



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

VIBRACIÓN DEBIDO A OLEAJE EN EDIFICIOS UBICADOS EN ZONAS COSTERAS

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

RODRIGO ALFREDO AILLAPAN QUINTEROS

PROFESOR GUÍA:
RUBEN BOROSCHEK KRAUSKOPF

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
RENE LAGOS CONTRERAS
TOMÁS GUENDELMAN BEDRACK

SANTIAGO DE CHILE
JULIO DE 2012

VIBRACIÓN DEBIDO A OLEAJE EN EDIFICIOS UBICADOS EN ZONAS COSTERAS

Este trabajo experimental fue realizado en una playa de la zona norte de Algarrobo (V Región); sector con alta cantidad de edificios residenciales, donde en algunos de ellos, los usuarios han reportado percepción de vibraciones en elementos estructurales como losas y no estructurales como ventanas. Este estudio es una de las primeras investigaciones sobre la transmisión de vibraciones inducidas en estructuras debido al impacto de olas en el suelo.

El estudio es de tipo experimental y corresponde a mediciones en el suelo de playa de zonas próximas a rompientes de olas. Estas campañas se realizaron entre los meses de mayo y septiembre del año 2011.

Para el análisis del problema, se definió el rompiente de oleaje tipo *plunging* como aquel que induce las mayores demandas de aceleraciones debido al impacto en la costa. Esta forma de rompiente se encuentra presente durante todo el año en la zona donde se realizaron las mediciones. Además, para complementar el estudio de las propiedades del oleaje, se analizaron reportes de climas de olas, reconociendo altura media de olas, periodo de llegada a la costa y temporada en el que existe mayor oleaje.

Los análisis de las mediciones de aceleración se efectúan para los registros en su extensión total y también segmentados para impactos de olas independientes. Esto permite estimar, por cada ola, las aceleraciones máximas, espectros de respuesta y frecuencias predominantes.

En el suelo, las mayores aceleraciones se encuentran en dirección ortogonal a la costa. El valor máximo registrado durante el período de estudio es de $1.9 \cdot 10^{-3}$ g. A partir de las aceleraciones máximas y de su ubicación geográfica se ha obtenido una parametrización para la curva de atenuación de aceleraciones en función de la distancia a la zona de rompiente de olas. Esta ecuación se asemeja a las expresiones para atenuación de energía de ondas de origen sísmico. En la línea de ubicación de los edificios (200 metros desde la zona de rompiente), la reducción de las amplitudes es hasta el 21% del valor máximo registrado.

Se han determinado los espectros de respuesta de aceleración para los registros estudiados, considerando razones de amortiguamiento crítico de 2, 5, 10 y 20%. Para el espectro de pseudo aceleraciones el rango de periodo de mayor demanda para las sollicitaciones debido a oleaje se encuentra entre 0.05 y 0.35 [s].

Para el registro que contiene las mayores magnitudes de aceleración en superficie, se realiza un análisis de las razones de cambio de espectro según nivel de amortiguamiento. Se ha verificado que para el nivel de respuesta medido la expresión de escalamiento de amortiguamiento de la norma NCh2369 es apropiada.

Además, se incluye un análisis de estimación de coeficientes para una curva de ajuste a la curva envolvente espectros de aceleración (Entre 0 y 0.4 [s] de periodo), de manera similar al parámetro α de la norma NCh433. En cada eje, se alcanzan aproximaciones desde el 76% a la curva original.

*Al mar de Cabuil,
A la lluvia de Coipuco*

Agradezco a la infancia de Fabián, que él es mi barrio orgullo y juego sudado

A los empujes de Paola, Cristian, Carito y Jorge, los deseos en mi desayuno de colegio diario

A la familia de esos días

Al día que gané una caja de chocolates en la Vega, mismo día que le dije a mis padres que si llegaría

Al trawun con los amigos del colegio, la ciudad de oficios,

todos los puntos cardinales juntos en incomodos asientos de madera

A los amigos de la banda, el alargue del conocimiento de las noches de mis días

Al insistir a los procesos

A los amigos de la facultad, es mejor levantar las tareas juntos, el aguante y risa en la juventud

Al profesor Rubén y el equipo RBA, aprender fortaleza en la personalidad

Al día en que llegué al mar

Al día en que saludé a la poesía obrera, miré una revolución ejemplo de valor

A Araucaria y sus ojos de una historia que vino a la ciudad a llamarse

A mis días que vienen contentos hacia mí

A la familia de estos días

Al almuerzo delicioso de mi madre María Elena, al colorido triciclo de mi padre Juan

Mírense y sonrían todos.

penen ka pangui purrun

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivos	1
1.2. Alcances	2
2. Planteamiento del problema en estudio	3
2.1. Descripción del fenómeno en estudio	3
2.2. Caracterización del tipo de oleaje	4
3. Descripción de zona de medición.	8
3.1. Descripción geográfica	8
3.2. Propiedades del suelo	11
3.3. Clima de olas de la región	14
4. Descripción de procedimiento de registro experimental	18
4.1. Mediciones en suelo:	19
4.1.1. Coordenadas de puntos de medición	19
4.1.2. Sensores utilizados	22
4.2. Mediciones en interior de edificio:	24
4.2.1. Coordenadas de puntos de medición	24
4.2.2. Sensores utilizados	25
5. Procesamiento de registros en Playa	26
5.1. Análisis de registros extensos.	26
5.1.1. Series de Tiempo	26
5.1.2. Análisis de Frecuencias	30
5.2. Análisis individual de olas	37
5.2.1. Series de tiempos de olas	37
5.2.2. Análisis de Frecuencias	38
5.2.3. Atenuación de magnitudes de aceleración en el suelo	46
5.2.4. Espectros de aceleraciones	68

5.2.5. Suma acumulada de demanda de aceleraciones	107
5.2.6. Razon de cambio	117
6. Procesamiento de registros en Edificio	121
6.1. Propiedades modales del edificio	121
6.2. Análisis de aceleraciones en Piso 1	123
6.3. Análisis de aceleraciones en Piso 14	125
6.4. Comparación de registro de aceleraciones en Piso 1 y Piso 14 de edificio. . .	129
7. Resultados y conclusiones	131
Bibliografía	134
A. Anexo Figuras de registros	136
A.1. Series de tiempo	136
A.2. Transformada de Fourier	142
A.3. Espectros de potencia (PSD)	145
B. Anexo Series de tiempo por ola F0626	151
C. Anexo Series de tiempo por ola F0710	158
D. Anexo Series de tiempo por ola F0829	180

Índice de figuras

2.1. Diagrama descripción de transmisión de vibraciones debido a oleaje”	4
2.2. Diagrama descripción tipos de rompientes de olas, [?]	5
2.3. Diagrama descripción tipos de rompientes de olas	6
3.1. Ubicación geográfica de zona de estudio	9
3.2. Perfiles transversales playa. Perfiles A,B	10
3.3. Perfiles transversales playa. Perfiles C, D	11
3.4. “Ubicación de boyas en Región de Valparaíso”	14
3.5. “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya S4ADW”	15
3.6. “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya Tryaxis”	16
3.7. “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya Watchkeeper”	16
3.8. “Información de propiedades de oleaje para el día 10 de Julio, en la zona de Algarrobo”	17
4.1. Ubicación puntos de medición F0626	20
4.2. Ubicación puntos de medición F0710	21
4.3. Ubicación puntos de medición F0829	22
4.4. Vista en planta de la disposición triaxial de acelerómetros en playa	23
4.5. “Ejemplo de posicionamiento de arreglo triaxial de sensores”	24
4.6. “Ubicación puntos de medición F0910”	24
4.7. “Disposición acelerómetros en planta de edificio. Piso 1”	25
4.8. Vista en planta de disposición acelerómetros expandida en planta de edificio. Piso 14. Sensor 1: OC1, sensor 2: OC2, sensor 3: PC1	25
5.1. Comparación de Series de tiempo.	27
5.2. Serie de tiempo separadas por eje Registro 1	28
5.3. Serie de tiempo separadas por eje Registro 2	29
5.4. Serie de tiempo Fecha 0626 Registro 1. Zoom de visualización de ola	30
5.5. Espectro de frecuencias Registros sin filtro. Fecha 0626 Registro 1.	31
5.6. Espectro de frecuencias. F0626 Registro 1. a) Eje OC. b) Eje PC c) Eje VE	32

5.7. Comparación de registros bajo la aplicación de un filtro de frecuencias pasa banda	33
5.8. Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje OC	34
5.9. Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje PC	34
5.10. Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje VE	35
5.11. Espectro de Densidad de Potencia. Fecha 0626 Registro 1	36
5.12. Series de Tiempo segmentadas. Fecha 0626 Registro 1	37
5.13. Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje OC	38
5.14. Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje PC	39
5.15. Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje VE	39
5.16. PSD Fecha 0626 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14	40
5.17. PSD Fecha 0626 Registro 2. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14	41
5.18. PSD Fecha 0626 Registro 3. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14	42
5.19. Ejemplo PSD Fecha 0710 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14	43
5.20. Ejemplo PSD Fecha 0829 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14	44
5.21. Registro Análisis Nakamura	45
5.22. Frecuencias de suelo según Análisis Nakamura. Razones entre ejes	45
5.23. Frecuencias de suelo según Análisis Nakamura. Zoom razones entre ejes	46
5.24. Máxima aceleración en el suelo debido a impacto de ola. F0626 Reg 1 Ola 2	47
5.25. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje OC	51
5.26. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje PC	51
5.27. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje VE	52
5.28. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje OC	56
5.29. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje PC	56
5.30. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje VE	57
5.31. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje OC	61
5.32. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje PC	61
5.33. Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje VE	62
5.34. Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje OC, (b) Eje PC	63
5.35. Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje VE, (b) Ejes Combinados	64
5.36. Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0829. (a) Eje OC, (b) Eje PC	65

5.37. Máximas solicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje VE, (b) Ejes Combinados	66
5.38. Curva de ajuste para atenuación de aceleraciones en suelo.	67
5.39. Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje OC	68
5.40. Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje PC	69
5.41. Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje VE	69
5.42. Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 OC	70
5.43. Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 PC	71
5.44. Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 VE	71
5.45. Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 OC	72
5.46. Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 PC	73
5.47. Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 VE	73
5.48. Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	74
5.49. Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	75
5.50. Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	76
5.51. Envoltente espectros de aceleraciones. F0626 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	77
5.52. Envoltente espectros de aceleraciones. F0626 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	78
5.53. Envoltente espectros de aceleraciones. F0626 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3	79
5.54. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	80
5.55. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	81
5.56. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	82
5.57. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	83
5.58. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	84
5.59. Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	85
5.60. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	86
5.61. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	87

5.62. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	88
5.63. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	89
5.64. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	90
5.65. Envoltente espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11	91
5.66. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”	92
5.67. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”	93
5.68. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”	94
5.69. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”	95
5.70. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”	96
5.71. “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”	97
5.72. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	98
5.73. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9	99
5.74. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	100
5.75. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9	101
5.76. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6	102
5.77. Envoltente espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9	103
5.78. Curvas de ajuste envoltente espectros aceleraciones según NCh 433 T_0 variable en cada eje	105
5.79. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1.\beta = 0,02$ (a) Eje OC	107
5.80. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1.\beta = 0,02$ (a) Eje PC	108
5.81. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1.\beta = 0,02$ (a) Eje VE	108

5.82. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,05$ (a) Eje OC	109
5.83. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,05$ (a) Eje PC	109
5.84. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,05$ (a) Eje VE	110
5.85. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,1$ (a) Eje OC	110
5.86. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,1$ (a) Eje PC	111
5.87. “Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,1$ ” (a) Eje VE	111
5.88. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,2$ (a) Eje OC	112
5.89. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,2$ (a) Eje PC	112
5.90. Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,2$ (a) Eje VE	113
5.91. Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje OC. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$	118
5.92. Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje PC. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$	119
5.93. Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje VE. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$	120
6.1. Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1A	122
6.2. Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1B	122
6.3. Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1C	123
6.4. Serie de tiempo. F0910 Registro 1 Piso 1	123
6.5. Serie de tiempo por ejes. F0910 Registro 1 Piso 1	124
6.6. Serie de tiempo. F0910 Registro 1 Piso 14	126
6.7. Serie de tiempo por ejes. F0910 Registro 1 Piso 14	127
6.8. Máximas aceleraciones en edificio debido al aporte de oleaje	129
6.9. Máximas aceleraciones en edificio debido al aporte de oleaje	130
A.1. Series de tiempo F0626	137
A.2. Series de tiempo F0710	138
A.3. Series de tiempo F0710	139
A.4. Series de tiempo F0829	140
A.5. Series de tiempo F0829	141

A.6. Series de tiempo F0626	142
A.7. Series de tiempo F0626	143
A.8. Series de tiempo F0626	144
A.9. Series de tiempo F0626	145
A.10. Series de tiempo F0710	146
A.11. Series de tiempo F0710	147
A.12. Series de tiempo F0710	148
A.13. Series de tiempo F0710	149
A.14. Series de tiempo F0710	150
B.1. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4	151
B.2. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7	151
B.3. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10	152
B.4. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN11 a OlaN13	152
B.5. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN14	152
B.6. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN2 a OlaN4	153
B.7. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN5 a OlaN7	153
B.8. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN8 a OlaN10	153
B.9. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN11 a OlaN13	154
B.10. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN14 a OlaN16	154
B.11. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN17 a OlaN19	154
B.12. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN20 a OlaN21	155
B.13. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN23	155
B.14. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4	155
B.15. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7	156
B.16. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10	156
B.17. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13	156
B.18. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN14 a OlaN15	157
B.19. Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN17	157
C.1. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4	158
C.2. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7	158
C.3. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10	159
C.4. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN11 a OlaN13	159
C.5. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN14 a OlaN17	159
C.6. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN18 a OlaN20	160
C.7. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN21 a OlaN23	160
C.8. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN24	160

C.9. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN2 a OlaN4	161
C.10. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN5 a OlaN7	161
C.11. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN8 a OlaN10	161
C.12. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN11 a OlaN13	162
C.13. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN14 a OlaN16	162
C.14. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN17	162
C.15. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4	163
C.16. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7	163
C.17. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10	163
C.18. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13	164
C.19. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN14 a OlaN16	164
C.20. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN17	164
C.21. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN2 a OlaN4	165
C.22. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN5 a OlaN7	165
C.23. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN8 a OlaN10	165
C.24. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN11 a OlaN13	166
C.25. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN14 a OlaN16	166
C.26. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN17 a OlaN19	166
C.27. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN20	167
C.28. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN2 a OlaN4	167
C.29. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN5 a OlaN7	167
C.30. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN8 a OlaN10	168
C.31. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN11 a OlaN13	168
C.32. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN14 a OlaN16	168
C.33. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN18 a OlaN20	169
C.34. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN22 a OlaN24	169
C.35. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN25	169
C.36. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN2 a OlaN4	170
C.37. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN6 a OlaN8	170
C.38. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN9 a OlaN11	170
C.39. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN12 a OlaN14	171
C.40. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN15 a OlaN17	171
C.41. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN18 a OlaN20	171
C.42. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN21 a OlaN24	172
C.43. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg7 OlaN5 a OlaN6	172
C.44. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN2 a OlaN4	172
C.45. Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN5 a OlaN7	173

C.46.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN8 a OlaN10	173
C.47.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN11 a OlaN13	173
C.48.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN14 a OlaN16	174
C.49.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN17	174
C.50.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN3 a OlaN4	174
C.51.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN5 a OlaN7	175
C.52.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN8 a OlaN10	175
C.53.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN11 a OlaN13	175
C.54.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN14	176
C.55.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN2 a OlaN4	176
C.56.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN5 a OlaN7	176
C.57.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN8 a OlaN10	177
C.58.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN11 a OlaN13	177
C.59.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN14	177
C.60.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN2 a OlaN4	178
C.61.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN5 a OlaN7	178
C.62.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN8 a OlaN10	178
C.63.Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN11 a OlaN14	179
D.1. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4	180
D.2. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7	180
D.3. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10	181
D.4. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN12 a OlaN14	181
D.5. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN15 a OlaN18	181
D.6. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN19 a OlaN21	182
D.7. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN22	182
D.8. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN2 a OlaN5	182
D.9. Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN6 a OlaN8	183
D.10.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN9 a OlaN11	183
D.11.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN12 a OlaN14	183
D.12.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN15 a OlaN17	184
D.13.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN18 a OlaN21	184
D.14.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4	184
D.15.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7	185
D.16.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10	185
D.17.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13	185
D.18.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN14 a OlaN16	186

D.19.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN17 a OlaN19	186
D.20.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN20 a OlaN23	186
D.21.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN2 a OlaN4	187
D.22.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN5 a OlaN7	187
D.23.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN8 a OlaN10	187
D.24.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN11 a OlaN13	188
D.25.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN14	188
D.26.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN2 a OlaN4	188
D.27.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN5 a OlaN7	189
D.28.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN8 a OlaN10	189
D.29.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN11 a OlaN13	189
D.30.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN14 a OlaN15	190
D.31.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN17	190
D.32.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN2 a OlaN4	190
D.33.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN5 a OlaN7	191
D.34.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN8 a OlaN10	191
D.35.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN11 a OlaN13	191
D.36.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN14 a OlaN15	192
D.37.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN17	192
D.38.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN2 a OlaN4	192
D.39.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN5 a OlaN7	193
D.40.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN8 a OlaN10	193
D.41.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN11 a OlaN13	193
D.42.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN14 a OlaN16	194
D.43.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN17	194
D.44.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN4 a OlaN6	194
D.45.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN7 a OlaN9	195
D.46.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN10 a OlaN13	195
D.47.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN14 a OlaN16	195
D.48.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN17 a OlaN20	196
D.49.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN21	196
D.50.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN4 a OlaN6	196
D.51.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN7 a OlaN9	197
D.52.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN10 a OlaN12	197
D.53.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN13 a OlaN15	197
D.54.Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN16 a OlaN19	198

Índice de tablas

2.1. “Clasificación cuantitativa de rompientes de olas”	6
3.1. “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 1”	12
3.2. “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 2”	12
3.3. “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 3”	13
3.4. “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 4”	13
3.5. “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 5”	13
4.1. “Campañas realizadas para la captura de datos en suelo”	18
4.2. “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0626”	19
4.3. “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0710”	20
4.4. “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0829”	22
5.1. “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje OC”	48
5.2. “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje PC”	49
5.3. “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje VE”	50
5.4. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje OC”	53
5.5. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje PC”	54
5.6. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje VE”	55
5.7. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje OC”	58
5.8. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje PC”	59
5.9. “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje VE”	60
5.10. “Ajuste curva de espectros de aceleraciones T_0 según eje de medición”	104
5.11. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1\beta = 0,02$ ”	107
5.12. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1\beta = 0,05$ ”	108
5.13. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1\beta = 0,1$ ”	110
5.14. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1\beta = 0,2$ ”	111
5.15. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,02$ ”	113
5.16. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,05$ ”	113
5.17. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,1$ ”	114

5.18. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,2$ ”	114
5.19. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,02$ ”	114
5.20. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,05$ ”	115
5.21. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,1$ ”	115
5.22. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,2$ ”	115
5.23. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,02$ ”	116
5.24. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,05$ ”	116
5.25. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,1$ ”	116
5.26. “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,2$ ”	117
6.1. “Parámetros dinámicos Edificio”	121
6.2. “Máximas amplitudes de aceleración. Fecha 0910. Edificio Piso 1”	125
6.3. “Máximas amplitudes de aceleración. Fecha 0910. Edificio Piso 14”	128

Capítulo 1

Introducción

Este trabajo intenta describir el efecto de vibraciones en edificios próximos a zonas de rompimiento de olas, mediante un procedimiento experimental de registro de vibraciones, transmitidas a través del suelo.

