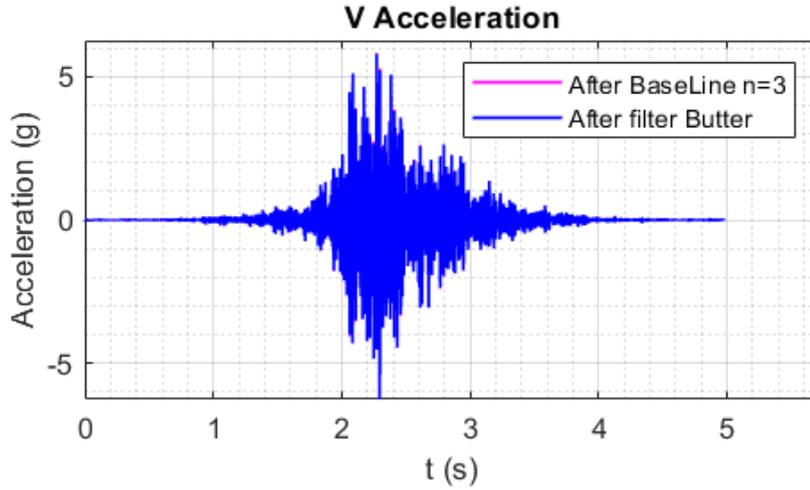




• Observación 26

```
SedPro.m x FFTSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24     sacfile = varargin{nrecs};
25
26     -----
27     % Default byte-order
28     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
29     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
30
31
Command Window
0.0035    0.0685    0
0.0035    0.0785    0
0.0035    0.0909    0
0.0035    0.0898    0
0.0035    0.0781    0
0.0035    0.0717    0
0.0035    0.0869    0
0.0035    0.1032    0
0.0035    0.1096    0
0.0035    0.0989    0
fx >>
```







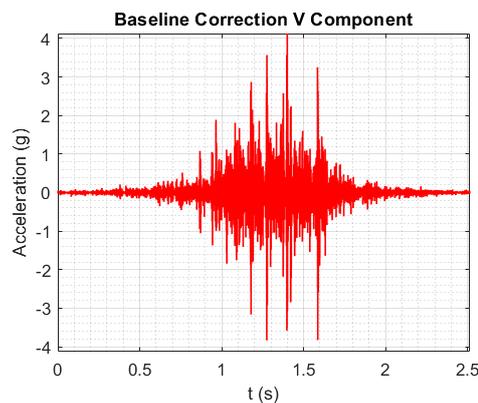
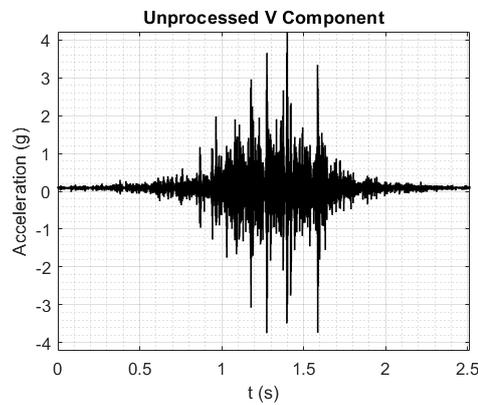
- Observación 27

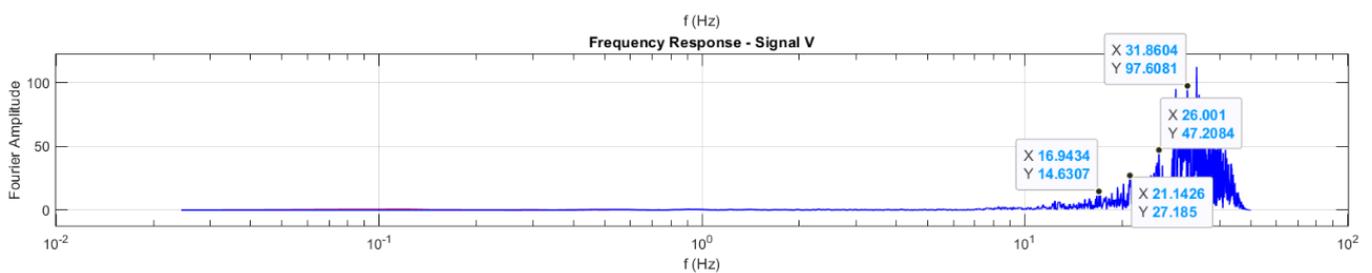
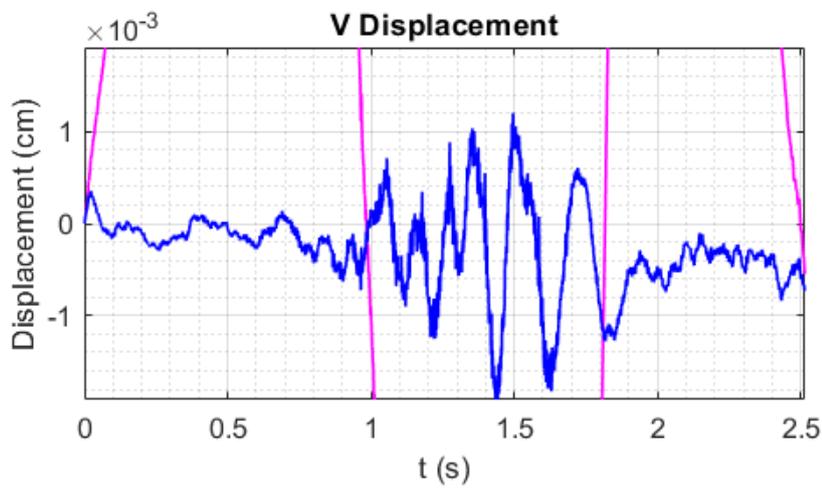
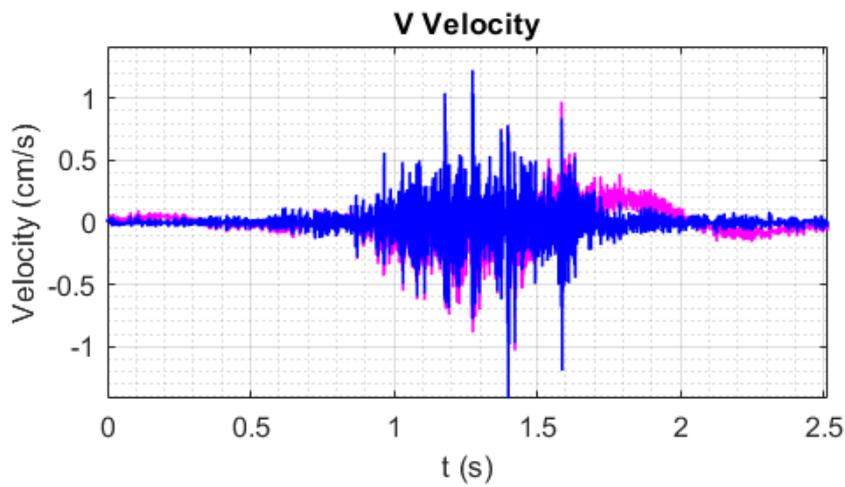
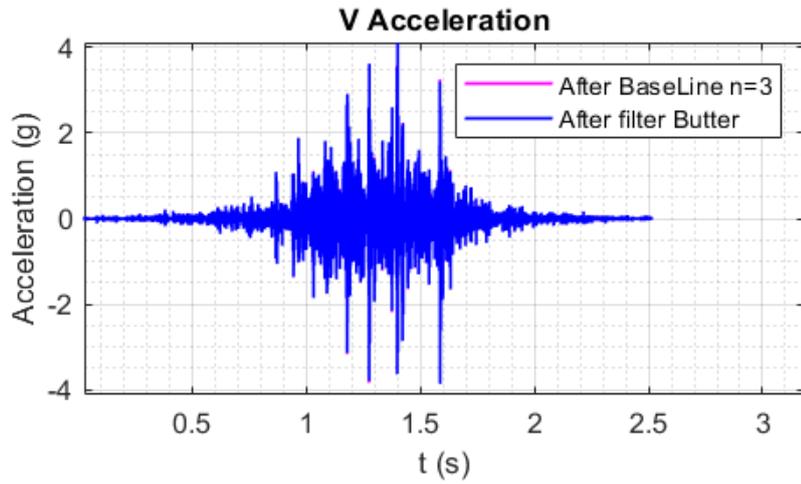
```
SedProm.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
81 % read in amplitudes
82 %-----
83
84 YARRAY = fread(fid,'single');
85
86 if h(106) == 1
87     XARRAY = (linspace(h(6),h(7),h(80)))';
88 else
89     error('LEVEN must = 1; SAC file not evenly spaced')
90 end
91
92 % add header signature for testing files for SAC format
93 %-----
94 h(303) = 77;
95 h(304) = 73;
96 h(305) = 75;
97 h(306) = 69;
98
99 % arrange output files
100 %-----
101 OUTPUT(:,1) = XARRAY;
102 OUTPUT(:,2) = YARRAY;
103 OUTPUT(1:306,3) = h(1:306)';
104
105 %pad xarray and yarray with NaN if smaller than header field
106 if h(80) < 306
107     OUTPUT((h(80)+1):306,1) = NaN;
108     OUTPUT((h(80)+1):306,2) = NaN;
109 end
110
111 fclose(fid);
```

Command Window

0.0002	0.0093	0
0.0002	0.0086	0
0.0002	0.0084	0
0.0002	0.0081	0
0.0002	0.0087	0
0.0002	0.0095	0
0.0002	0.0089	0
0.0002	0.0074	0
0.0002	0.0082	0
0.0002	0.0097	0

fx >>







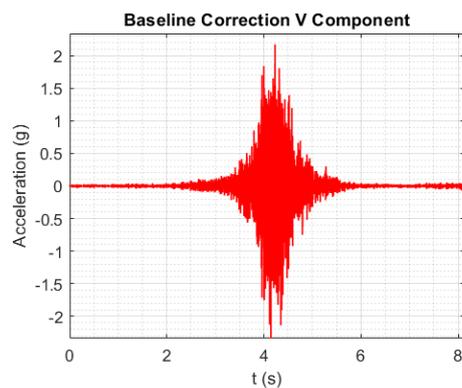
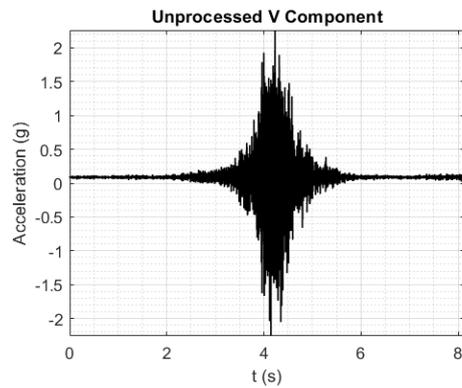
• Observación 28