Se caracterizará el oleaje de la zona costera según propiedades cuantitativas de interés para el análisis de efectos vibratorios. Los resultados obtenidos se emplearán en la confección de una curva de atenuación de vibraciones en función a la distancia de la zona de origen.

Basados en observaciones de los investigadores, se ha considerado que algunos edificios ubicados en la zona costera de Algarrobo (V Región), perciben los efectos del impacto de olas. Por ejemplo, se han registrado movimientos perceptibles por las personas. Estos eventos comúnmente se pueden observar durante periodos del año donde el oleaje en la costa es más agresivo, como en temporada de invierno.

En la actualidad, la cuantificación de la magnitud en las vibraciones en edificios costeros debido al oleaje no tiene un desarrollo tal que permita establecer criterios de análisis tanto en el diseño como en el comportamiento operativo de las estructuras. Por lo tanto, debido a estas inquietudes y también sugeridos por la alta cantidad de edificaciones actuales en las zonas costeras del país, este trabajo de análisis experimental procura aportar al conocimiento formativo para el proceso de diseño de obras en ingeniería, intentando determinar la relevancia de este efecto vibratorio comparado a otros de distinta fuente de origen, a los que pueden enfrentarse las estructuras. Los resultados obtenidos podrán contribuir posteriormente a la formación de un espectro de diseño en función de las sollicitaciones originadas por el oleaje costero.

1.1. Objetivos

Determinar la demanda vibratoria, debido al rompimiento de olas, en edificios costeros fundados en arenas, mediante la confección de una curva de atenuación de vibraciones en

función de la distancia a la zona de origen.

Objetivos específicos:

- Estudio del oleaje presente en zonas próximas a edificaciones.
- Creación de espectros de aceleraciones para las demandas de los impactos de ola registrados.

1.2. Alcances

Capítulo 1: Introducción Se presenta el contenido del trabajo de investigación. Las motivaciones para su realización y se destacan los principales objetivos a responder.

Capítulo 2: Descripción del problema en estudio Detallamiento del proceso de transmisión de vibraciones en el suelo debido al impacto de olas en el suelo.

Capítulo 3: Descripción zona de medición Se muestra las principales características del lugar de trabajo para la obtención de registros experimentales. Se indican coordenadas geográficas del lugar, propiedades del suelo y clima de olas.

Capítulo 4: Descripción de procedimiento de registro experimental Se presentan las campañas realizadas y el formato aplicado en ellas para la instrumentación. Se especifican los puntos de medición en la zona de playa y en el edificio.

Capítulo 5: Procesamiento de registros en playa Presentación de resultados de registros en playa. Se indican series de tiempo, análisis de frecuencias para reconocimiento de banda con mayor energía asociada al efecto del rompimiento de olas, máximas sollicitaciones de aceleración en el suelo y propuestas de demandas en estructuras de 1 grado de libertad, según espectros de aceleraciones.

Capítulo 6: Procesamiento de registros en edificio Presentación de resultados de registros en edificio. Se muestran series de tiempo y máximas sollicitaciones de aceleración en la estructura.

Capítulo 7: Síntesis de resultados y conclusiones Resumen de principales resultados obtenidos en capítulos 5 y 6. Presentación de curvas de atenuación de magnitudes de aceleración en el suelo en función de la distancia a la zona de rompiente de olas. Comentarios finales sobre el trabajo realizado.

Capítulo 2

Planteamiento del problema en estudio

2.1. Descripción del fenómeno en estudio

En observaciones realizadas durante visitas en edificios costeros de la V región, se percató que con el proceso de rompimiento del oleaje, existían componentes estructurales (losas de piso, por ejemplo) y componentes no estructurales del edificio (vidrios de ventanas), que se sometían a vibraciones perceptibles. Principalmente este fenómeno es reconocible durante periodos de fuerte oleaje debido a malas condiciones climáticas; no obstante, estas acciones son independientes de otras fuentes naturales generadoras de vibraciones, como viento.

Si bien en primera instancia no se puede conocer si existe un efecto perjudicial de las vibraciones, si despierta atención la necesidad de considerar la periodicidad de este problema, pues obviamente las olas rompen durante todo el día; por lo tanto, esto puede atenderse como un problema de ciclos de vibraciones.

Hasta la fecha final de trabajo en esta investigación, no se han registrados reportes previos de estudios de similares características a los análisis del fenómeno reportado. Tampoco existen referencias sobre recomendaciones de diseño en edificios respecto a la influencia de vibraciones por oleaje.

El estudio de transmisión de vibraciones consiste en realizar mediciones a lo largo de la playa y en el interior de un edificio.

El diagrama mostrado en la figura 2.1, presenta el proceso de generación de vibraciones:

El punto A indica la fuente de origen de las vibraciones. Las olas golpean la arena, induciendo variaciones de presiones en el suelo.

La magnitud de las aceleraciones en el suelo son proporcionales a la altura de las olas rompientes.

El punto B representa la zona de transmisión de vibraciones en el suelo granular. Debido al efecto disipativo del suelo, las amplitudes de las vibraciones van reduciendo su magni-

tud en función de la distancia. Se considera que las ondas se desplazan en todo el espacio tridimensional.

También, se asume que la estratigrafía del suelo es similar entre la zona de rompiente y la base del edificio; es decir, no existen anomalías que induzcan alteraciones locales de las señales registradas.

En el punto C, se muestra la percepción de las vibraciones debido a la aceleración basal. Estas aceleraciones pueden registrarse en cualquier nivel de la edificación.

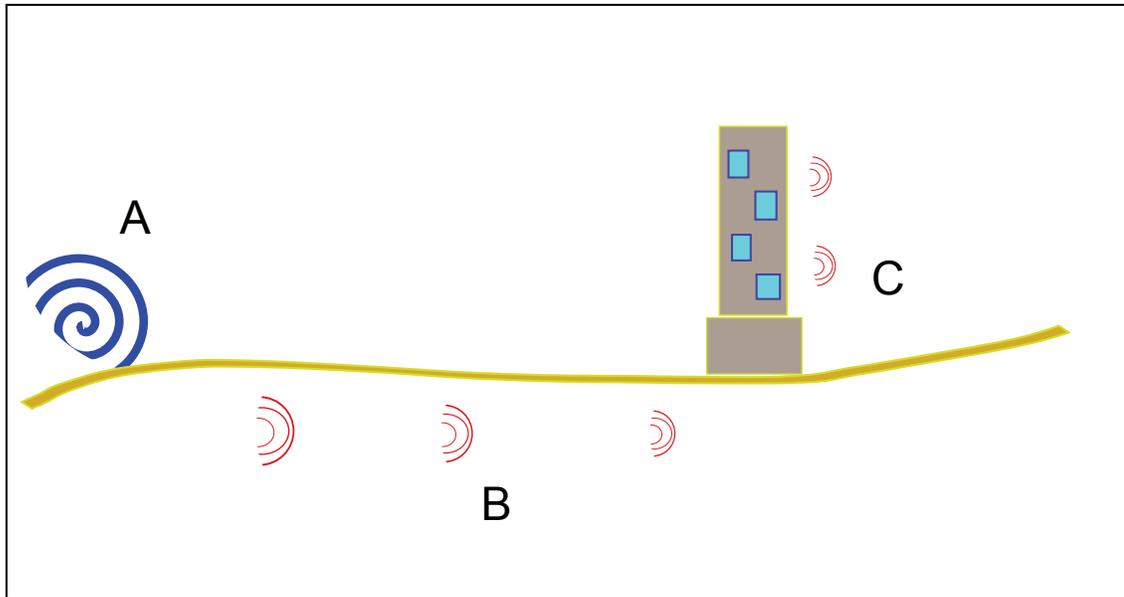


Figura 2.1: Diagrama descripción de transmisión de vibraciones debido a oleaje”

2.2. Caracterización del tipo de oleaje

Basados en trabajos de estudios de oleaje (Galvin, 1968), los tipos de rompientes de olas se clasifican en 4 grupos [1]:

- *Olas de Derrame (Spilling)*: Tipo de olas donde la cresta se vuelve inestable debido a la forma aguda que alcanza, con tendencia a formar una pendiente vertical. Decae hacia abajo, en forma gradual a lo largo de la extensión paralela a la costa. Ocurren en playas con pocas pendientes.

- *Olas de Vuelco (Plunging)*: Olas con curvas definidas, caracterizadas por la zona frontal de pendiente vertical, y la zona superior con pendiente horizontal, finalizando con un extremo agudo. Al romper genera un alto impacto y gran turbulencia. Comunmente se presentan en playas con pendiente intermedia.

- *Surging*: Se definen como olas con la parte frontal vertical, donde la base de la ola llega antes a la zona de rotura, con lo cual la cresta desaparece. Se producen preferentemente en

playas con altas pendientes.

- *Collapsing*: Clasificación intermedia entre olas tipo *plunging* y *surging*.

Las figuras 2.2 y 2.3 muestran ejemplos de cada tipo de rompientes de olas:

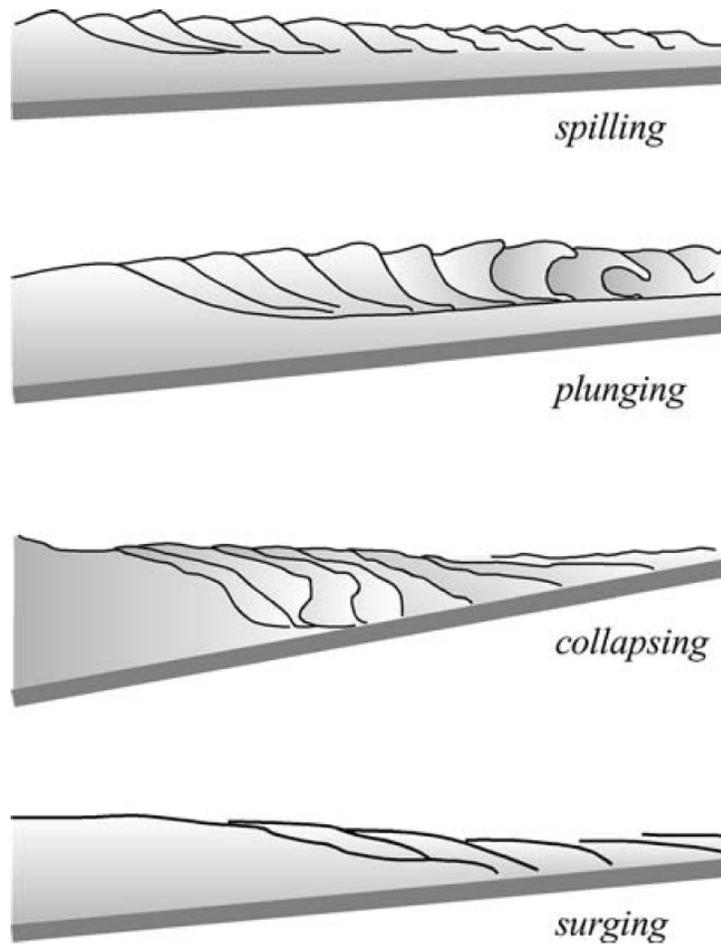


Figura 2.2: Diagrama descripción tipos de rompientes de olas, [?]



Figura 2.3: Diagrama descripción tipos de rompientes de olas

Esta clasificación de las olas también puede definirse en forma numérica a partir del siguiente parámetro [2]:

$$\xi = \tan(\beta) * \left(\frac{H}{L}\right)^{-\frac{1}{2}}$$

Donde

β =Pendiente de playa

H =Altura de ola

L =Largo de ola

El rango de valores de ξ para cada tipo de rompiente son los siguientes:

Tabla 2.1: “Clasificación cuantitativa de rompientes de olas”

Tipo rompiente	
Surging/collapsing	$\xi > 3,3$
Plunging	$0,5 < \xi < 3,3$
Spilling	$\xi < 0,5$

En el caso de la zona de estudio experimental, los últimos tres tipos de rompientes de olas son posibles de reconocer, siendo el tipo *plunging* el que presenta mayor presencia y a

la vez mayor interés de estudio, debido al brusco impacto que sobre la arena de la playa que genera.

Capítulo 3

Descripción de zona de medición.

3.1. Descripción geográfica

El estudio experimental se realizó en la playa del complejo turístico ubicado en la zona norte de la comuna de Algarrobo, V Región. Las coordenadas geográficas de referencia son $33^{\circ}21'0.36''\text{S}$, $71^{\circ}39'14.05''\text{O}$.

En las siguientes figuras se indica la ubicación geográfica de la zona de estudio:

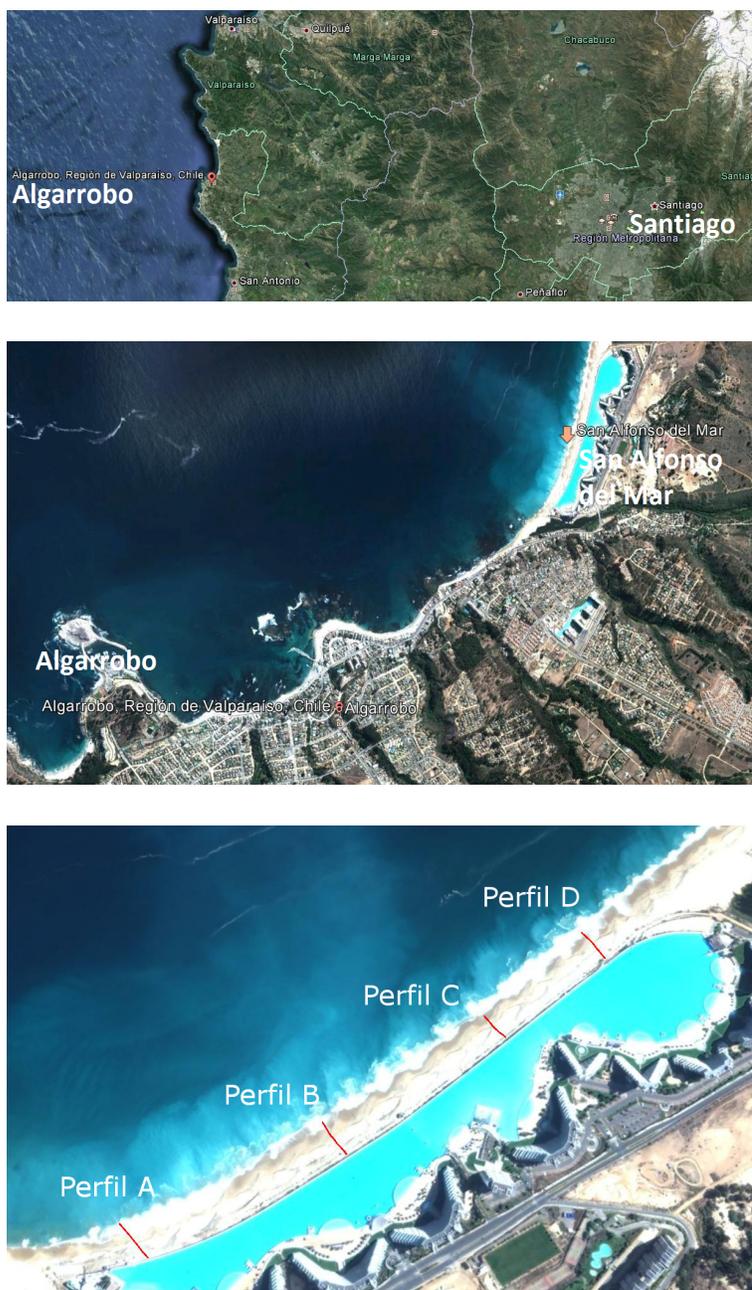
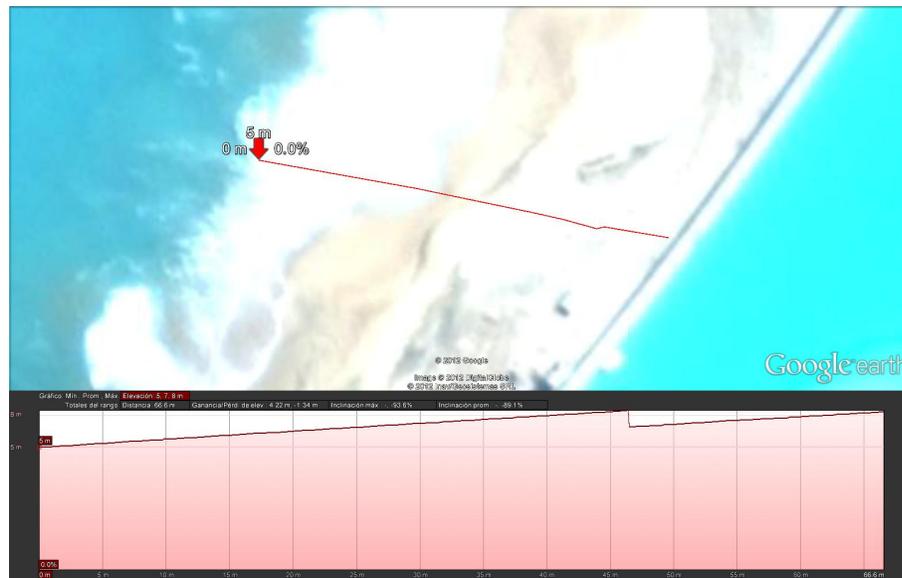