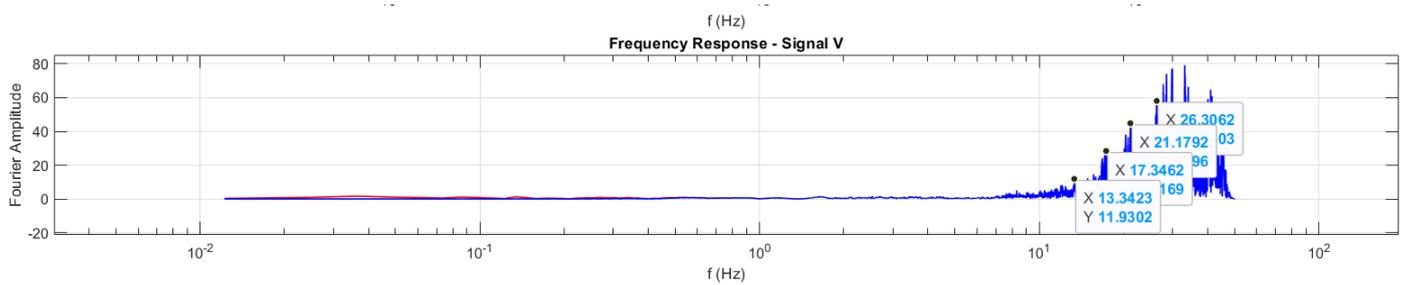
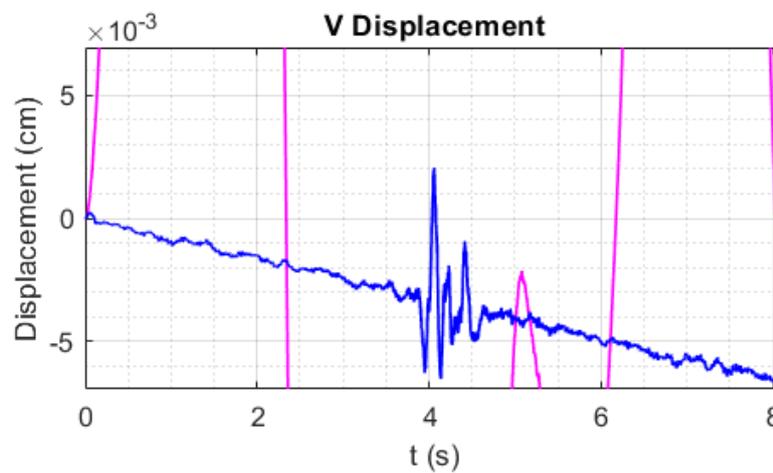
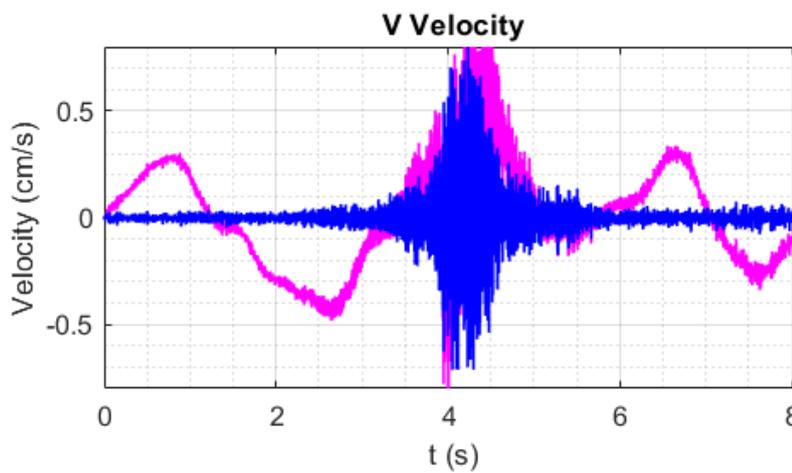
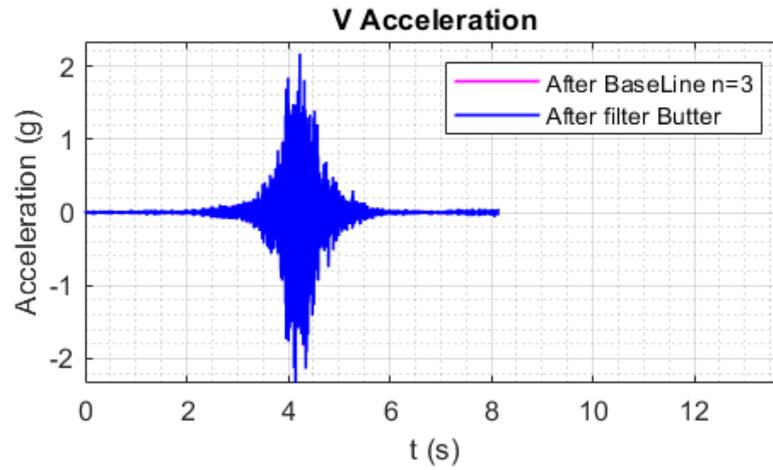
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %     = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 endian = 'big-endian';
33
34 if strcmp(endian,'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 elseif strcmp(endian,'little-endian')
37     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 %-----
42 for i=1:70
43     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 %-----
48 for i=71:105
49     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 %-----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0050	0.0823	0
0.0050	0.0816	0
0.0050	0.0869	0
0.0050	0.0914	0
0.0050	0.0871	0
0.0050	0.0804	0
0.0050	0.0836	0
0.0050	0.0916	0
0.0050	0.0868	0
0.0050	0.0792	0

fx >>







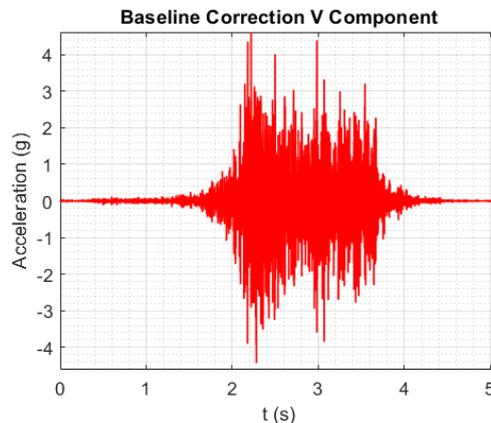
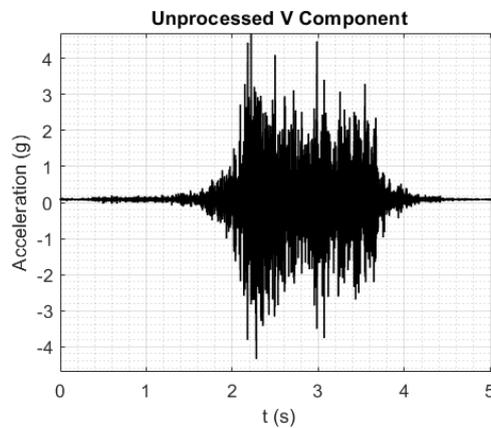
• Observación 29