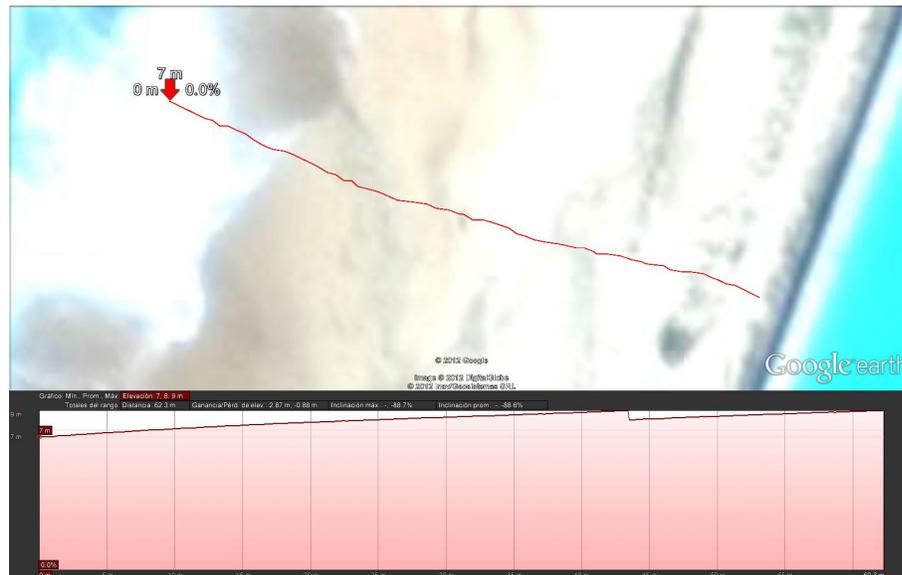
Figura 3.1: Ubicación geográfica de zona de estudio

Se presentan los perfiles transversales mostrados en las figura 3.1 c). La playa tiene una distancia promedio de 60 metros desde la zona de rompiente, hasta el muro perimetral de un complejo turístico.

Entre estos puntos extremos, las diferencias entre los niveles de cota, están entre los 2 y 4 metros. Por lo tanto, la pendiente de esta zona está entre las razones 1:30 a 1:15.

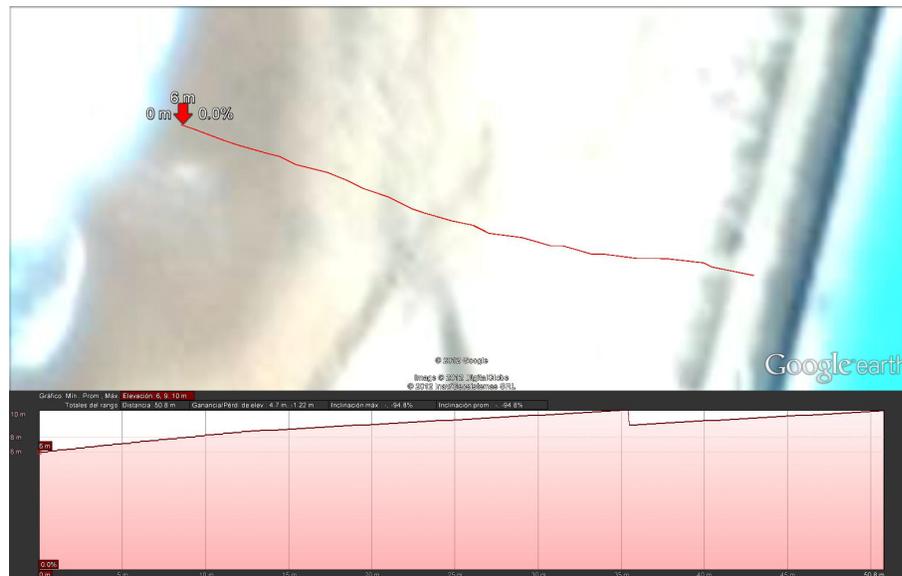


a) Perfil A



b) Perfil B

Figura 3.2: Perfiles transversales playa. Perfiles A,B



c) Perfil C



d) Perfil D

Figura 3.3: Perfiles transversales playa. Perfiles C, D

3.2. Propiedades del suelo

Utilizando la información disponible de ensayos de suelos en los terrenos de construcción del complejo turístico [?], en la zona sur, el análisis de la estratigrafía considera 5 sondajes. Todos ellos se han efectuado hasta una profundidad de 20 metros.

Los resultados generales de estos sondajes indica que los primeros 3 metros de suelo, corresponden a Arena fina de compacidad baja a media. Este horizonte de suelo corresponde a la zona donde se registraron las aceleraciones debido a oleaje.

El segundo horizonte corresponde a grava arenosa, de compacidad media a alta. Además en éste se reconoce el tamaño máximo de la grava de hasta 3”.

El resumen de los sondeos realizados, se muestra en las siguientes tablas:

Tabla 3.1: “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 1”

Horizonte	Cotas [m]	Descripción del suelo
1	0 - 3.45	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
2	3.45 - 4.00	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 2 1/2”.
3	4.00 - 9.45	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
4	9.45 - 10.30	Limo algo arenoso, color negruzco, humedad alta, consistencia media, plasticidad baja.
5	10.30 - 20.00	Arena media a gruesa, color gris, humedad alta, compacidad alta.

Tabla 3.2: “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 2”

Horizonte	Cotas [m]	Descripción del suelo
1	0 - 7.45	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
2	7.45 - 8.00	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 3”.
3	8.00 - 9.00	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 2”.
4	9.00 - 13.45	Arena media a gruesa, color gris, humedad media a alta con la profundidad, compacidad media.
5	13.45 - 20.00	Arena media a gruesa, color gris, humedad media a alta con la profundidad, compacidad media.

Tabla 3.3: “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 3”

Horizonte	Cotas [m]	Descripción del suelo
1	0 - 10.45	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
2	10.45 - 11.00	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 3”.
3	11.00 - 20.00	Roca meteorizada y compacta, color marrón claro.

Tabla 3.4: “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 4”

Horizonte	Cotas [m]	Descripción del suelo
1	0 - 6.20	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
2	6.20 - 7.40	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 3”.
3	7.40 - 10.00	Roca alterada y muy fracturada, color marrón, dureza media a baja.
4	10.00- 14.70	Roca alterada y muy fracturada, color marrón, dureza media a baja. Se observa arena fina, color gris marrón.
5	14.70 - 20.00	Roca alterada y muy fracturada, color marrón, dureza media a baja. Se observa arena fina, color marrón claro.

Tabla 3.5: “Estratigrafía zona de estudio. Sondaje 5”

Horizonte	Cotas [m]	Descripción del suelo
1	0 - 6.20	Arena fina y limpia, color marrón claro, humedad baja aumentando con la profundidad, compacidad baja a media con la profundidad.
2	6.20 - 7.00	Grava arenosa, color marrón claro, humedad media alta, compacidad media a alta, gravas de cantos redondeados, subredondeados y subangular, tamaño máximo 2”.
3	7.00 - 20.00	Roca alterada y muy fracturada, color marrón, dureza media a baja.

3.3. Clima de olas de la región

Para la V Región de Valparaíso, existe un seguimiento continuo en el tiempo del comportamiento del oleaje. El Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA) dispone de un conjunto de boyas instrumentadas, las cuales entregan reportes sobre las propiedades del oleaje registrado: Altura de ola significativa, periodo de ola significativo, dirección de llegada en relación al borde costero, entre otras. A partir de estos datos, es posible realizar un registro histórico mostrando los valores de algunas de estas propiedades según la fecha de medición, permitiendo construir un clima de olas de la región.

Y aunque existen variaciones locales del comportamiento del oleaje entre distintas zonas de una misma región, se acepta el uso de las mismas boyas con iguales registros para hacer un reconocimiento de las características de olas entre los diferentes puntos de interés en la costa chilena.

Por lo tanto, para el reconocimiento del oleaje presente en la zona de Algarrobo, se accedió a la información proporcionada por el SHOA, la cual dispuso del registro capturado en tres boyas (con distintos años entre ellas), ubicadas como se observa en la figura 3.4.

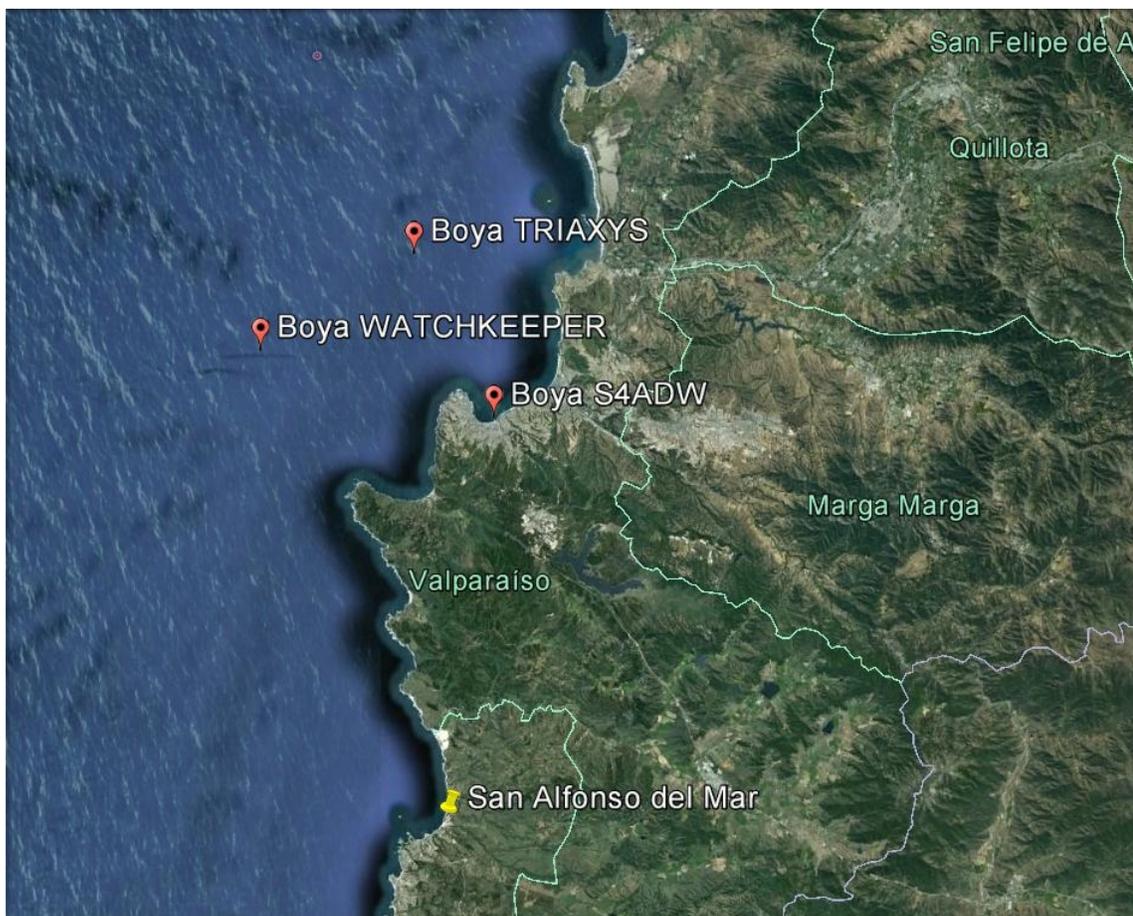


Figura 3.4: “Ubicación de boyas en Región de Valparaíso”

El principal objetivo del uso de esta información, es reconocer los meses de cada año donde se producen las olas de mayor altura para los punto medidos. Y aunque estos valores no representan las alturas de olas en la zona de rompiente, existe una relación proporcional entre sus magnitudes, que con estudios de oceanografía más específicos pueden ser definidas.

En los siguientes gráficos (Figuras 3.5 a 3.7) se muestra el clima de olas para las alturas significativas del oleaje, confirmando que entre los meses de Mayo y Julio de cada año, se obtienen los valores de mayor magnitud, con una altura significativa de hasta 4.5 m. Además, durante este periodo del año, el promedio de alturas significativas de olas es mayor a 2.5 m.

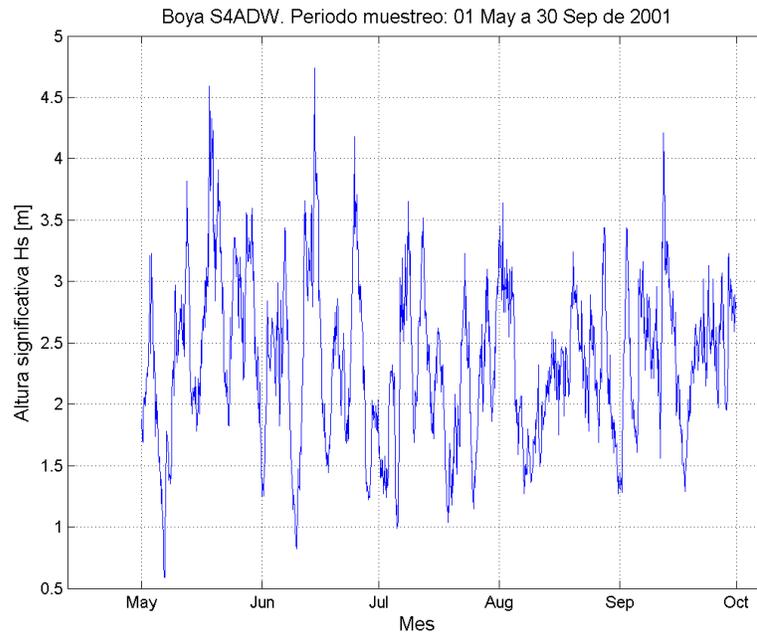


Figura 3.5: “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya S4ADW”

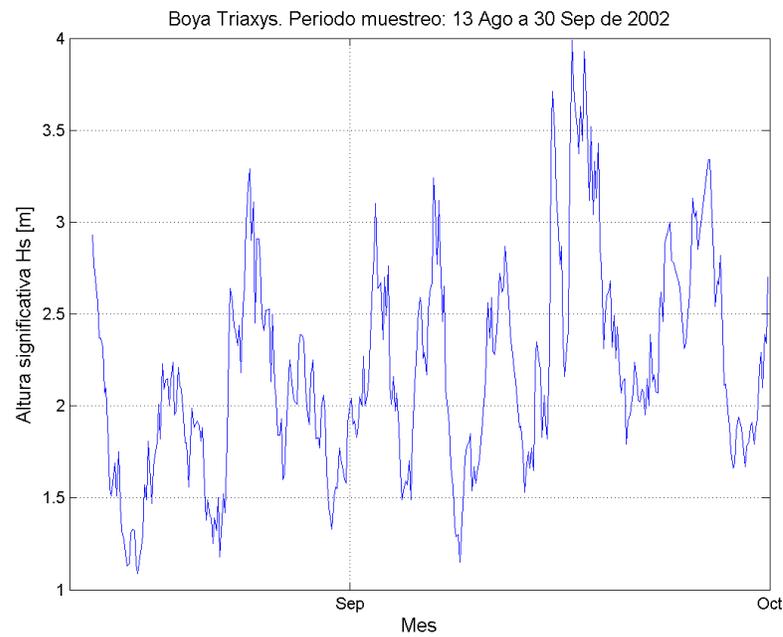


Figura 3.6: “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya Tryaxis”

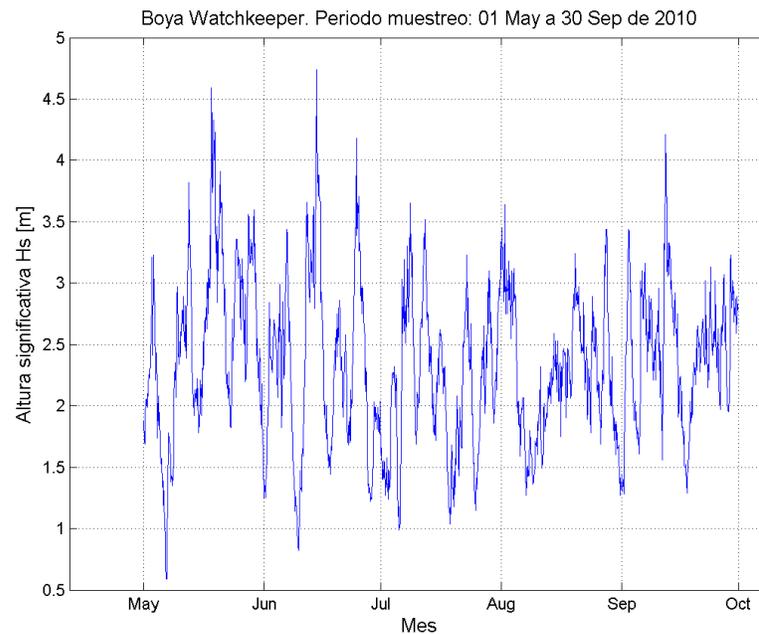


Figura 3.7: “Clima de olas de la zona de Algarrobo Boya Watchkeeper”

Para actualizar esta información, semana a semana se realizó un seguimiento del pronóstico de las propiedades del oleaje de acuerdo a los reportes entregados en el sitio web <http://www.windguru.cz>. Aquí se dispuso la información para las condiciones diarias de di-

recepción de viento, altura y periodo de olas, entre otras; lo cual permitió realizar un seguimiento más minucioso para determinar los días y horarios más aptos para la captura de datos.