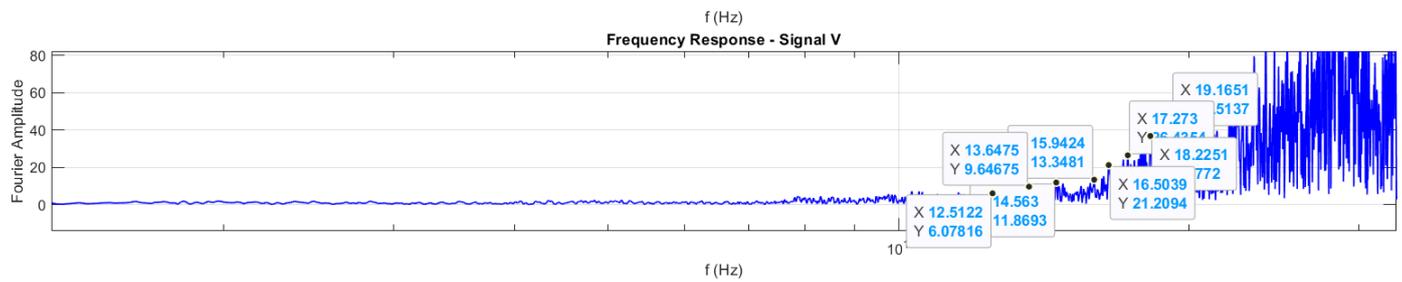
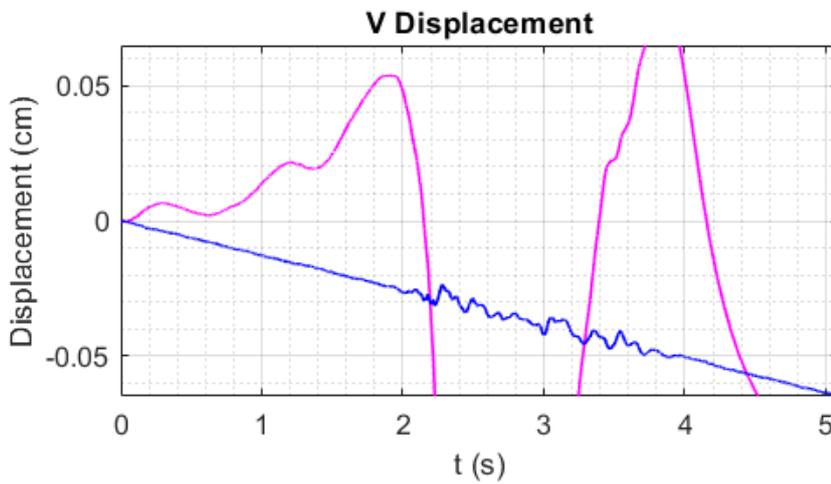
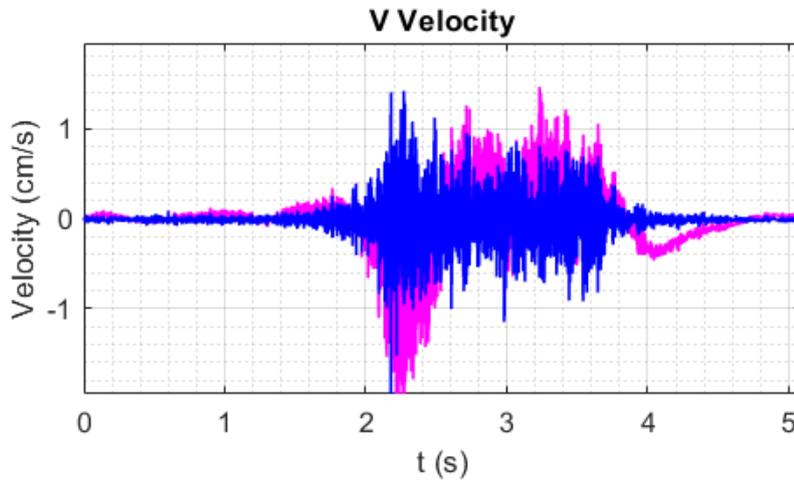
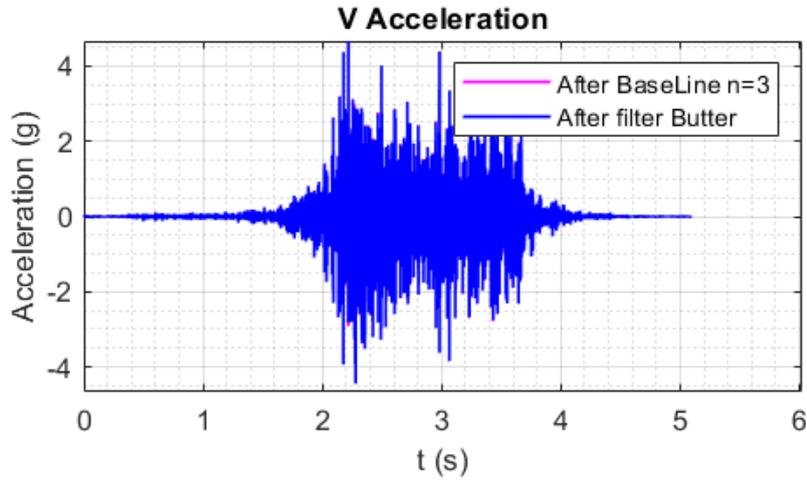
```
SedPro.m x FFSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 %   endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %   = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 - endian = 'big-endian';
33
34 - if strcmp(endian,'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 - elseif strcmp(endian,'little-endian')
37     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 - end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 %-----
42 - for i=1:70
43     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 - end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 %-----
48 - for i=71:105
49     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 - end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 %-----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0076	0.1035	0
0.0076	0.0933	0
0.0076	0.0813	0
0.0076	0.0800	0
0.0076	0.0825	0
0.0076	0.0850	0
0.0076	0.0881	0
0.0076	0.0874	0
0.0076	0.0859	0
0.0076	0.0839	0

f_g >>







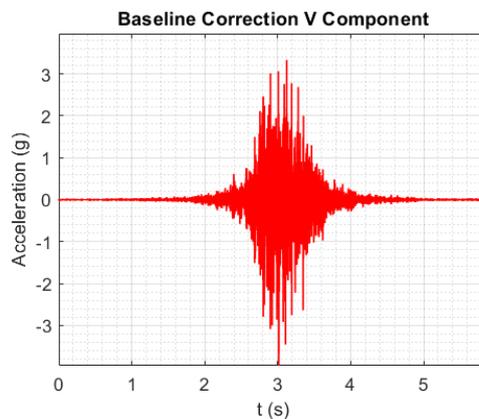
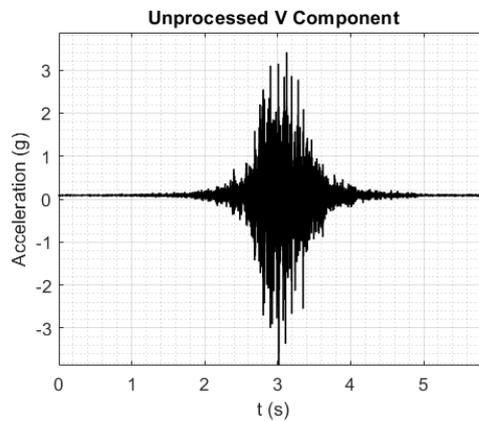
• Observación 30

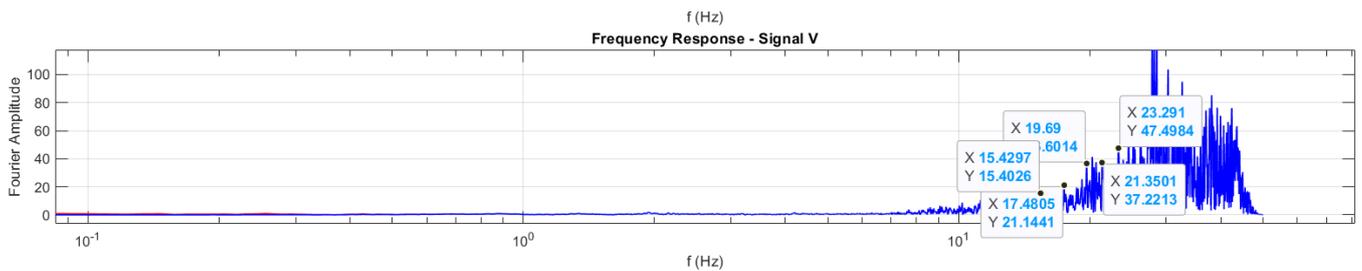
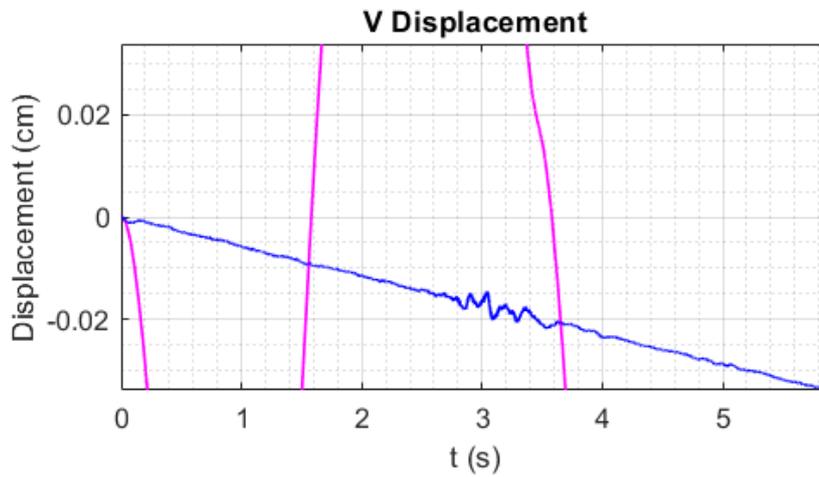
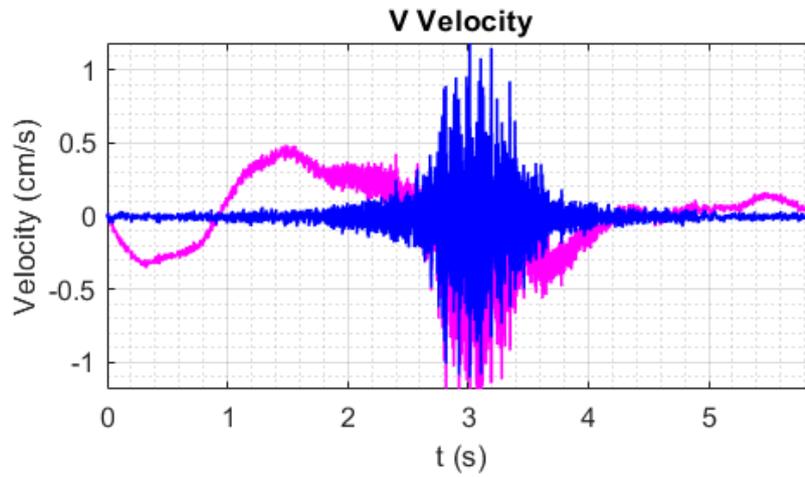
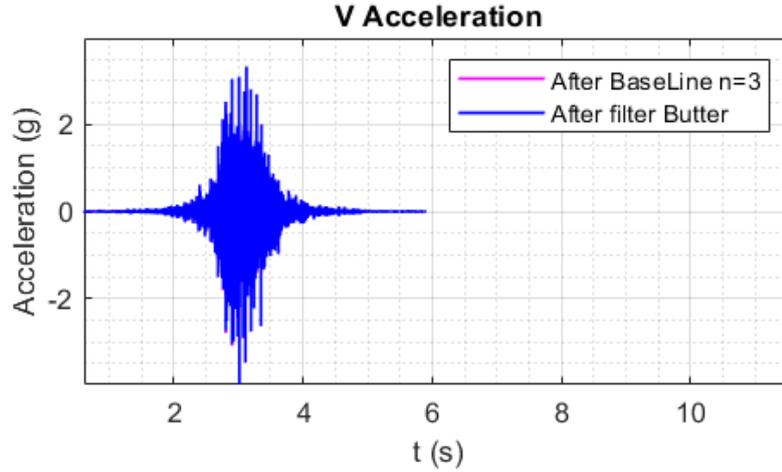
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %      = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 endian = 'big-endian';
33
34 if strcmp(endian,'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 elseif strcmp(endian,'little-endian')
37     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 -----
42 for i=1:70
43     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 -----
48 for i=71:105
49     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 -----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0043	0.0859	0
0.0043	0.1045	0
0.0043	0.1007	0
0.0043	0.0876	0
0.0043	0.0790	0
0.0043	0.0789	0
0.0043	0.0815	0
0.0043	0.0786	0
0.0043	0.0832	0
0.0043	0.0867	0

fx >>







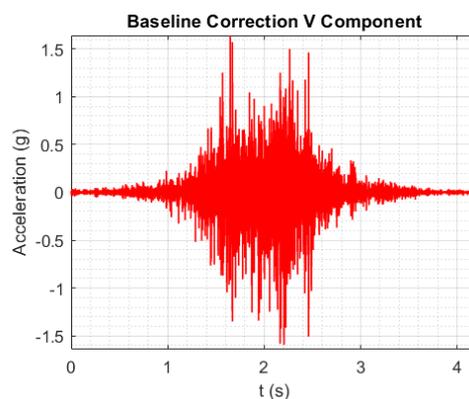
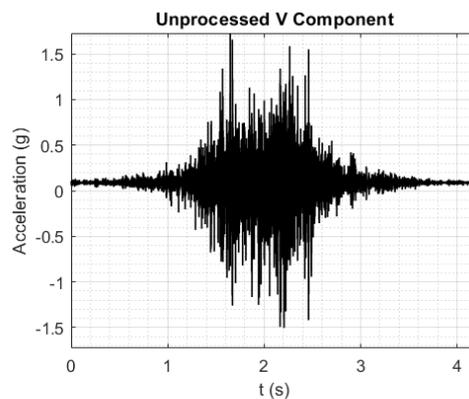
• Observación 31

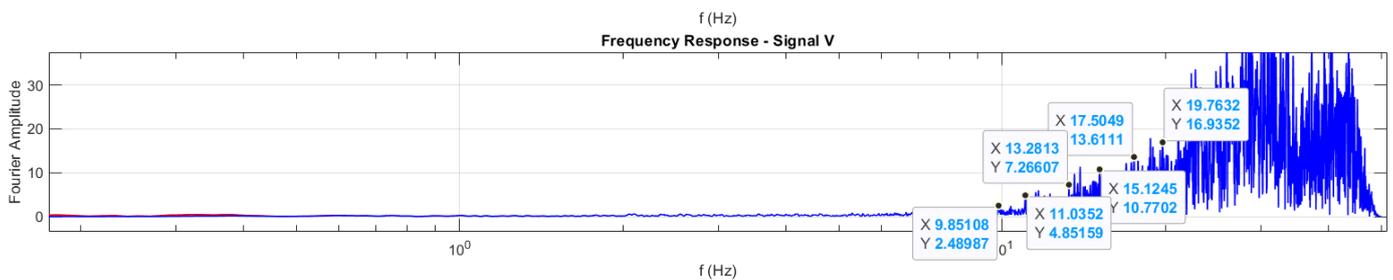
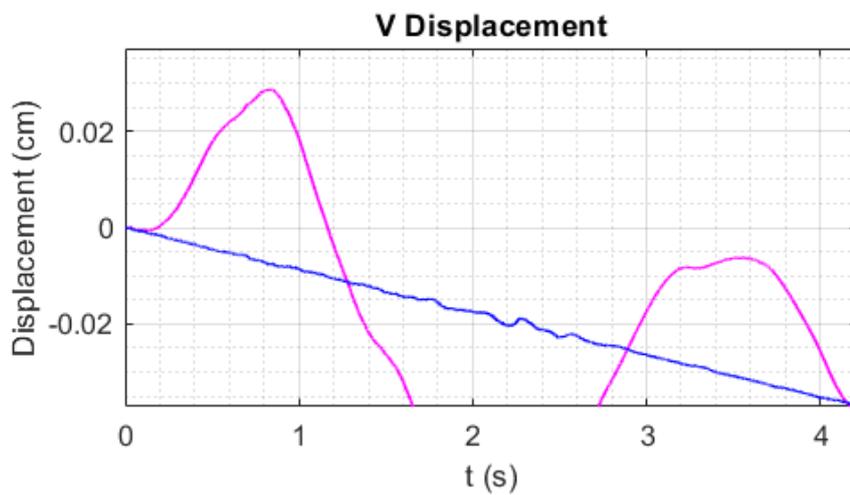
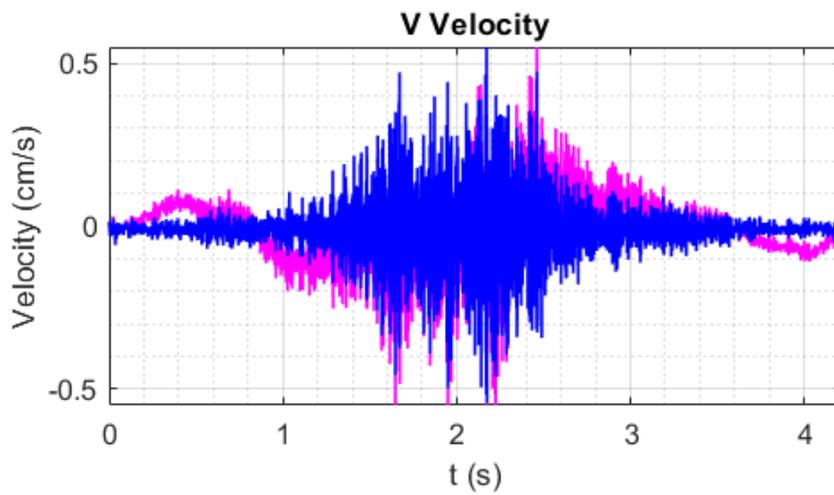
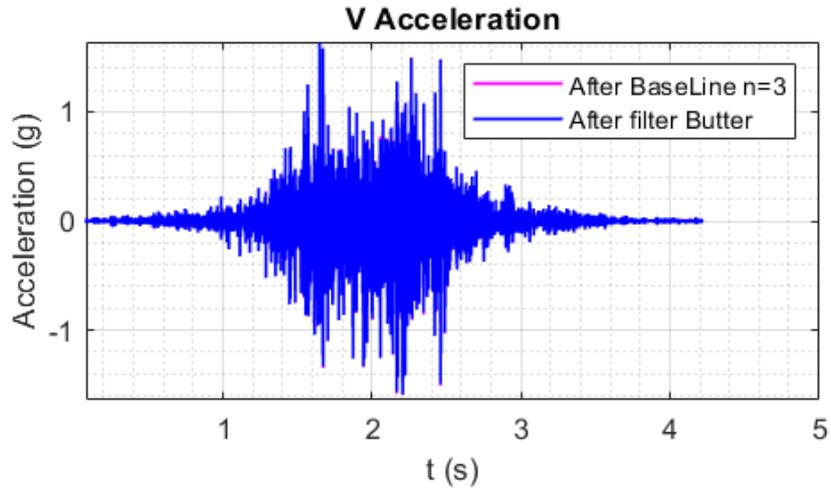
```
SedPro.m x FFSignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %     = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 - endian = 'big-endian';
33
34 - if strcmp(endian,'big-endian')
35 -     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 - elseif strcmp(endian,'little-endian')
37 -     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 - end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 -----
42 - for i=1:70
43 -     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 - end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 -----
48 - for i=71:105
49 -     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 - end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 -----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0019	0.0825	0
0.0019	0.0920	0
0.0019	0.0930	0
0.0019	0.0890	0
0.0019	0.0846	0
0.0019	0.0782	0
0.0019	0.0808	0
0.0019	0.0879	0
0.0019	0.0862	0
0.0019	0.0860	0

fx >>







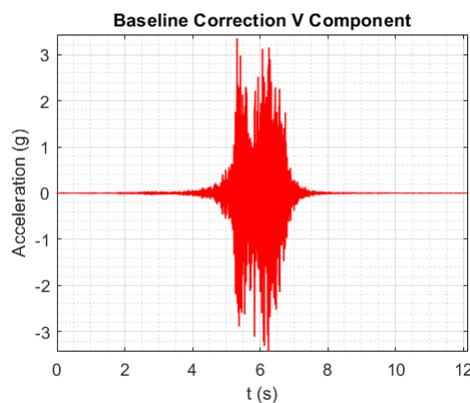
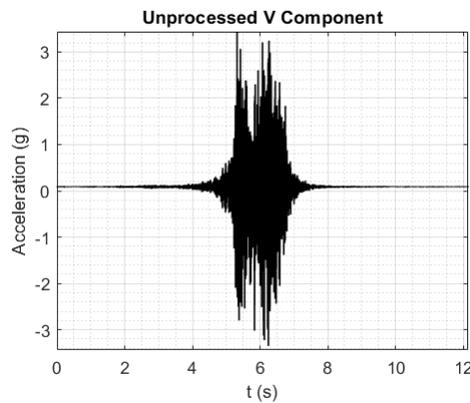
• Observación 32

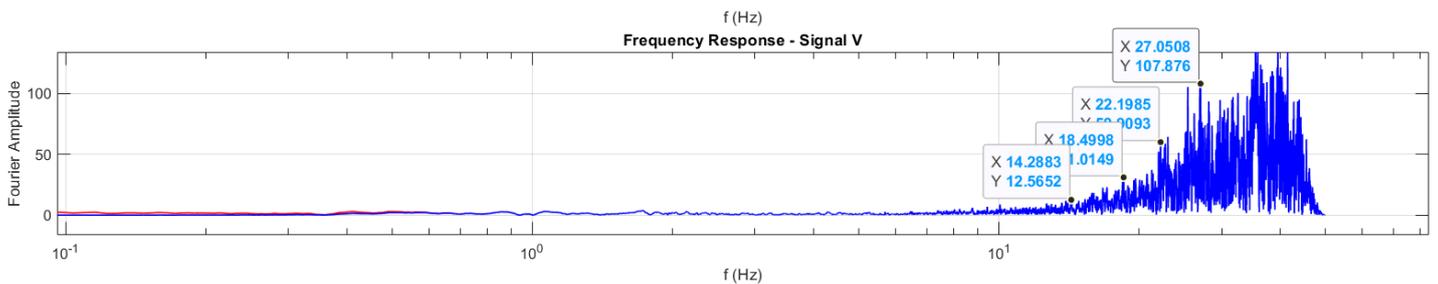
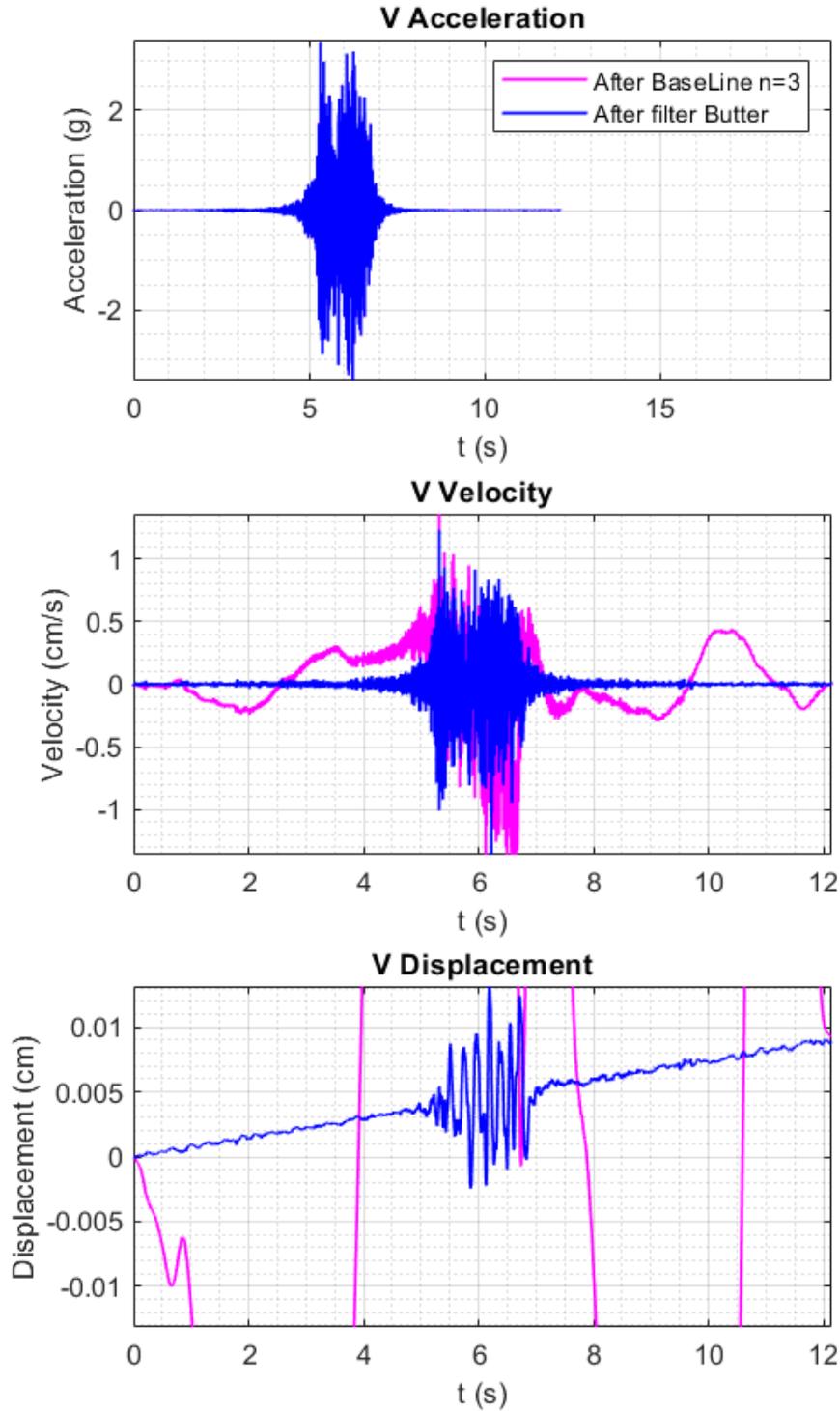
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %     = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 endian = 'big-endian';
33
34 if strcmp(endian,'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 elseif strcmp(endian,'little-endian')
37     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 -----
42 for i=1:70
43     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 -----
48 for i=71:105
49     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 -----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0053	0.0925	0
0.0053	0.0793	0
0.0053	0.0865	0
0.0053	0.0872	0
0.0053	0.0851	0
0.0053	0.0832	0
0.0053	0.0836	0
0.0053	0.0877	0
0.0053	0.0888	0
0.0053	0.0904	0

fx >>







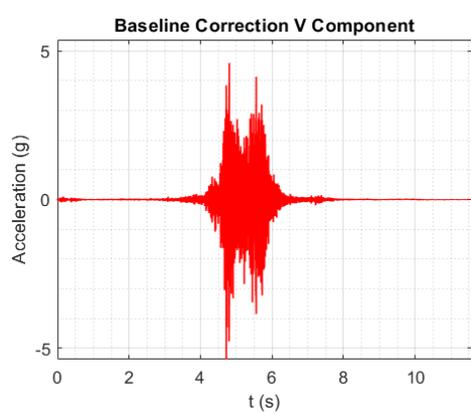
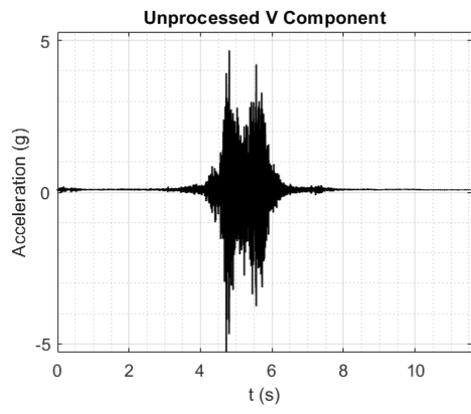
• Observación 33