En la figura 3.8, se muestra una imagen de la información típica entregada por el sitio web. Este ejemplo corresponde a la semana que contiene el día 10 de Julio.

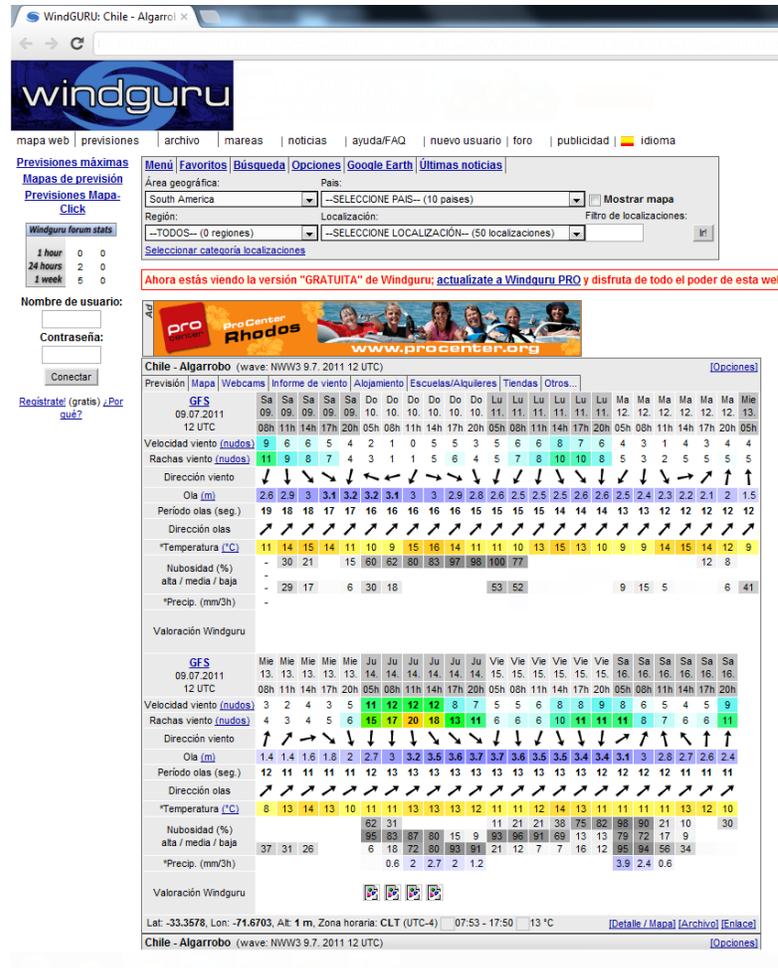


Figura 3.8: “Información de propiedades de oleaje para el día 10 de Julio, en la zona de Algarrobo”

Capítulo 4

Descripción de procedimiento de registro experimental

La serie de datos utilizados en este trabajo fue adquirida en las mediciones realizadas entre los meses de Junio y Septiembre del año 2011.

La metodología empleada para el registro de aceleraciones se divide en dos etapas: **1.1) Mediciones directa en suelo.** y **1.2) Mediciones en interior de edificio.**

Se realizaron seis campañas de medición en la playa del sector. Todas estas utilizaron la misma metodología, instalando los sensores a una profundidad característica de la superficie del suelo. En la siguiente tabla se muestran las campañas realizadas y la cantidad de registros obtenidos en cada uno de ellos:

Tabla 4.1: “Campañas realizadas para la captura de datos en suelo”

N° Campaña	Fecha	N° registros obtenidos
1	26 Junio	3
2	10 Julio	11
3	24 Julio	4
4	11 Agosto	9
5	29 Agosto	9
6	30 Agosto	6

Sin embargo, para los análisis presentados en este trabajo, solo se ocupan tres de ellas de estas campañas, detalladas posteriormente. Para las restantes tres campañas, sus datos más relevantes están incluidos en los anexos de este trabajo.

En todas las campañas se utilizaron acelerómetros adaptados para obtener un buen conocimiento de las demandas de aceleraciones, según amplitudes y rango de frecuencia de

interés de las señales.

4.1. Mediciones en suelo:

4.1.1. Coordenadas de puntos de medición

Como se mencionó, se han escogido tres etapas de mediciones en la playa. Estas han sido asignadas con una nomenclatura asociada a la fecha de realización:

- a) F0626 (26 de Junio de 2011)
- b) F0710 (10 de Julio de 2011)
- c) F0829 (29 de Agosto de 2011).

Para cada fecha, se definió una red de puntos en función de la distancia a la zona de rompimiento de olas y del edificio. Esta red cubre el largo total de la playa.

Para la ubicación de los sensores se privilegió la adaptación a las condiciones de topográficas del terreno además que los sensores se encontraran alejados de elementos que podían alterar las captura de datos, por ejemplo la presencia de tuberías de acero de descargas.

Las mediciones de F0626 se realizaron en una dirección ortogonal a la costa.

Las mediciones de F0710 recorrieron paralelamente la costa. La idea principal era reconocer que las solicitaciones del oleaje eran similares para cualquier latitud y similar longitud de las coordenadas geográficas.

Las mediciones de F0829, al igual que en F0626, buscaban hacer reconocimiento del decaimiento de las magnitudes de aceleración a medida que el punto del suelo instrumentado, está más alejado de la playa. Estas capturas se efectuaron en el sector norte de la playa.

Las siguientes tablas y figuras indican las posiciones para cada una de las fechas mencionadas. Con esto tambien se pueden estimar la distancia de los puntos respecto a la zona de rompiente de olas de ese día:

Tabla 4.2: “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0626”

N° Registro	Fecha 0626	
	Coordenadas	
	Latitud (S)	Longitud (O)
1	33°21'3.27"	71°39'15.67"
2	33°21'3.44"	71°39'15.16"
3	33°21'3.55"	71°39'14.77"



Figura 4.1: Ubicación puntos de medición F0626

Tabla 4.3: “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0710”

N° Registro	Fecha 0710	
	Coordenadas	
	Latitud (S)	Longitud (O)
1	33°21'9.10"	71°39'17.10"
2	33°21'3.90"	71°39'14.60"
3	33°20'56.30"	71°39'12.10"
4	33°20'51.50"	71°39'10.70"
5	33°20'44.10"	71°39'8.30"
6	33°20'43.90"	71°39'6.80"
7	33°20'43.90"	71°39'5.60"
8	33°20'51.60"	71°39'11.77"
9	33°20'56.39"	71°39'12.98"
10	33°21'3.95"	71°39'15.30"



Figura 4.2: Ubicación puntos de medición F0710

Tabla 4.4: “Coordenadas geográficas puntos de medición Fecha 0829”

N° Registro	Fecha 0829	
	Coordenadas	
	Latitud (S)	Longitud (O)
1	33°20'43.64"	71°39'8.36"
2	33°20'43.73"	71°39'7.73"
3	33°20'43.84"	71°39'6.91"
4	33°20'43.83"	71°39'5.67"
5	33°20'43.74"	71°39'4.40"
6	33°20'43.69"	71°39'3.37"
7	33°20'43.66"	71°39'2.21"
8	33°20'43.65"	71°39'1.29"
9	33°20'43.60"	71°39'0.41"



Figura 4.3: Ubicación puntos de medición F0829

4.1.2. Sensores utilizados

En cada punto definido en la zona de playa, se ocupó un equipo triaxial de sensores PCB. Esta configuración permite recopilar información para tres direcciones definidas, las cuales han sido etiquetadas con una asignación según la orientación del sensor respecto al borde costero. Estas direcciones son: i) Ortogonal a la costa (OC), ii) Paralelo a la costa (PC) y iii) Vertical (VE).

En la Figura 4.4 se presenta un esquema representativo de la disposición de los acelerómetros.

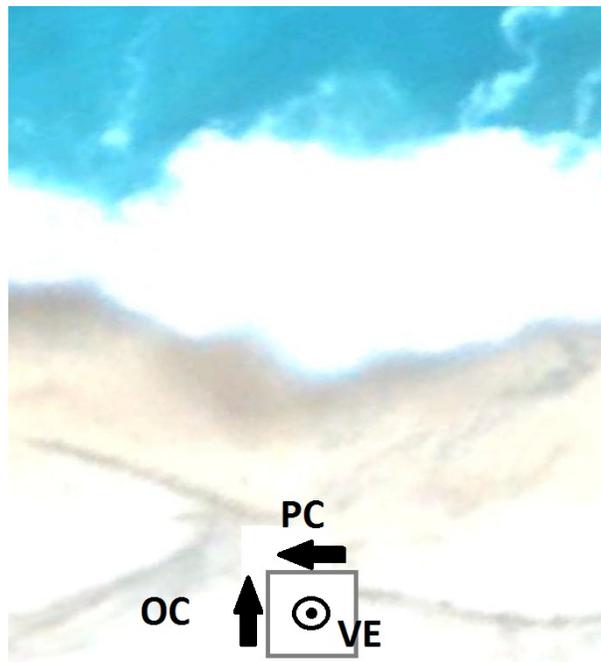


Figura 4.4: Vista en planta de la disposición triaxial de acelerómetros en playa

En cada ubicación, los instrumentos de medición se dispusieron a una profundidad de 60 cm, manteniendo una nivelación horizontal para la placa metálica soportante de los sensores. Luego de iniciar la captura de datos en un computador adaptado con software adecuado para tales acciones, y además de alcanzar la estabilidad en la señal registrada, se tomaron registros de aceleraciones de ventanas entre 3 y 7 minutos de duración.

La menor distancia de ubicación de los sensores respecto a la zona de rompiente de olas registrada, es aproximadamente 20 m.

La frecuencia de muestreo utilizada en todos los sensores es de 2000 Hz.



Figura 4.5: “Ejemplo de posicionamiento de arreglo triaxial de sensores”

4.2. Mediciones en interior de edificio:

4.2.1. Coordenadas de puntos de medición

Se realizaron mediciones de aceleraciones en la planta del piso 1 (nivel del suelo) y piso 14 de un edificio del complejo.

Durante 30 min, con registros divididos en intervalos de 15 min, se tomaron datos de aceleraciones en el edificio.

Las coordenadas geográficas planas para estos puntos corresponden a $33^{\circ}21'5.72''S$, $71^{\circ}39'8.95''O$. El piso 14 se ubica a una altura aproximada de 40 m de la superficie del mar.

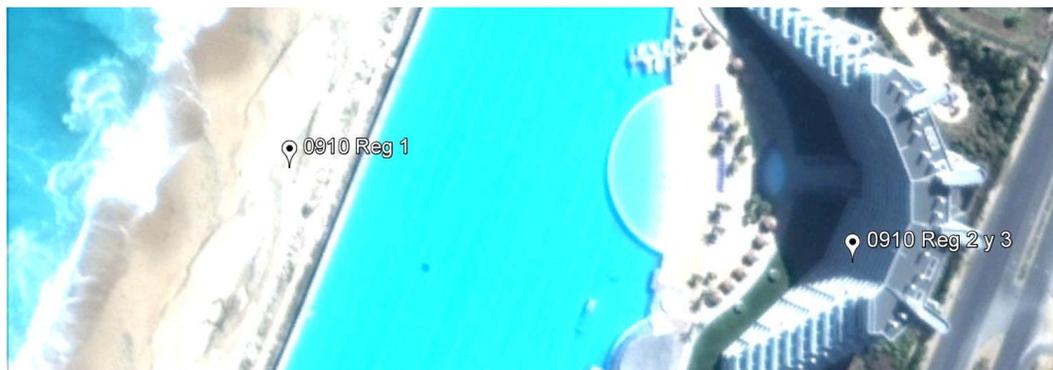


Figura 4.6: “Ubicación puntos de medición F0910”

4.2.2. Sensores utilizados

En esta etapa, se ocuparon acelerómetros tipo EPI, en una disposición triaxial para el piso 1, similar al caso de la playa y una disposición expandida en la planta de un departamento del piso 14 del edificio, Estas distribuciones se observan en las figuras 4.7 y 4.8



Figura 4.7: “Disposición acelerómetros en planta de edificio. Piso 1”

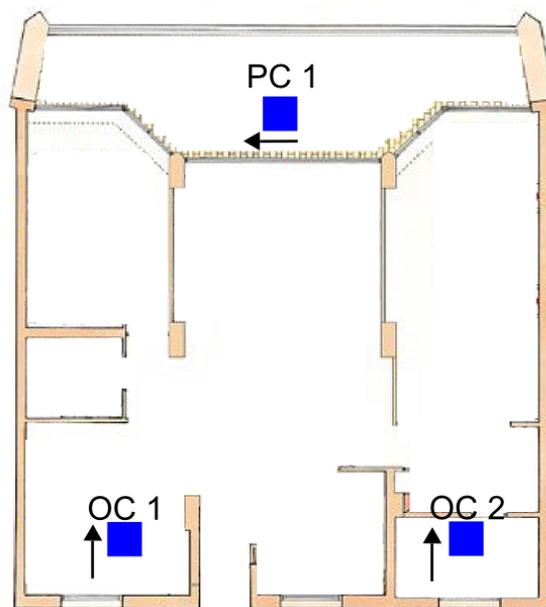


Figura 4.8: Vista en planta de disposición acelerómetros expandida en planta de edificio. Piso 14. Sensor 1: OC1, sensor 2: OC2, sensor 3: PC1

Capítulo 5

Procesamiento de registros en Playa

En este capítulo se realiza un análisis de los registros obtenidos en la zona de playa.

Cada uno de estos registros fueron editados para eliminar segmentos que contenían alteraciones en los valores de las aceleraciones registradas, como por ejemplo interrupciones por caminatas de personas en el terreno. También se debió aplicar filtros pasa banda para rechazar frecuencias ajenas a las señales de interés (Debido a maquinas bombeadoras de agua presentes en la zona).

5.1. Análisis de registros extensos.

5.1.1. Series de Tiempo

Como se menciona en el capítulo 4, la distribución de registros se hizo en función de la fecha de medición.

Aquí, se muestran las series de tiempo para dos registros a distintas distancias de la zona de rompiente. Además se incorporan cada una de estos registros separados por eje del arreglo triaxial. Como ejemplo se presentan los registros 1 y 2 con fecha F0626.

(El conjunto total de gráficos de Series de Tiempo para los registros utilizados, se encuentran en el Anexo A)

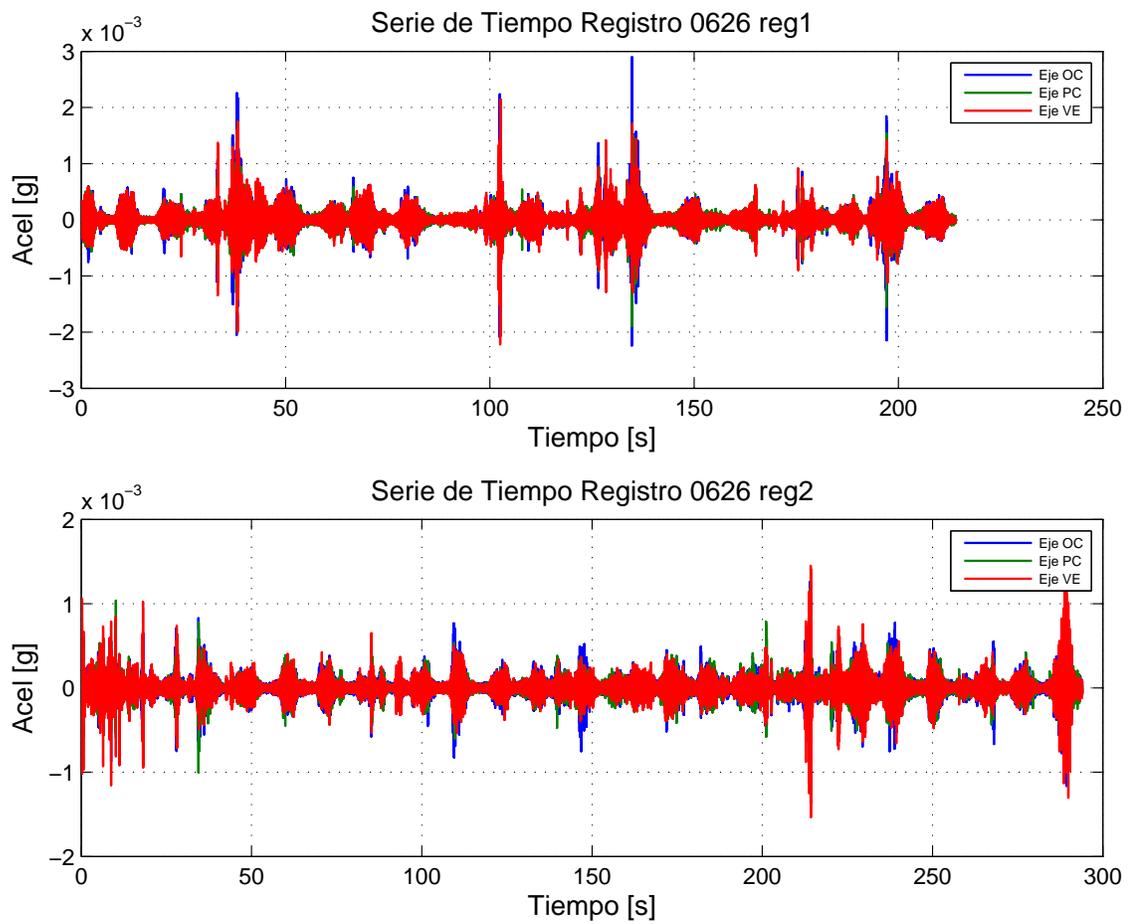


Figura 5.1: Comparación de Series de tiempo.