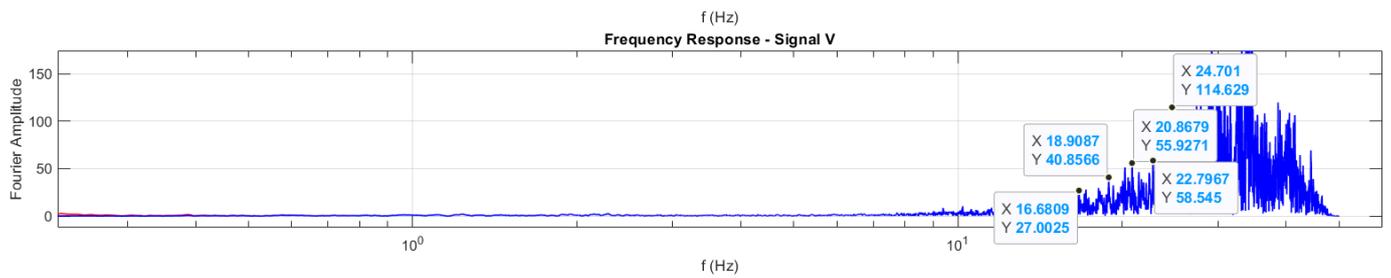
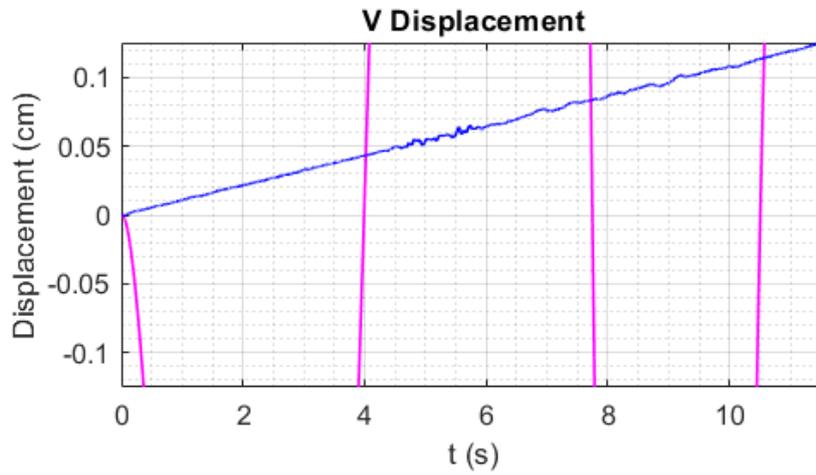
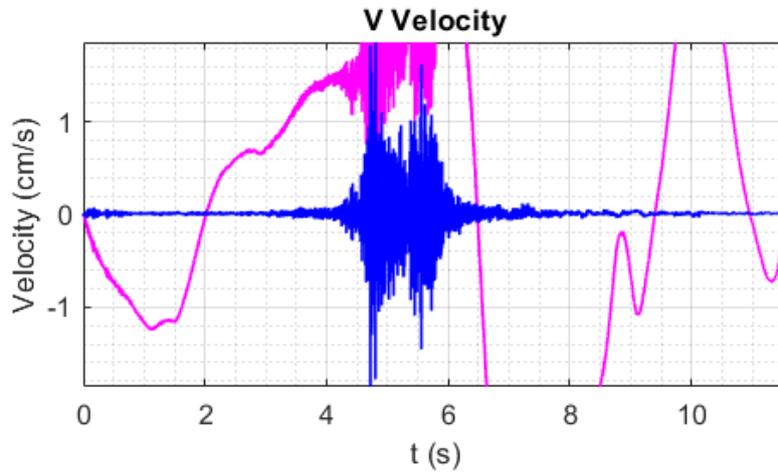
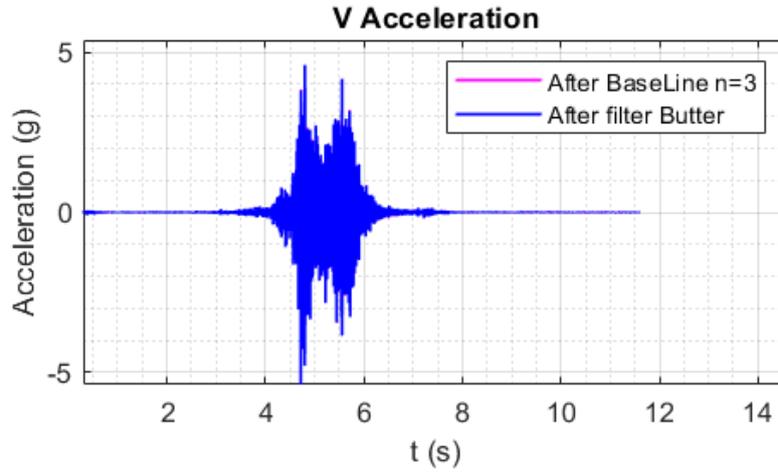
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %     = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
32 - endian = 'big-endian';
33
34 - if strcmp(endian,'big-endian')
35     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-be');
36 - elseif strcmp(endian,'little-endian')
37     fid = fopen(sacfile,'r','ieee-le');
38 - end
39
40 % read in single precision real header variables:
41 %-----
42 - for i=1:70
43     h(i) = fread(fid,1,'single');
44 - end
45
46 % read in single precision integer header variables:
47 %-----
48 - for i=71:105
49     h(i) = fread(fid,1,'int32');
50 - end
51
52
53 % Check header version = 6 and issue warning
54 %-----
55 % If the header version is not NVHDR == 6 then the sacfile is likely of the
56 % opposite byte order. This will give h(77) some ridiculously large
57 % number. NVHDR can also be 4 or 5. In this case it is an old SAC file
58 % and rsac cannot read this file in. To correct, read the SAC file into
```

Command Window

0.0082	0.0825	0
0.0082	0.0875	0
0.0082	0.0780	0
0.0082	0.0827	0
0.0082	0.0926	0
0.0082	0.0993	0
0.0082	0.0865	0
0.0082	0.0721	0
0.0082	0.0769	0
0.0082	0.0873	0

fx >>

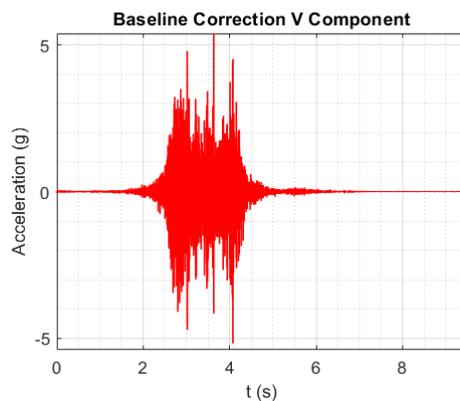
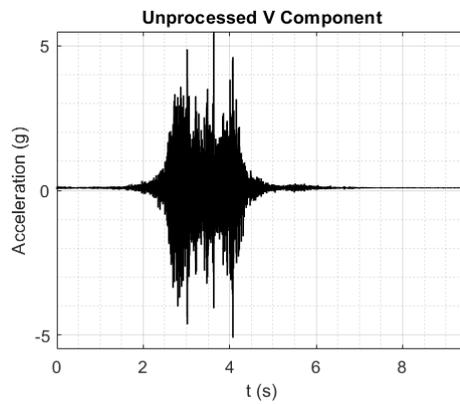


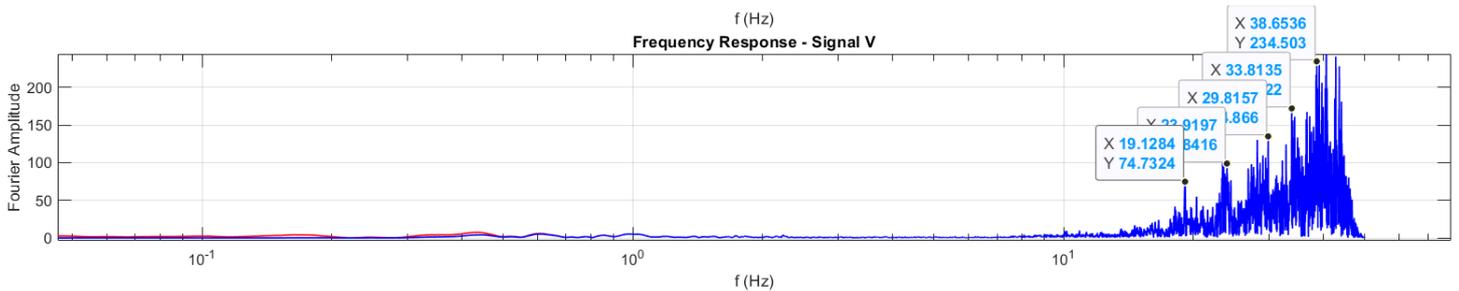
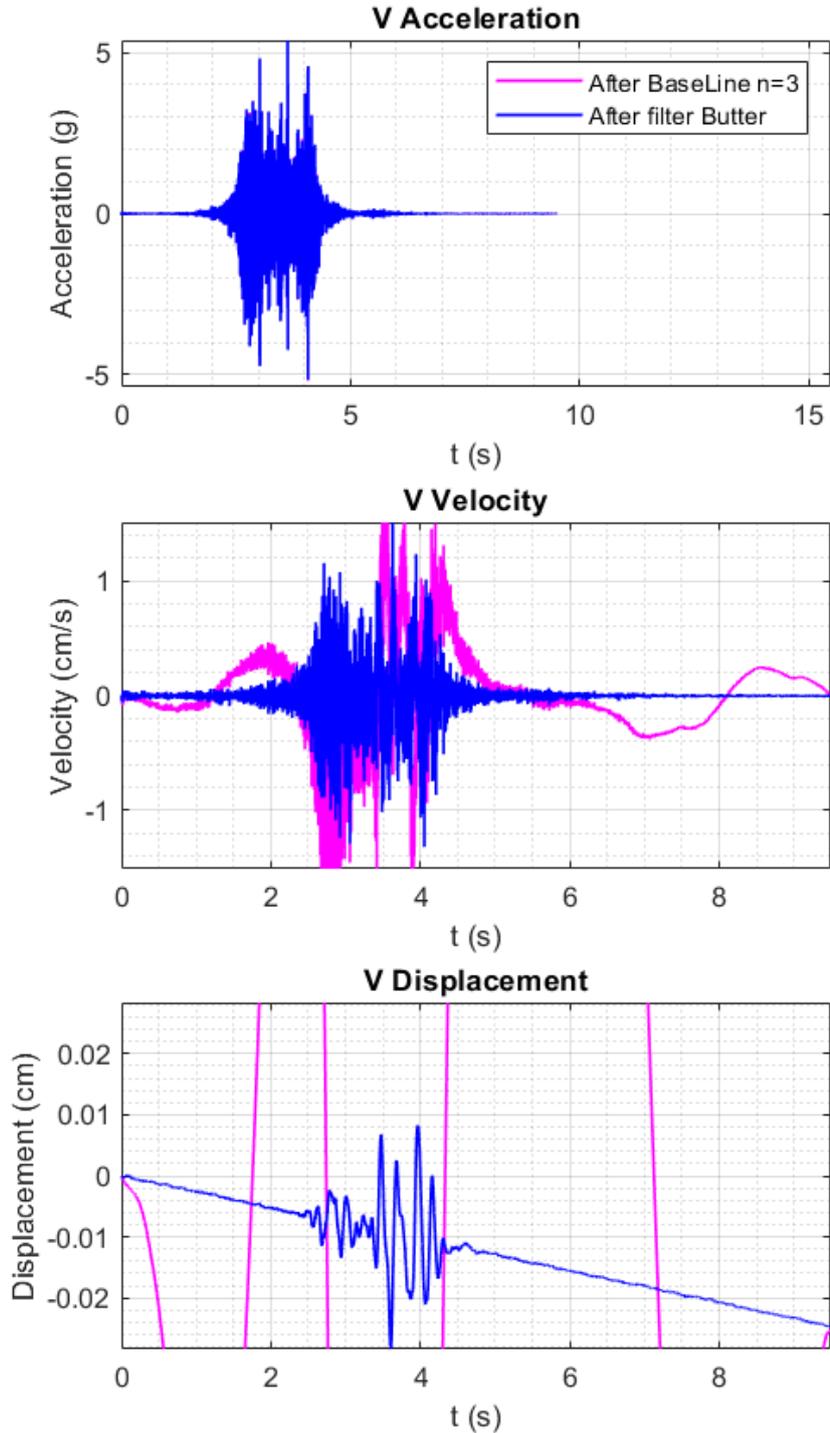




• Observación 34

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     %-----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0066 0.0832 0
0.0066 0.0816 0
0.0066 0.0815 0
0.0066 0.0855 0
0.0066 0.0901 0
0.0066 0.0927 0
0.0066 0.0840 0
0.0066 0.0811 0
0.0066 0.0824 0
0.0066 0.0836 0
fx >>
```