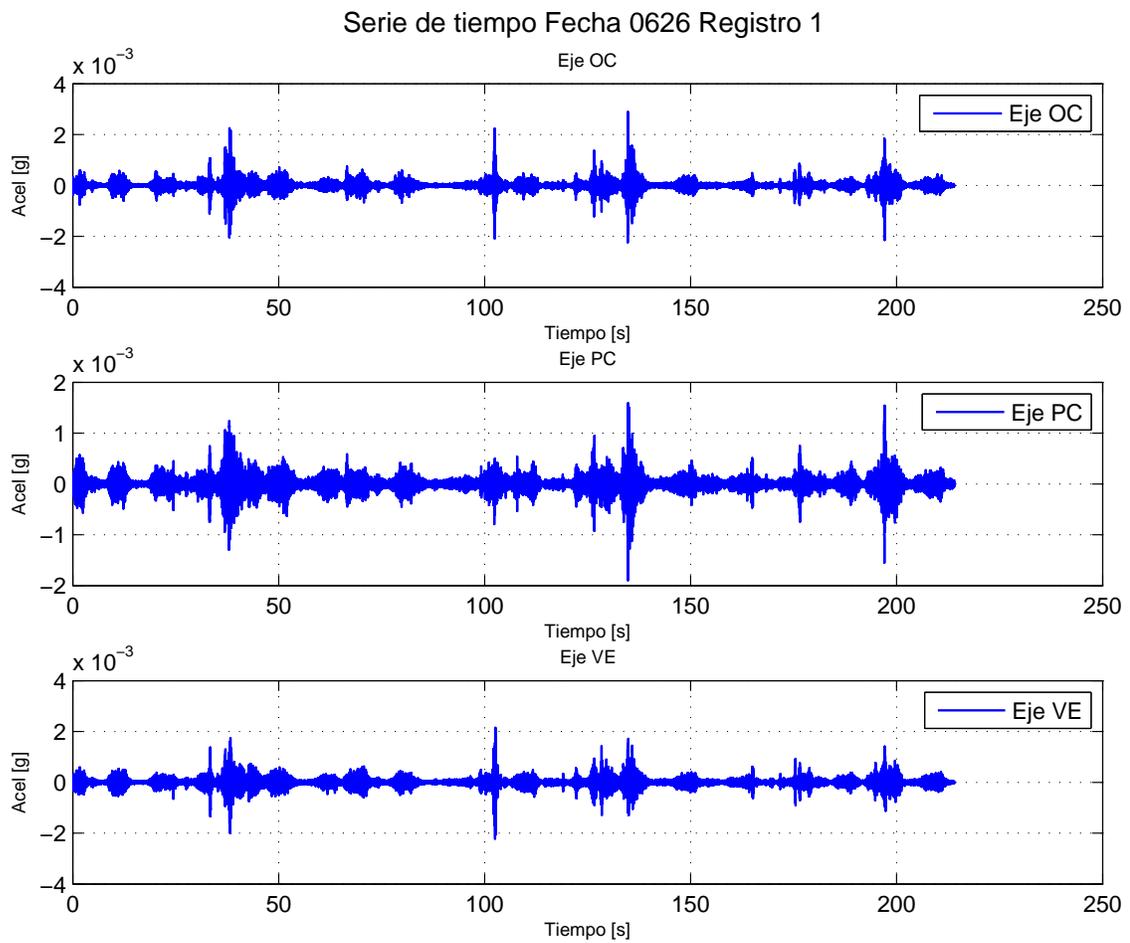


Figura 5.2: Serie de tiempo separadas por eje Registro 1

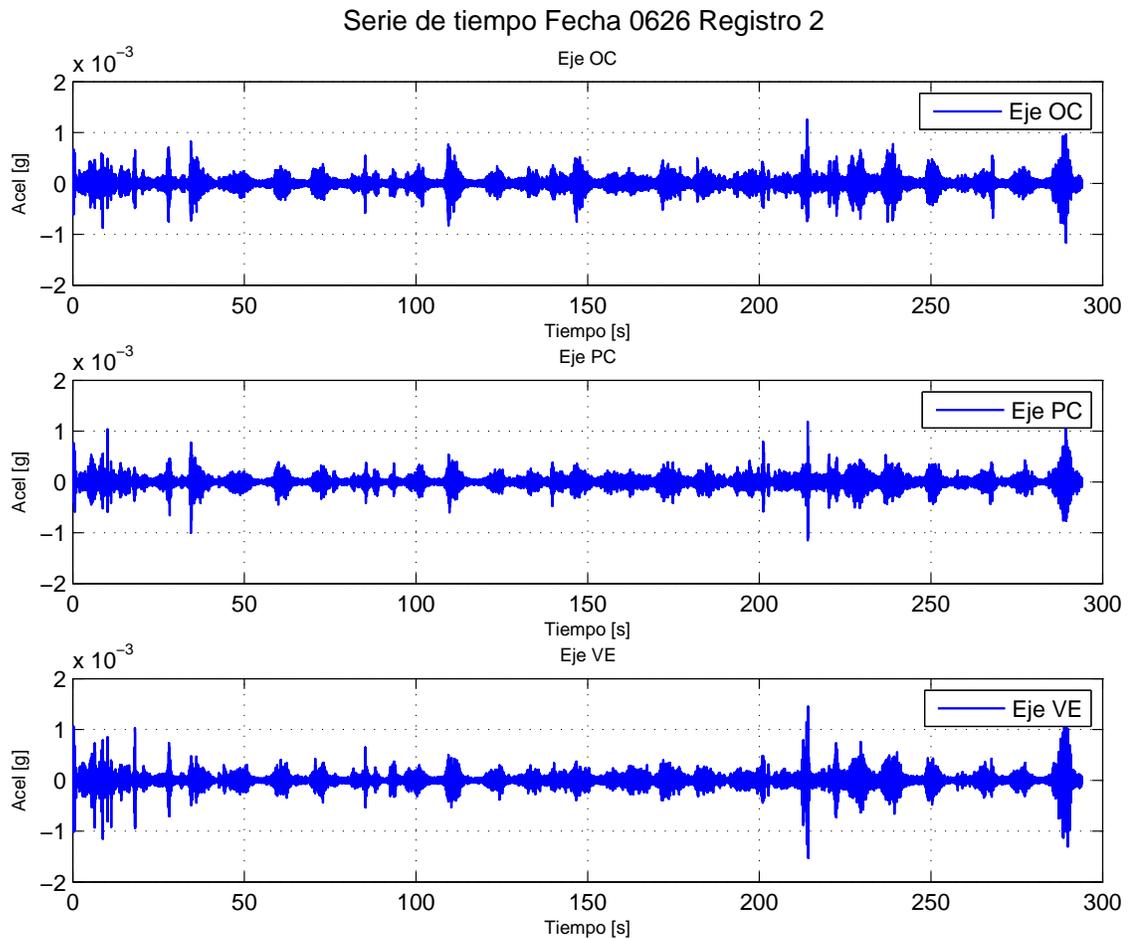


Figura 5.3: Serie de tiempo separadas por eje Registro 2

A partir de estos gráficos se reconocen las sollicitaciones de aceleración debido al oleaje, pues es posible apreciar la periodicidad de la variación de las magnitudes de aceleración en los registros. Este tiempo de repetición de sucesos, corresponde a los periodos de llegada de las olas, variable entre 7 y 18 segundos.

Considerando la separación en el tiempo de los impactos del oleaje, cada registro es divisible en segmentos por olas. La figura 5.4 presenta un *zoom* al registro 1 para una ventana de tiempo que contiene las sollicitaciones de aceleración debido al impacto de una ola.

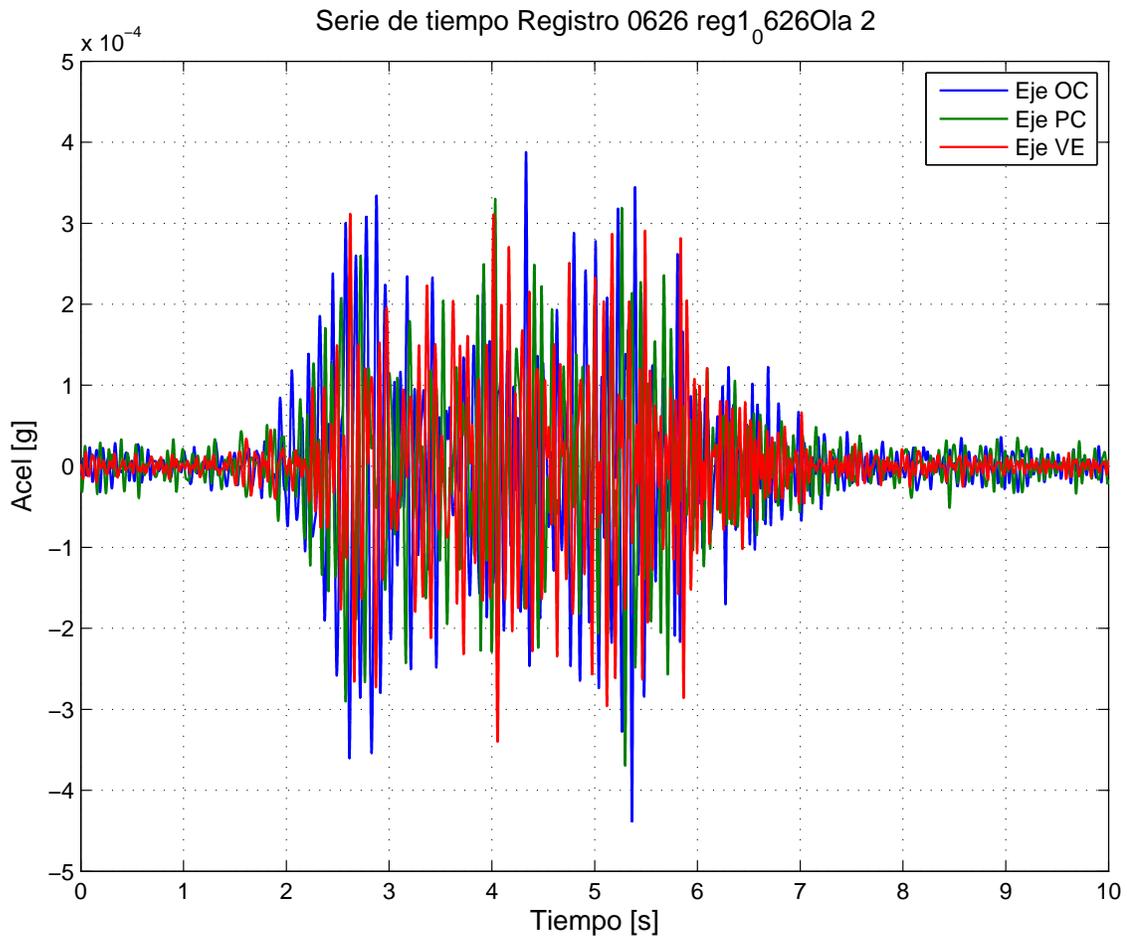


Figura 5.4: Serie de tiempo Fecha 0626 Registro 1. Zoom de visualización de ola

5.1.2. Análisis de Frecuencias

En todos los registros es necesario descartar frecuencias de las señales debido a maquinaria eléctrica presente. Estas corresponden a valores de frecuencias de valores en torno a 25, 50 y 75 Hz, principalmente. No obstante, al estudiar los resultados de los análisis de frecuencias según Transformada de Fourier (y posteriormente Espectros de Potencia) la mayor parte de la energía asociada a las señales se ubica entre los 0 y 40 Hz. Por lo tanto, para todos los registros se ha aplicado filtros de frecuencias de las señales de tipo Butterworth con filtro pasa bajos entre estos últimos valores de frecuencia. Así, en los procesamientos de resultados realizados, se afirma que no serían influyentes las frecuencias debido a las máquinas eléctricas.

La justificación de la banda de frecuencia para el filtro de señales queda manifestada en la figura 5.5, tomando como ejemplo el registro sin filtro de la fecha F0626. Es evidente la alta densidad de energía en el rango de frecuencias entre 0 y 40 Hz, donde posterior a este valor existe un rápido decaimiento de su amplitud.

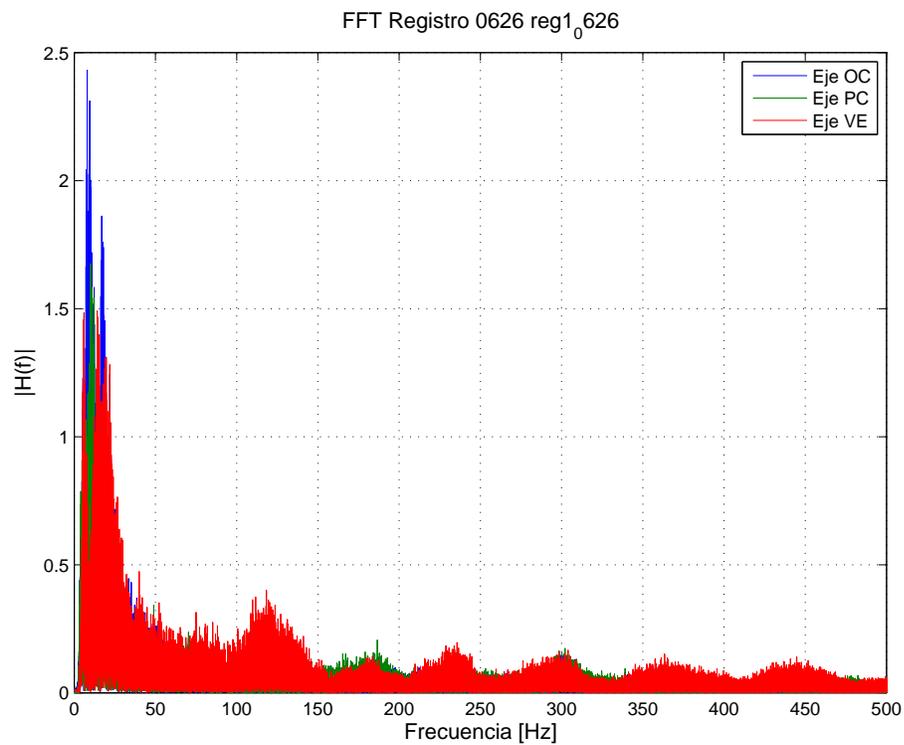


Figura 5.5: Espectro de frecuencias Registros sin filtro. Fecha 0626 Registro 1.

A continuación se muestra una distribución de frecuencias para el registro 1 con fecha F0626, donde ya se ha aplicado el filtro pasa bajo. Los máximos valores de la zona de alta energía se encuentran entre los 7 y 15 Hz.

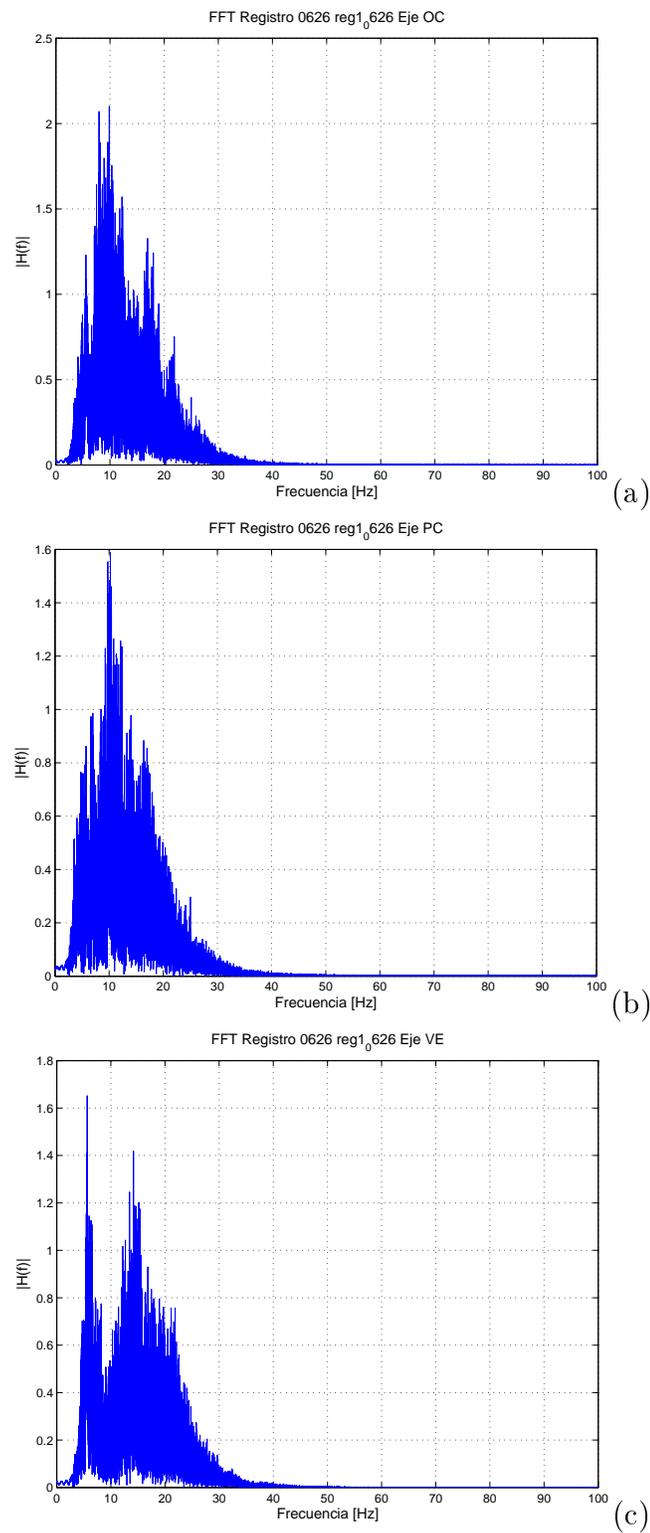


Figura 5.6: Espectro de frecuencias. F0626 Registro 1. a) Eje OC. b) Eje PC c) Eje VE

En la figura 5.7 se muestra las diferencias entre los registros luego de ser aplicado el filtro de frecuencias. La visualización de las señales debido al impacto de las olas es mucho más

clara.

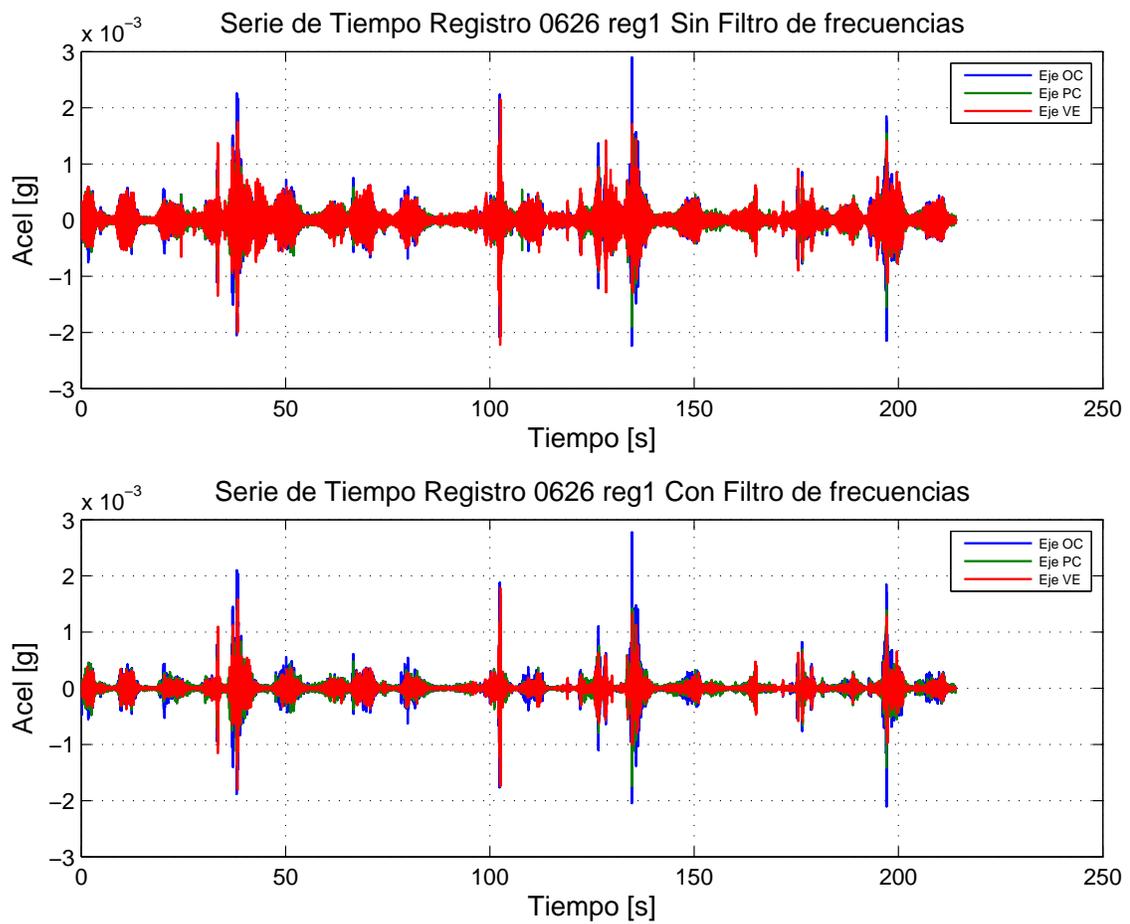


Figura 5.7: Comparación de registros bajo la aplicación de un filtro de frecuencias pasa banda

Para evidenciar mucho más la relación de las frecuencias de la señal debido al impacto de las olas, las figuras 5.8 a 5.10 presentan espectrogramas para cada eje de los registros. En estas figuras confirman la asociación entre el rango de frecuencias propias en torno a 10 Hz registradas y el segmento de tiempo del registro.

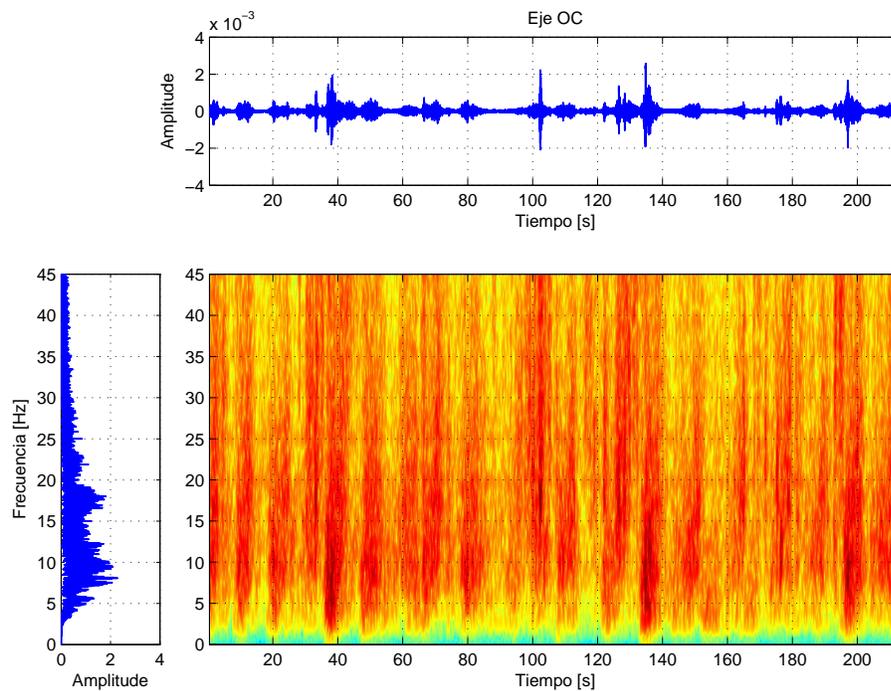


Figura 5.8: Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje OC

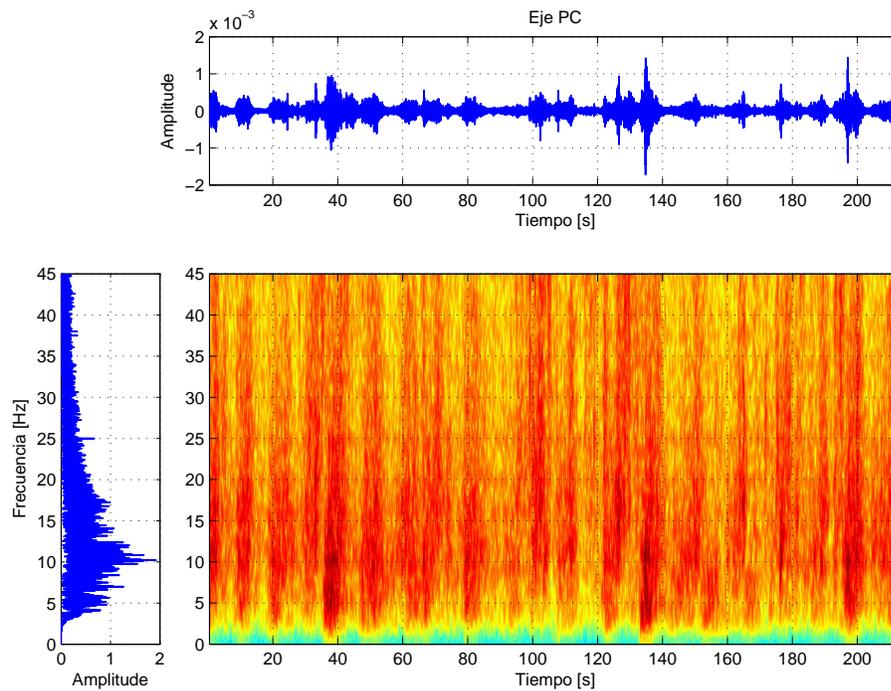


Figura 5.9: Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje PC

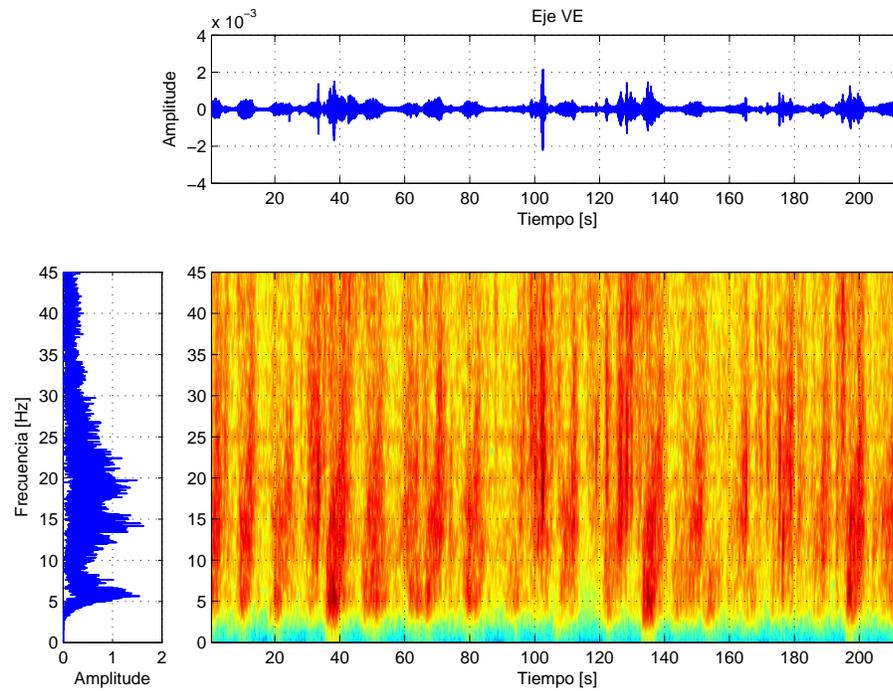


Figura 5.10: Espectrograma. Fecha 0626. Registro 1, Eje VE

Posteriormente, en otro análisis, se determinan las frecuencias predominantes en el suelo de la playa. Para este procedimiento, se ha empleado un análisis de Espectro de Densidad de Potencia (PSD), el cual además de permitir reconocer las frecuencias fundamentales del suelo, entrega información sobre la correlación entre las señales de cada eje.

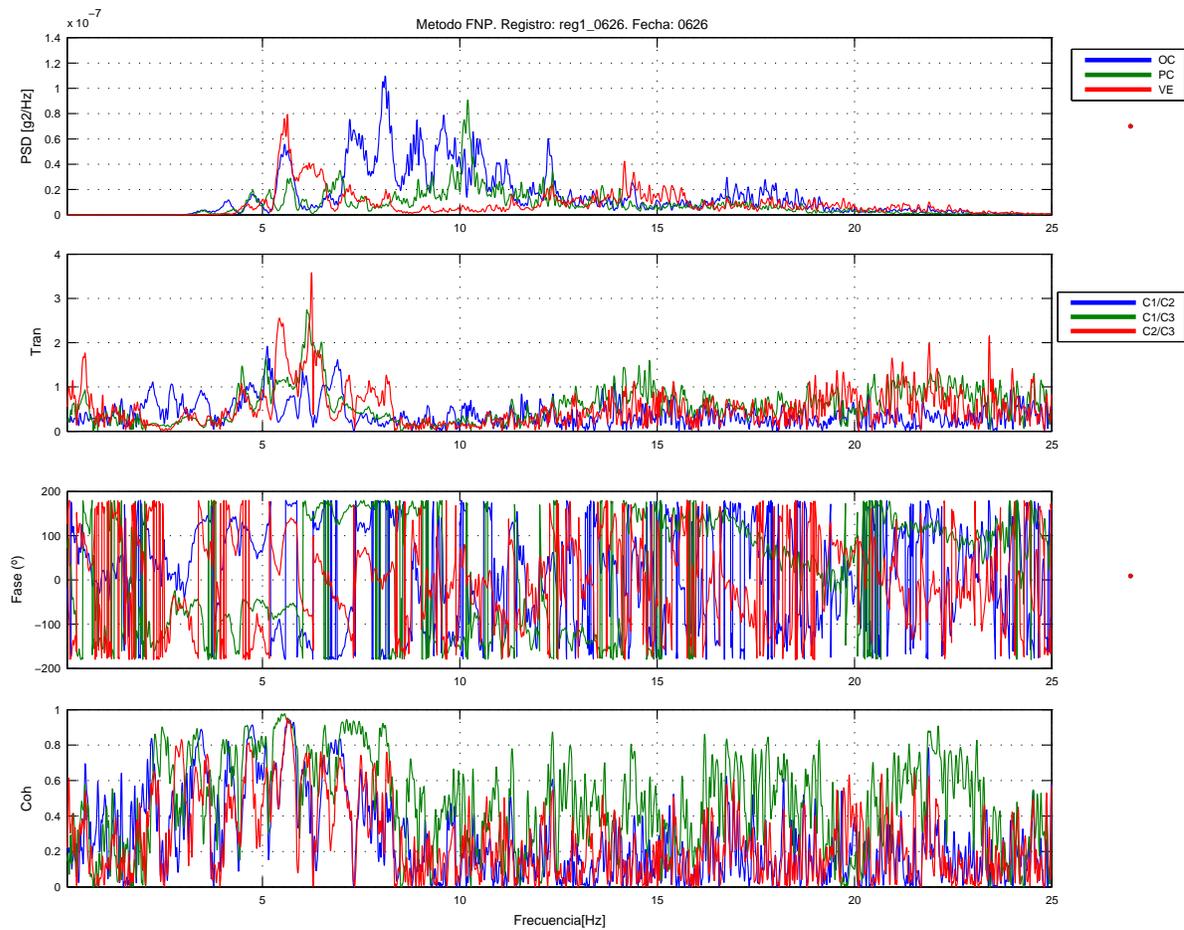


Figura 5.11: Espectro de Densidad de Potencia. Fecha 0626 Registro 1

5.2. Análisis individual de olas

Con el fin de confirmar los resultados obtenidos en un registro extenso, cada uno de estos se separa en segmentos, según la presencia de impacto de olas. De la misma manera que los registros completos, se estudian las frecuencias asociadas al proceso de rompiente de olas y la correlación entre señales. Además se evalúan los máximas amplitudes de aceleración (PGA) de cada registro individual y las demandas que induce, a través de la confección de espectros de aceleraciones.

5.2.1. Series de tiempos de olas

Como ejemplo, en la figura 5.12 se presenta la división por olas del registro 1, F0626. Algunos segmentos del registro completo se descartan debido a que contienen alteraciones en las señales, como lo son el primero y último segmento de cada registro.

Pueden existir más de una ola por segmento; no obstante para los análisis posteriores no tiene relevancia esta clasificación.

En el ejemplo indicado, las olas 4, 9 y 14 destacan como las señales con mayor amplitud de aceleración.

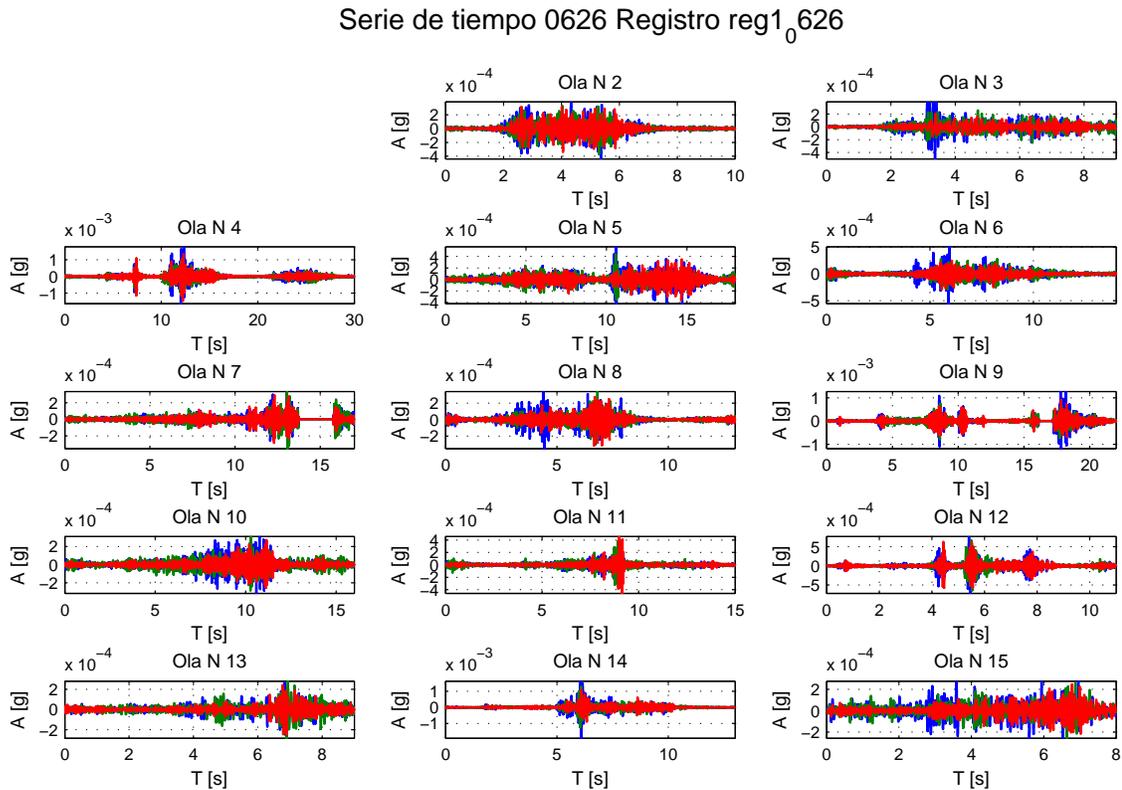


Figura 5.12: Series de Tiempo segmentadas. Fecha 0626 Registro 1

5.2.2. Análisis de Frecuencias

En primera instancia se analizan los registros de las campañas presentadas. Para estos se realiza un análisis tipo PSD para determinar las frecuencias del suelo.