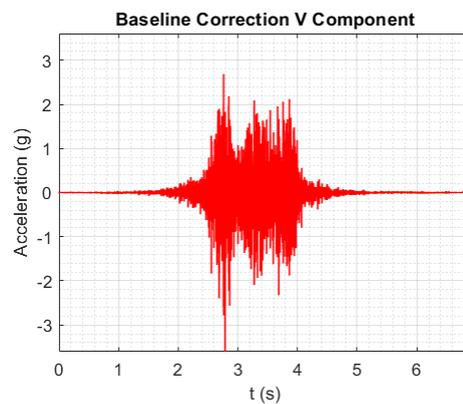
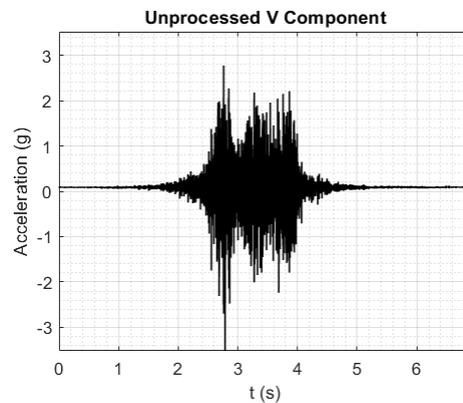


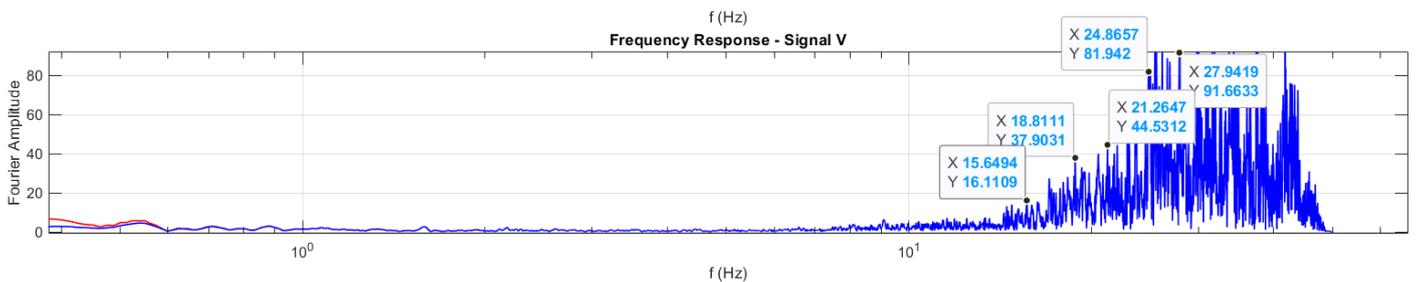
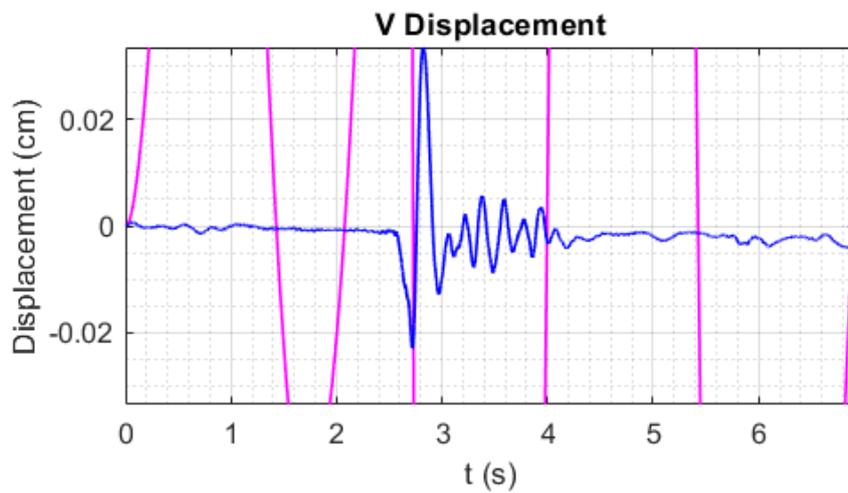
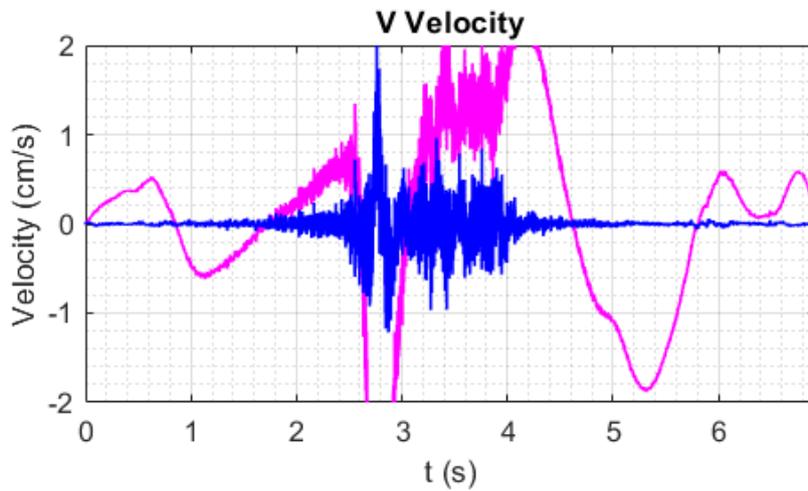
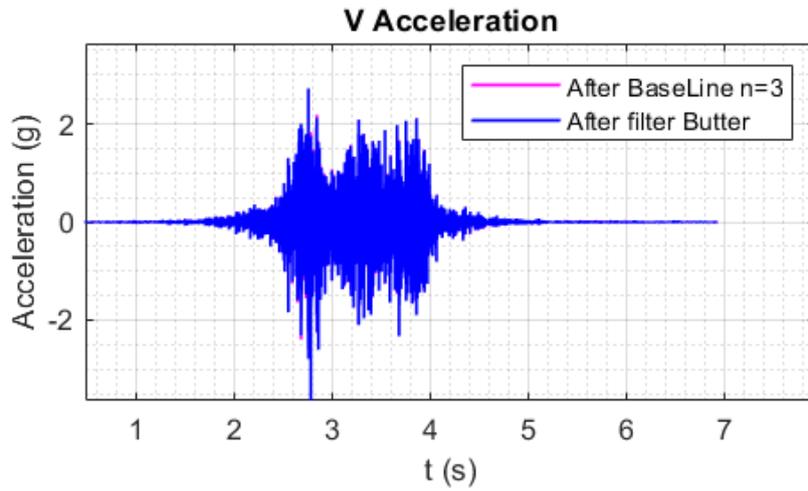




• Observación 35

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24     sacfile = varargin{nrecs};
25
26     %-----
27     % Default byte-order
28     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
29     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
30
31
Command Window
0.0044 0.0795 0
0.0044 0.0821 0
0.0044 0.0831 0
0.0044 0.0828 0
0.0044 0.0811 0
0.0044 0.0837 0
0.0044 0.0823 0
0.0044 0.0817 0
0.0044 0.0870 0
0.0044 0.0835 0
fx >>
```

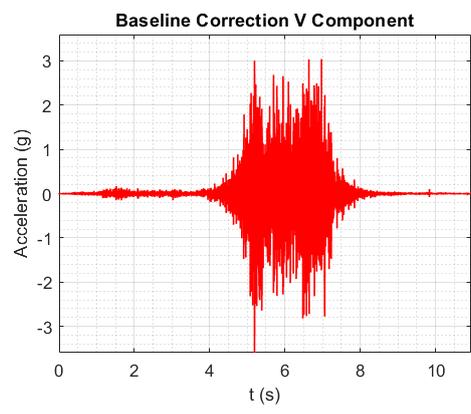
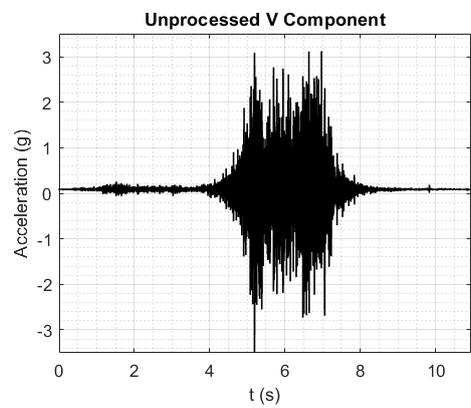






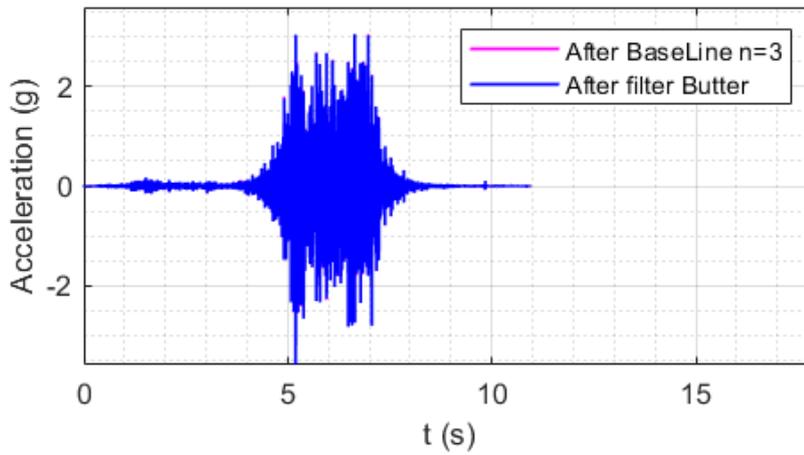
- Observación 36

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQLR, AAK] = rsac('SQLR.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24     sacfile = varargin{nrecs};
25
26     -----
27     %
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0065 0.0837 0
0.0065 0.0808 0
0.0065 0.0798 0
0.0065 0.0814 0
0.0065 0.0838 0
0.0065 0.0846 0
0.0065 0.0853 0
0.0065 0.0817 0
0.0065 0.0829 0
0.0065 0.0821 0
fx >>
```