Posteriormente se ejecuta un análisis de tipo Nakamura [3] a un registro adicional de la campaña F0710, capturado en un periodo de bajo oleaje en el día.

Por sugerencias de realización de este último método, el registro tiene una extensión aproximada de 40 min.

Para los registros típicos de las campañas, observando los espectrogramas de estos, se ratifica que las frecuencias principales asociadas a los impacto de ola están en torno a los 10 Hz. En estos ejemplos, el rango donde se ubican los valores extremos (*peaks*) de energía está entre los 9.2 y 12.2 Hz.

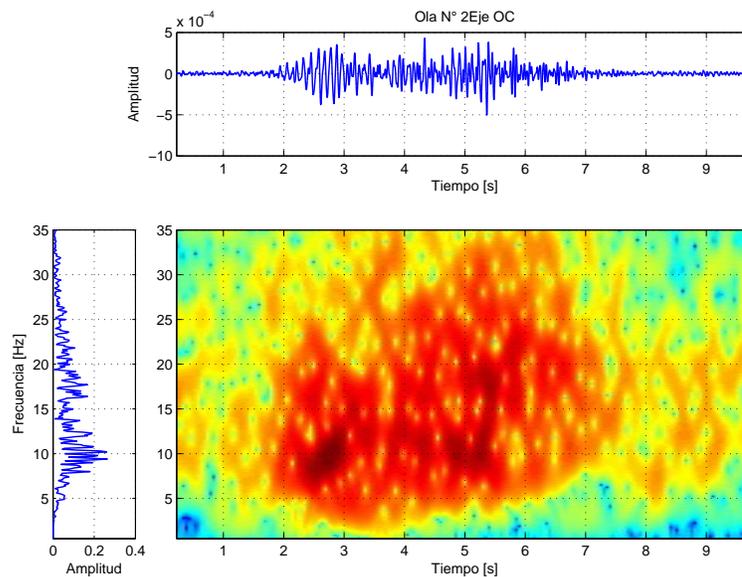


Figura 5.13: Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje OC

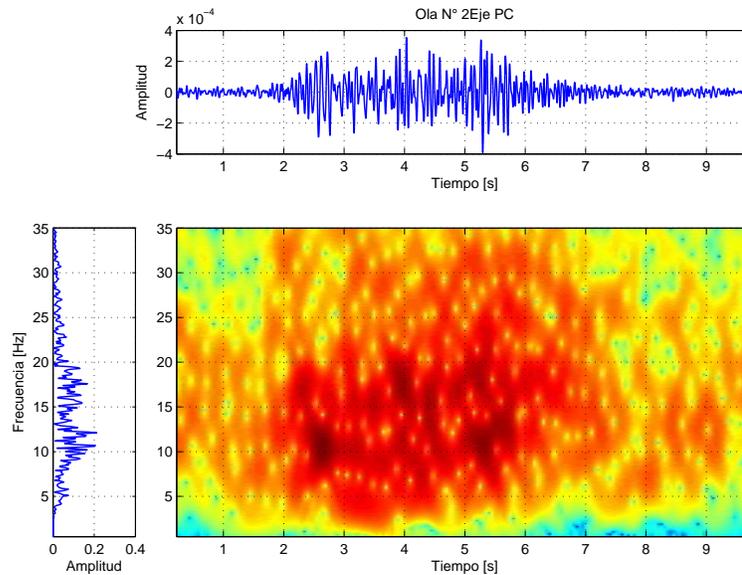


Figura 5.14: Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje PC

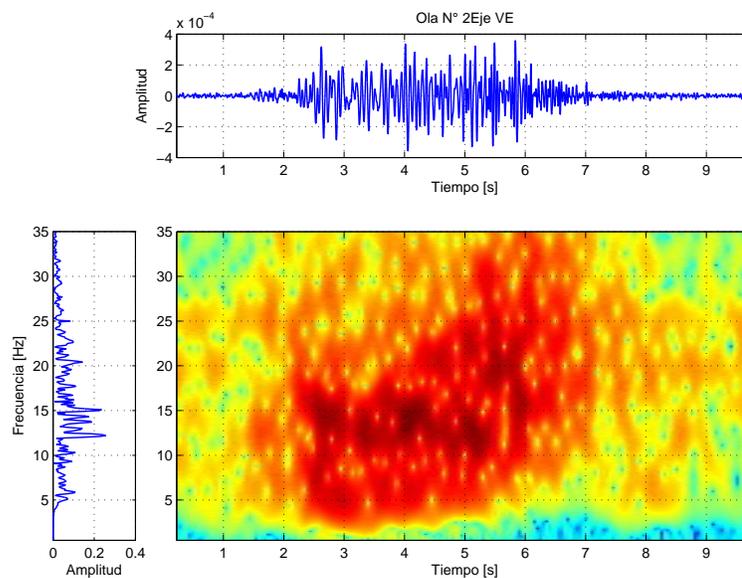


Figura 5.15: Espectrograma de Ola. Fecha 0626 Registro 1 Eje VE

Ahora, con análisis de espectros de potencia, es posible reconocer las relaciones de valores de frecuencia de excitación en el suelo, y también la interacción entre las señales de los tres ejes de medición.

En las figuras siguientes se muestran los espectros de potencia para registros ejemplares de todas las campañas. El rango de frecuencias predominantes en el suelo es amplio, principalmente con la mayor concentración de *peaks* entre los 7 y los 15 Hz. Si bien existen valores para las primeras frecuencias fundamentales del suelo que escapan a este intervalo

(Olas en campaña F0829, por ejemplo), la mayor amplitud de energía asociada se mantiene en el intervalo mencionado.

Campaña F0626

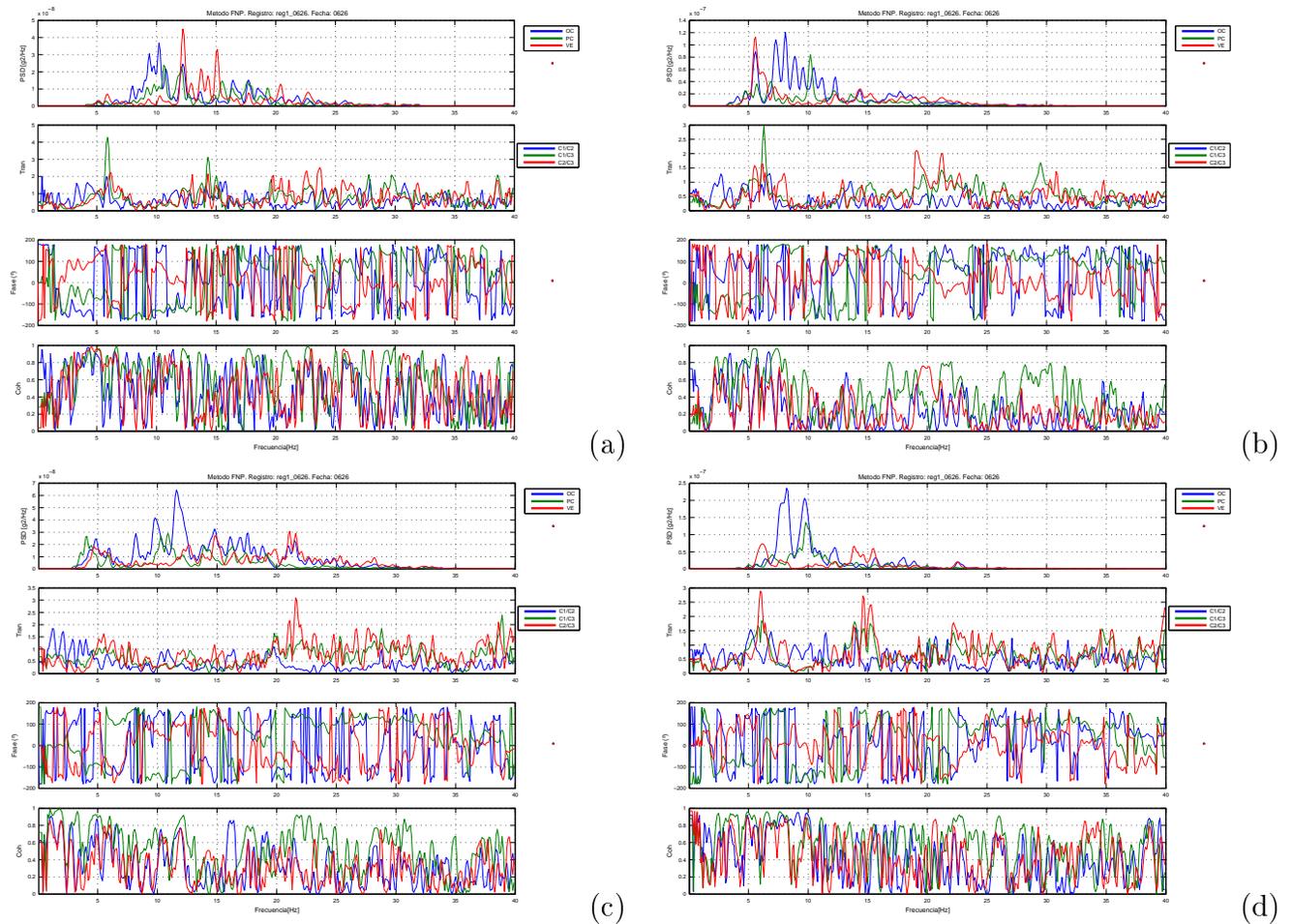


Figura 5.16: PSD Fecha 0626 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14

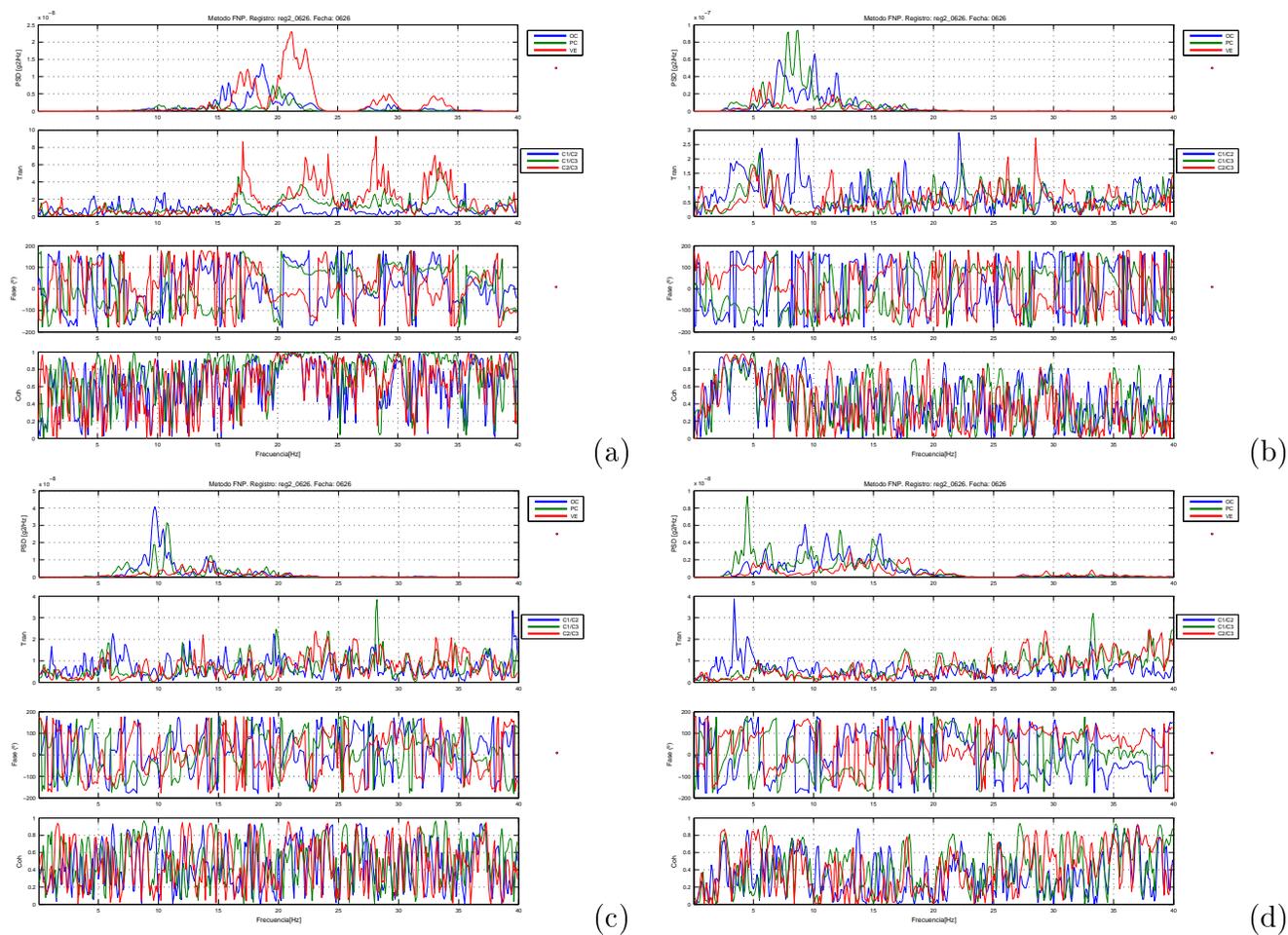


Figura 5.17: PSD Fecha 0626 Registro 2. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14

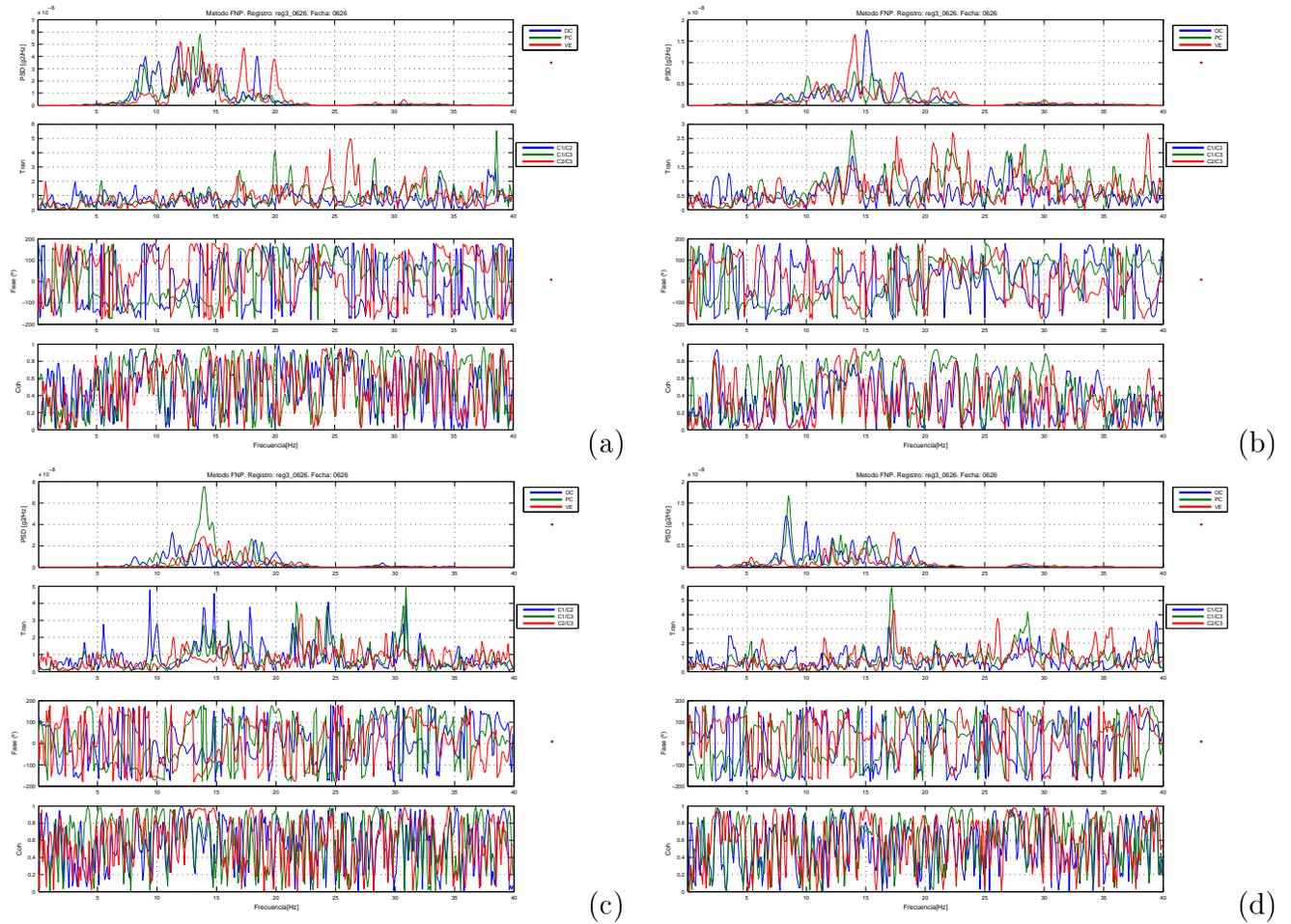


Figura 5.18: PSD Fecha 0626 Registro 3. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14