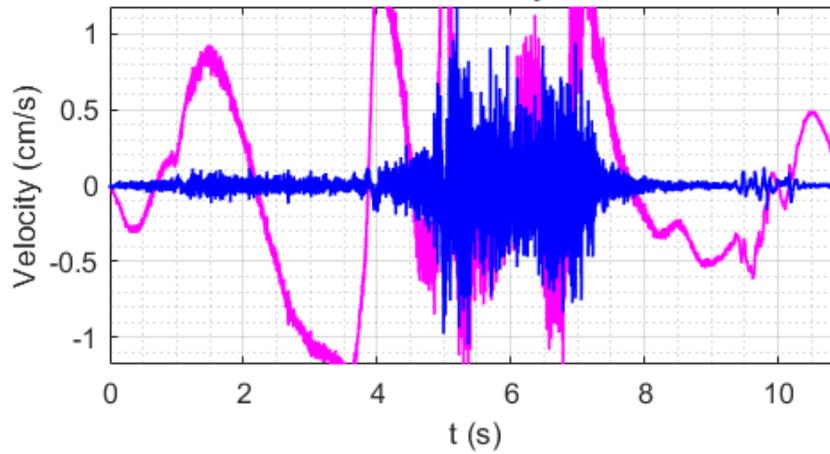




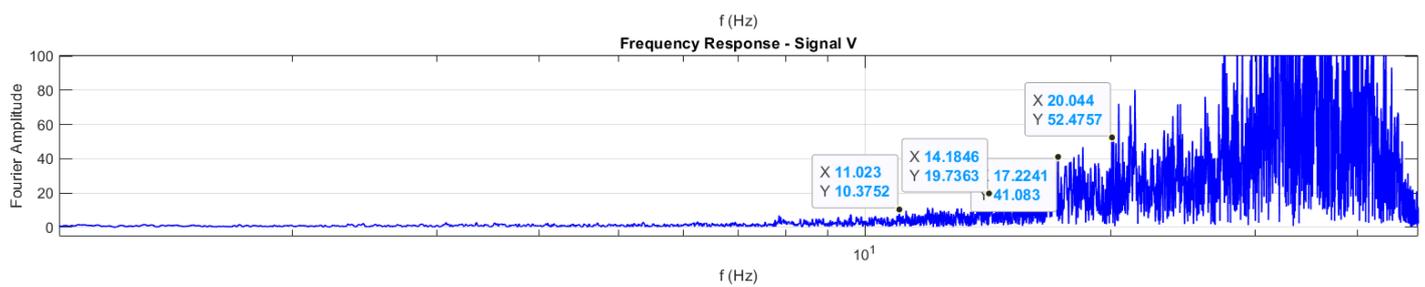
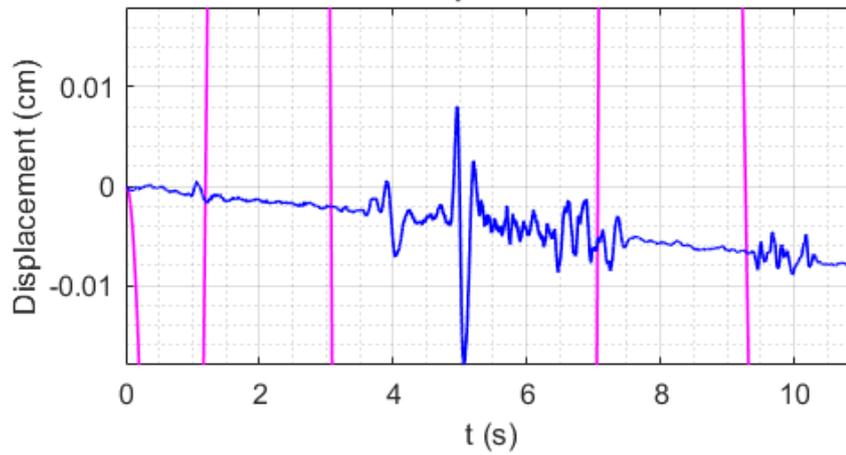
V Acceleration



V Velocity



V Displacement





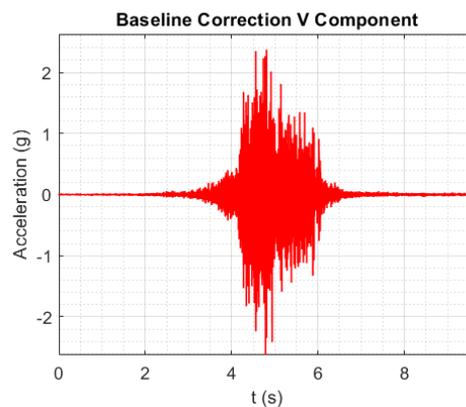
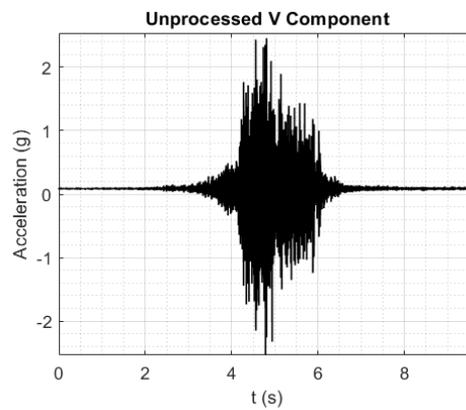
- Observación 37

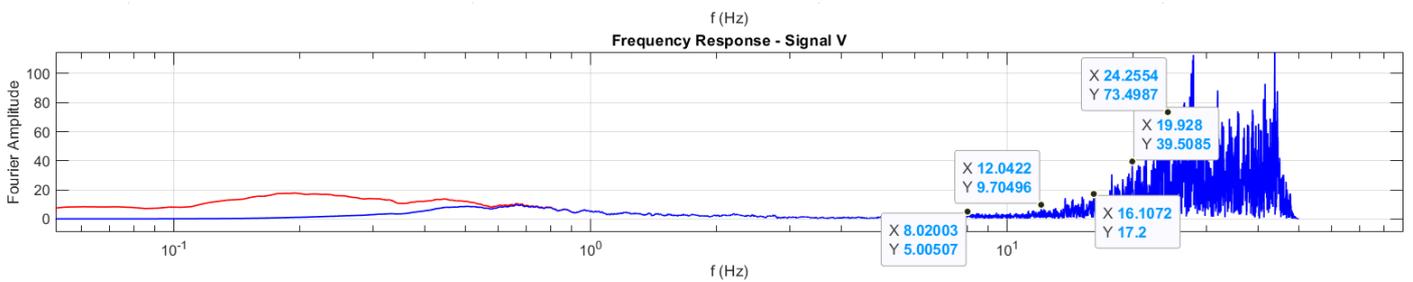
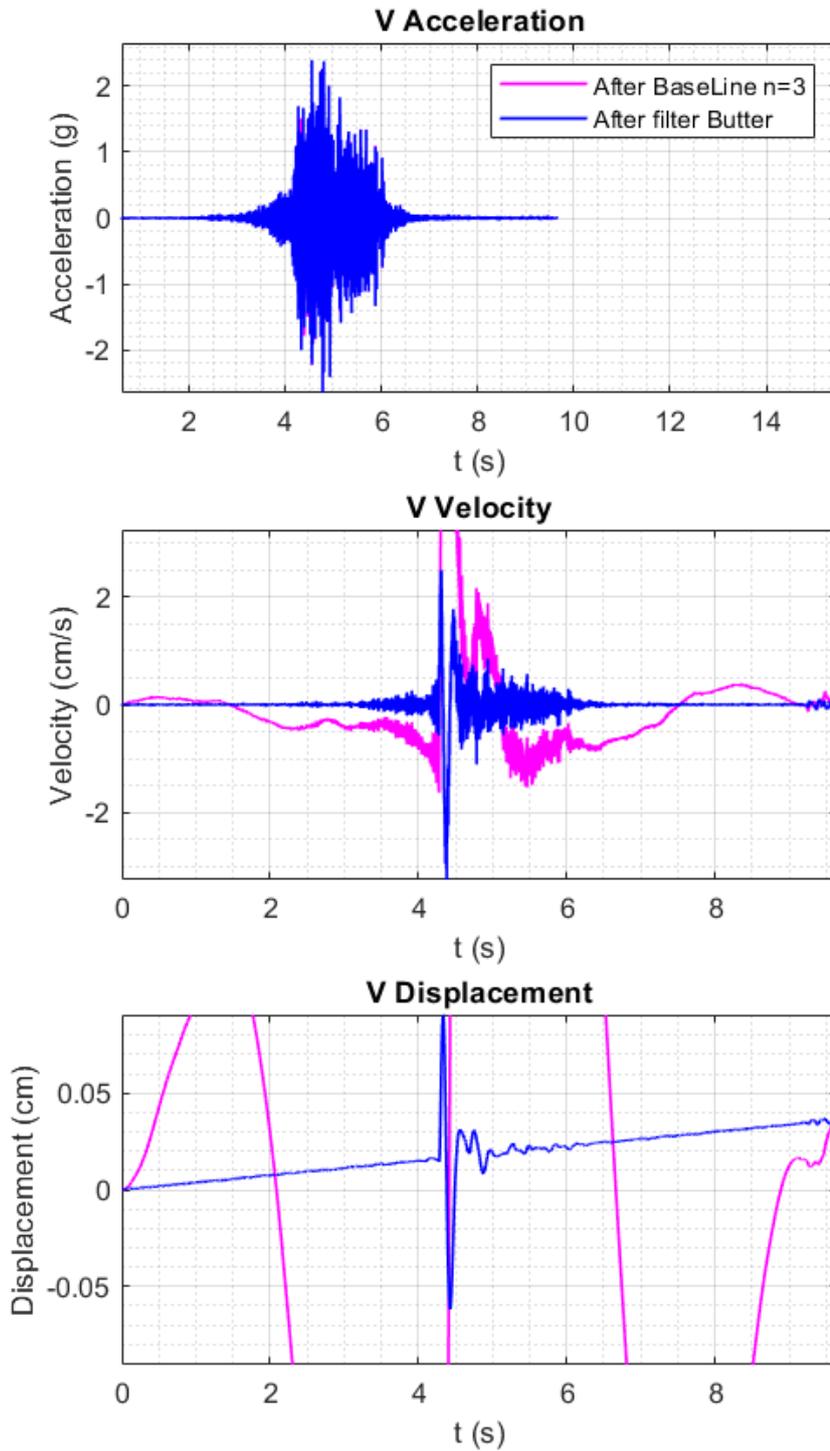
```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin)
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
```

Command Window

0.0048	0.0869	0
0.0048	0.0907	0
0.0048	0.0825	0
0.0048	0.0768	0
0.0048	0.0843	0
0.0048	0.0890	0
0.0048	0.0900	0
0.0048	0.0893	0
0.0048	0.0850	0
0.0048	0.0802	0

ft >>

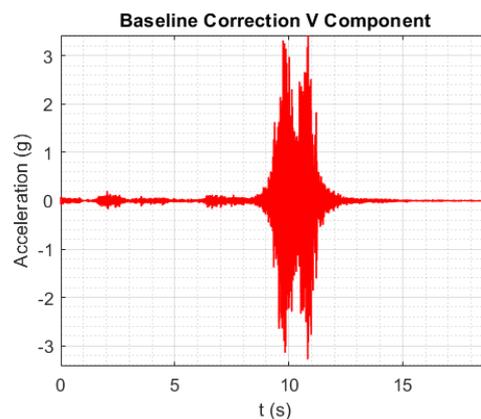
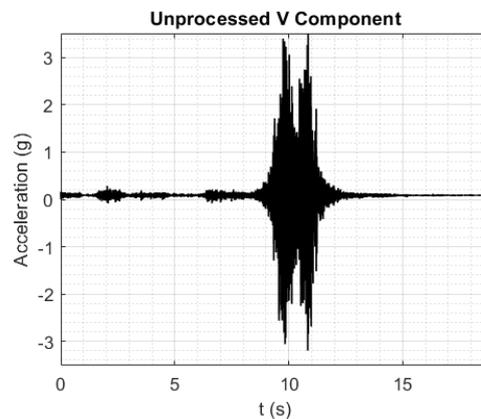


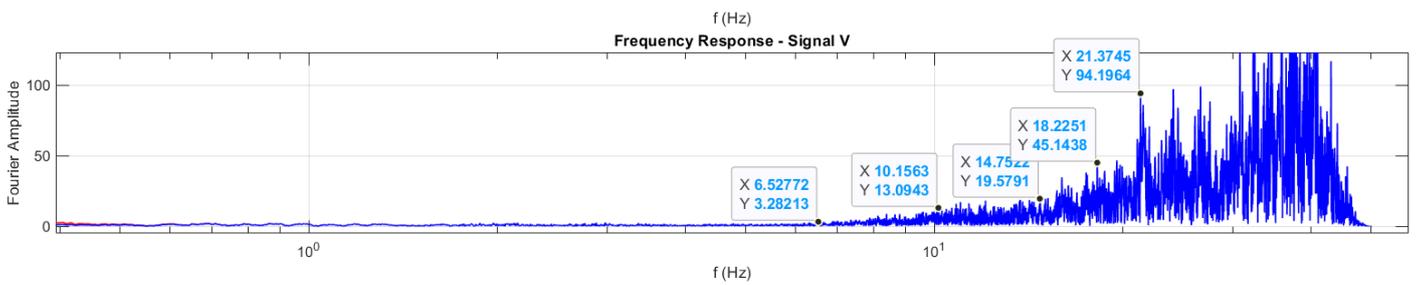
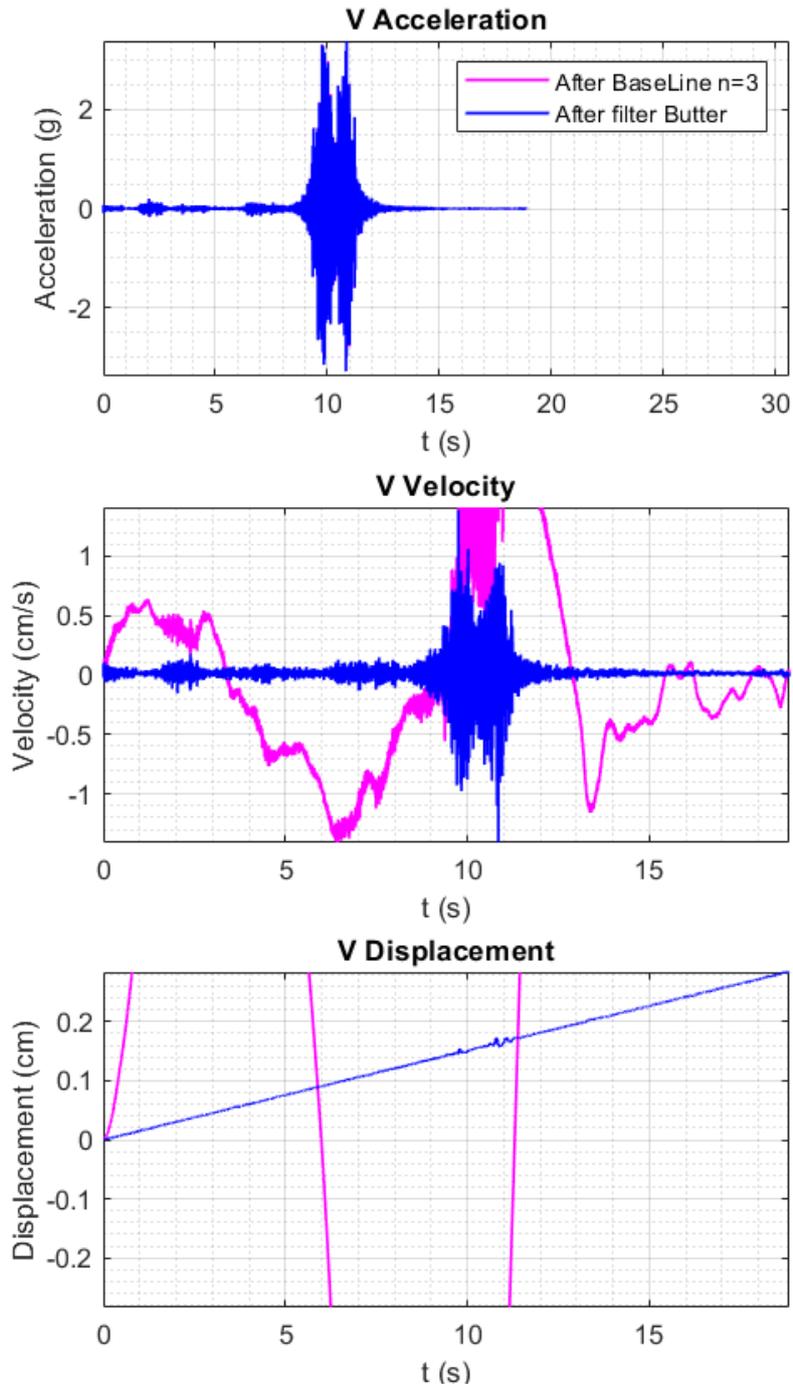




- Observación 38

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     % Default byte-order
29     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30     %          = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
Command Window
0.0063 0.0968 0
0.0063 0.1014 0
0.0063 0.0929 0
0.0063 0.0815 0
0.0063 0.0758 0
0.0063 0.0932 0
0.0063 0.0978 0
0.0063 0.0872 0
0.0063 0.0906 0
0.0063 0.0875 0
fx >>
```

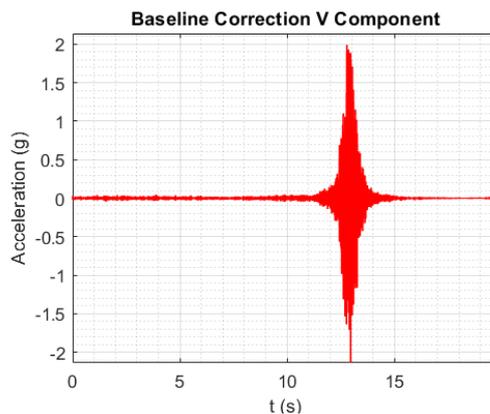
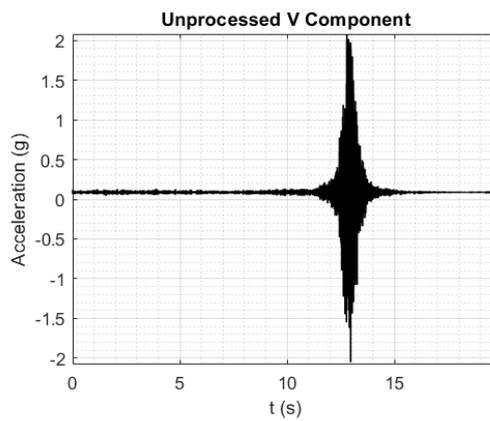


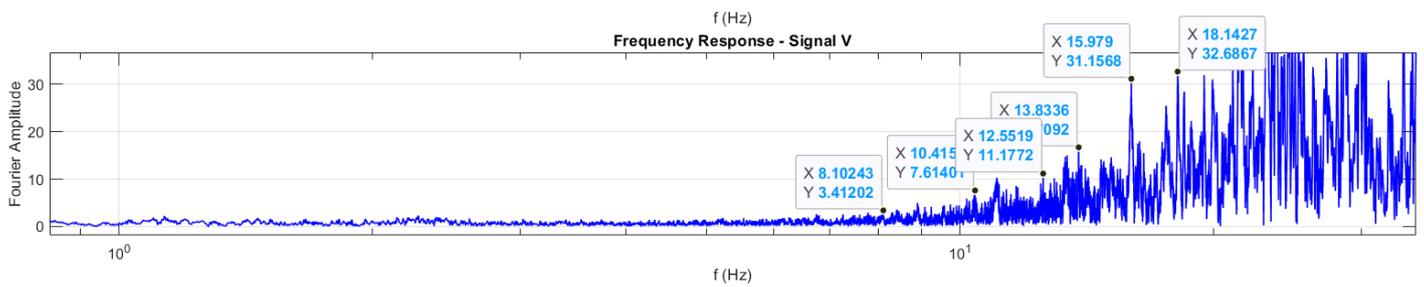
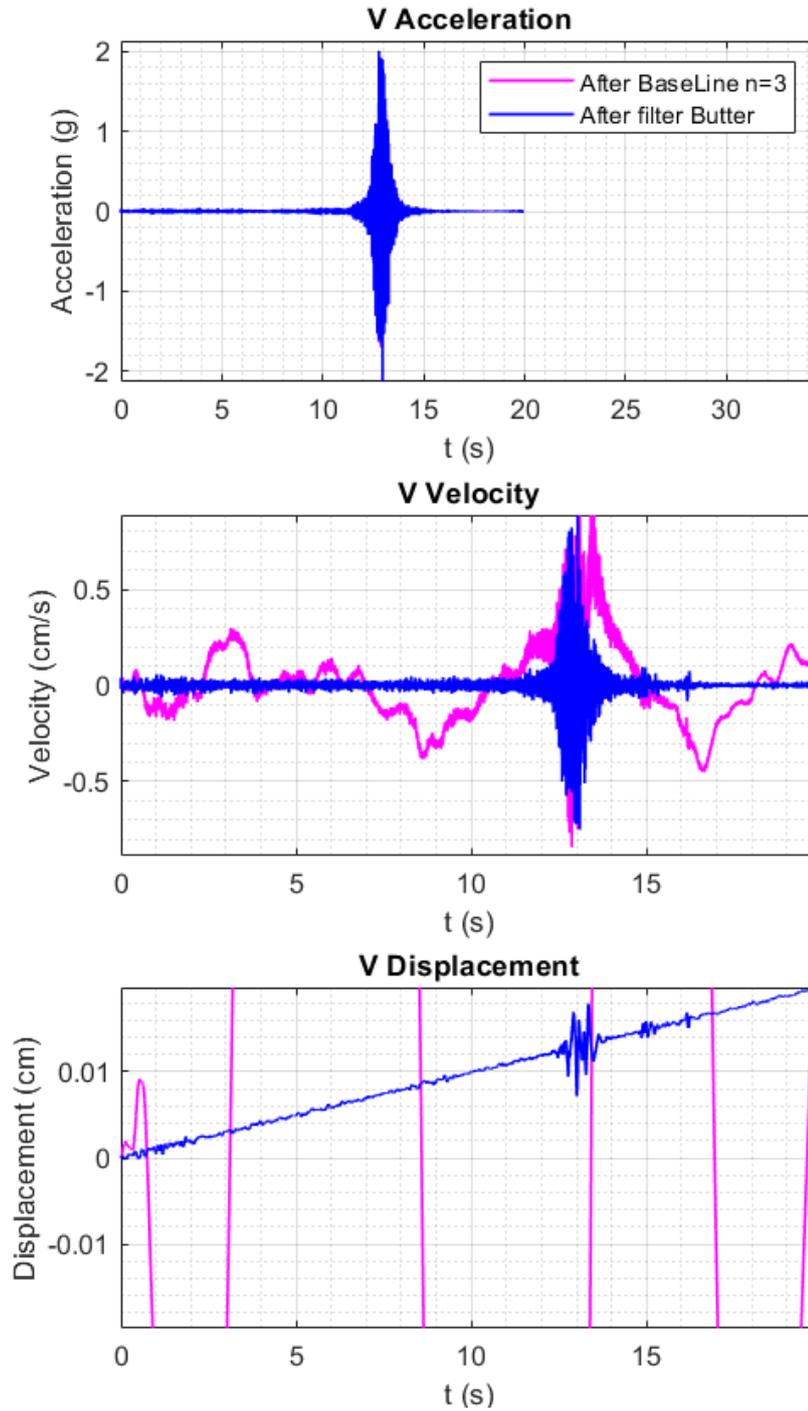




• Observación 39

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24
25     sacfile = varargin{nrecs};
26
27     -----
28     %
29     % Default byte-order
30     % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
31     %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
32
Command Window
0.0105 0.0896 0
0.0105 0.0877 0
0.0105 0.0868 0
0.0105 0.0846 0
0.0105 0.0806 0
0.0105 0.0843 0
0.0105 0.0887 0
0.0105 0.0886 0
0.0105 0.0866 0
0.0105 0.0815 0
fx >>
```







• Observación 40

```
SedPro.m x FFTsignal.m x NewmarkRS.m x rsac.m x +
1 %RSAC Read SAC binary files.
2 % RSAC('sacfile') reads in a SAC (seismic analysis code) binary
3 % format file into a 3-column vector.
4 % Column 1 contains time values.
5 % Column 2 contains amplitude values.
6 % Column 3 contains all SAC header information.
7 % Default byte order is big-endian. M-file can be set to default
8 % little-endian byte order.
9 %
10 % usage: output = rsac('sacfile')
11 %
12 % Examples:
13 %
14 % KATH = rsac('KATH.R');
15 % plot(KATH(:,1),KATH(:,2))
16 %
17 % [SQRL, AAK] = rsac('SQRL.R','AAK.R');
18 %
19 % by Michael Thorne (4/2004) mthorne@asu.edu
20
21 function [varargout] = rsac(varargin);
22
23 for nrecs = 1:nargin
24     sacfile = varargin{nrecs};
25
26
27 -----
28 % Default byte-order
29 % endian = 'big-endian' byte order (e.g., UNIX)
30 %         = 'little-endian' byte order (e.g., LINUX)
31
```

Command Window

0.0063	0.0852	0
0.0063	0.0868	0
0.0063	0.0879	0
0.0063	0.0871	0
0.0063	0.0749	0
0.0063	0.0770	0
0.0063	0.0823	0
0.0063	0.0963	0
0.0063	0.0953	0
0.0063	0.0851	0

f >>