Campaña F0710

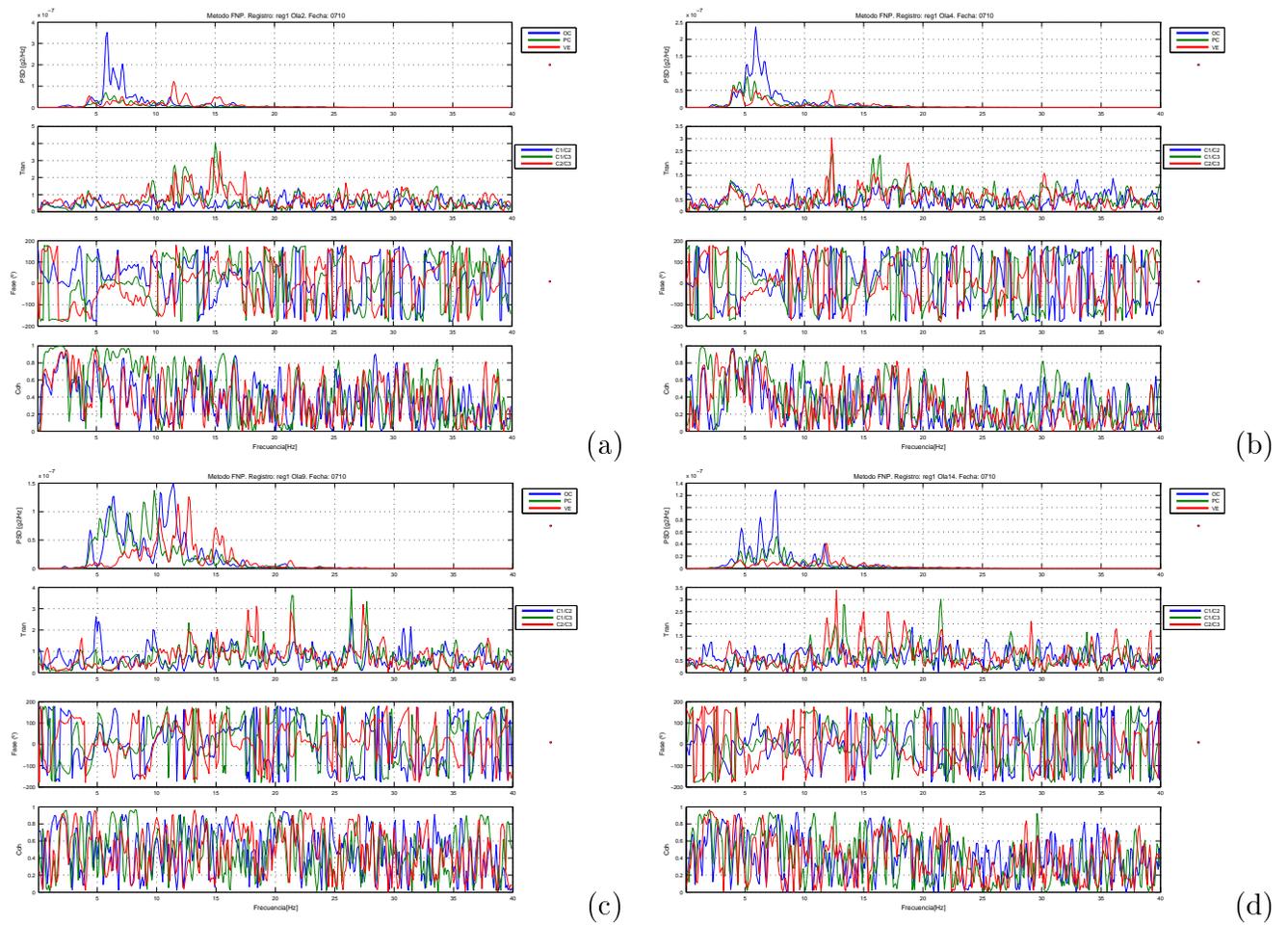


Figura 5.19: Ejemplo PSD Fecha 0710 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14

Campaña F0829

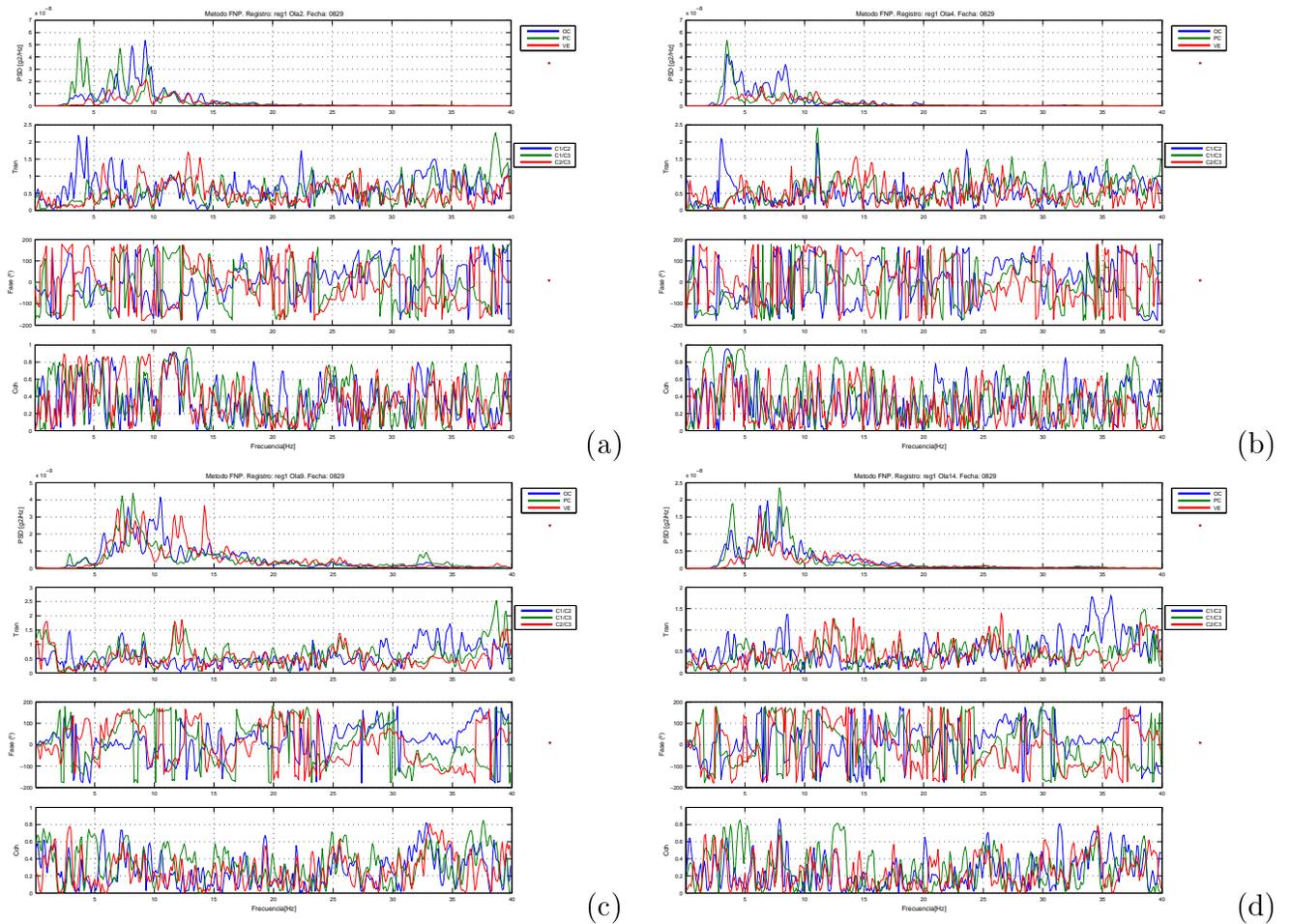


Figura 5.20: Ejemplo PSD Fecha 0829 Registro 1. (a) Ola N° 2, (b) Ola N° 4, (c) Ola N° 9, (d) Ola N° 14

El análisis de frecuencias de suelo mediante el método de Nakamura [3] corresponde a una estimación de las razones de espectros de frecuencias entre los ejes de medición. Para este análisis, el registro no presenta grandes alteraciones en las magnitudes de aceleración, pues como se dijo anteriormente, es debido a que la medición corresponde a un periodo del día de bajo oleaje.

En las siguientes figuras se muestra el registro y los resultados obtenidos para las frecuencias principales del suelo. En ellas se observa que estas frecuencias principales están en el intervalo de 12 a 17 Hz (El *peak* en torno a 25 Hz corresponde a las frecuencias de maquinas incluidas en las señales)

Por lo tanto, considerando que la principal diferencia entre los registros previos y el empleado en este análisis es la magnitud del oleaje presente, puede existir un condicionamiento

de esta variable a los valores de las señales obtenidos. Entonces, no es posible definir un intervalo único y sobre las frecuencias fundamentales del suelo.

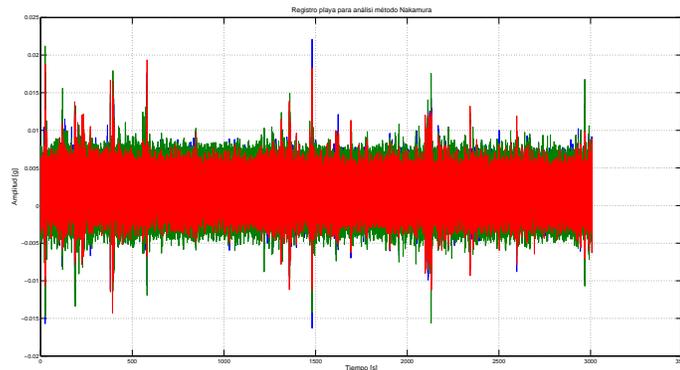


Figura 5.21: Registro Análisis Nakamura

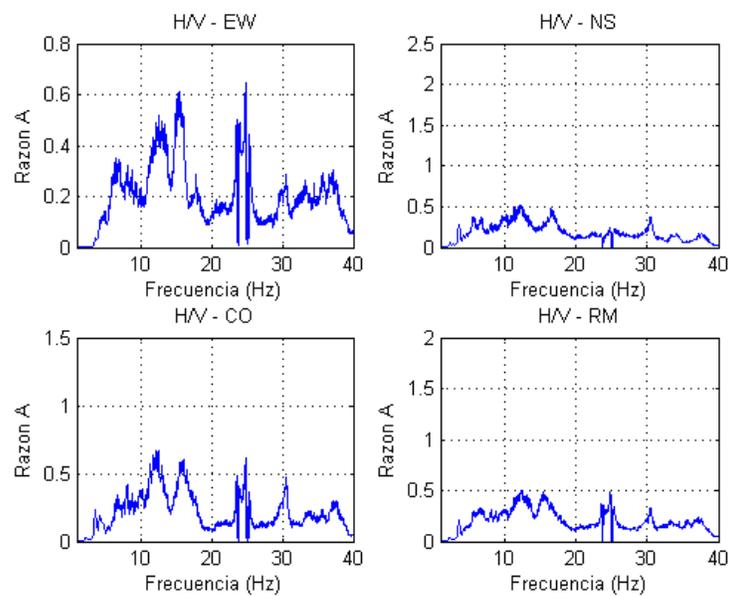


Figura 5.22: Frecuencias de suelo según Análisis Nakamura. Razones entre ejes

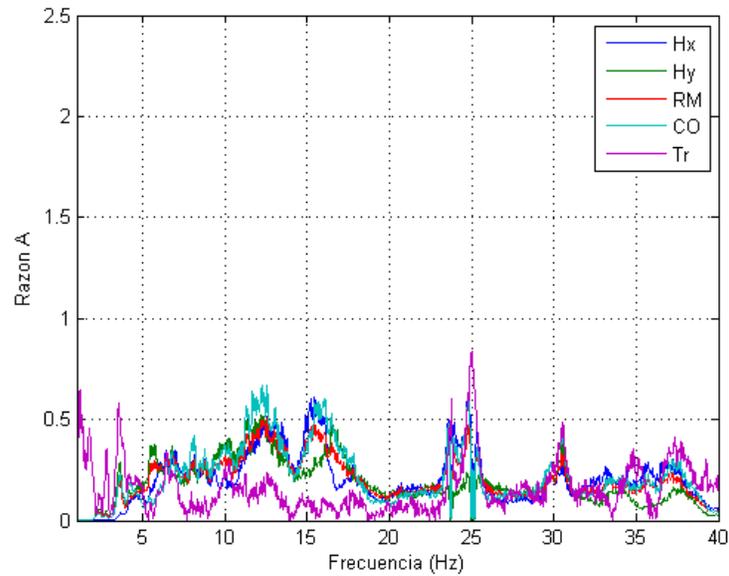


Figura 5.23: Frecuencias de suelo según Análisis Nakamura. Zoom razones entre ejes

5.2.3. Atenuación de magnitudes de aceleración en el suelo

Se han determinado las mayores magnitudes de aceleración del suelo (PGA) debido al rompiente del oleaje. Además se ha estimado el valor promedio y desviación estándar para el conjunto de olas de cada registro. Con esto es posible construir gráficos donde se indique la variación de estas magnitudes de aceleración en función de la distancia a la zona de rompiente de olas.

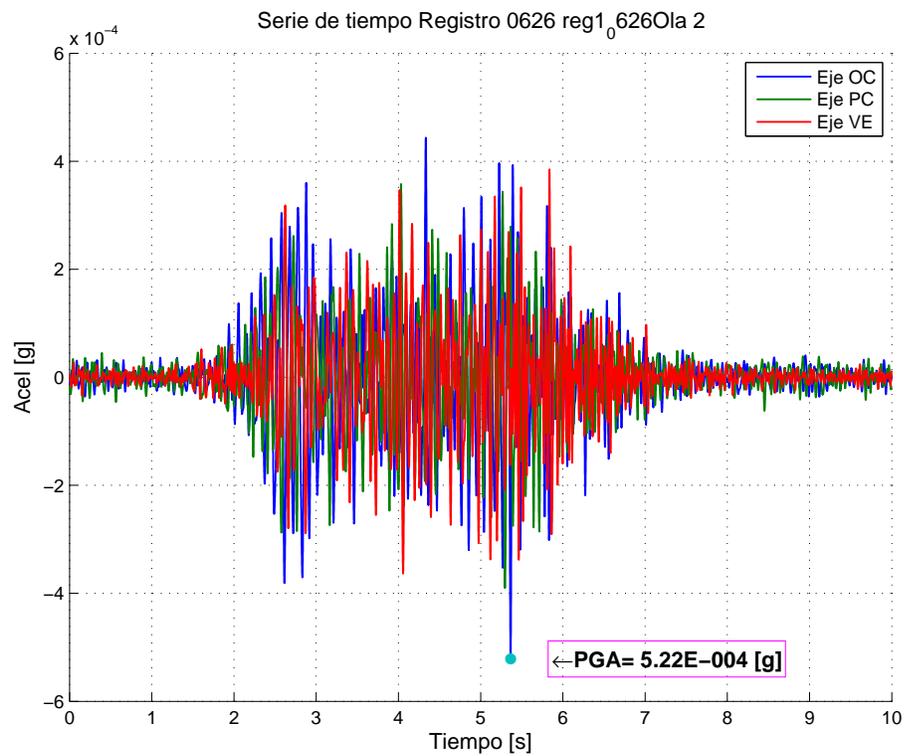


Figura 5.24: Máxima aceleración en el suelo debido a impacto de ola. F0626 Reg 1 Ola 2

A continuación se presentan las tablas que contienen los valores de PGA para cada conjunto de olas de los registros en cada una de las etapas y gráficos estilo Diagramas de Caja, para visualizar la dispersión estadística de los valores registrados.

Etapas F0626

Tabla 5.1: “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje OC”

Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]			
N° Ola	N° Registro		
	1	2	3
1	-	-	-
2	5.22	3.97	8.52
3	5.16	7.24	3.03
4	18.53	8.14	3.72
5	6.22	2.10	3.31
6	5.68	3.18	4.52
7	4.04	2.64	4.75
8	3.68	5.34	1.92
9	13.27	4.06	4.74
10	3.49	7.53	3.24
11	4.36	2.72	3.56
12	7.64	2.51	4.41
13	2.94	6.91	2.63
14	19.31	2.15	2.83
15	3.50	4.70	5.60
16		4.00	4.31
17		4.14	1.43
18		10.45	
19		5.38	
20		7.09	
21		4.09	
22		6.18	
23		3.20	
máx	19.31	10.45	8.52
\bar{x}	7.36	4.90	3.91
σ	5.54	2.24	1.65

Tabla 5.2: “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje PC”

Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]			
N° Ola	N° Registro		
	1	2	3
1	-	-	-
2	3.90	2.06	5.79
3	2.73	5.66	2.58
4	9.08	9.20	4.43
5	4.89	2.17	2.76
6	3.07	3.90	2.56
7	4.06	2.82	4.68
8	3.50	3.73	1.81
9	8.38	2.91	5.24
10	3.47	5.21	2.44
11	4.63	2.03	3.15
12	6.79	2.29	3.79
13	3.13	4.57	1.98
14	12.65	2.19	2.23
15	2.83	4.02	5.00
16		3.12	4.99
17		6.55	1.67
18		10.44	
19		4.97	
20		4.19	
21		3.56	
22		3.95	
23		3.52	
máx	12.65	10.44	5.79
\bar{x}	5.22	4.23	3.44
σ	2.95	2.19	1.38

Tabla 5.3: “Máximas amplitudes de aceleración en suelo. Fecha 0626 Eje VE”

Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]			
N° Ola	N° Registro		
	1	2	3
1	-	-	-
2	3.84	6.18	8.21
3	1.96	6.00	2.58
4	15.12	4.05	4.15
5	5.09	2.06	2.82
6	3.06	2.27	2.81
7	3.89	2.81	6.07
8	4.46	5.81	1.94
9	11.14	2.16	4.89
10	3.27	4.36	2.73
11	5.99	2.58	4.31
12	8.85	2.13	5.57
13	2.88	2.87	1.76
14	11.13	1.91	1.97
15	2.97	2.87	5.36
16		2.40	2.80
17		3.74	2.81
18		11.86	
19		6.52	
20		4.60	
21		4.18	
22		3.06	
23		2.45	
máx	15.12	11.86	8.21
\bar{x}	5.98	3.95	3.80
σ	4.00	2.29	1.81

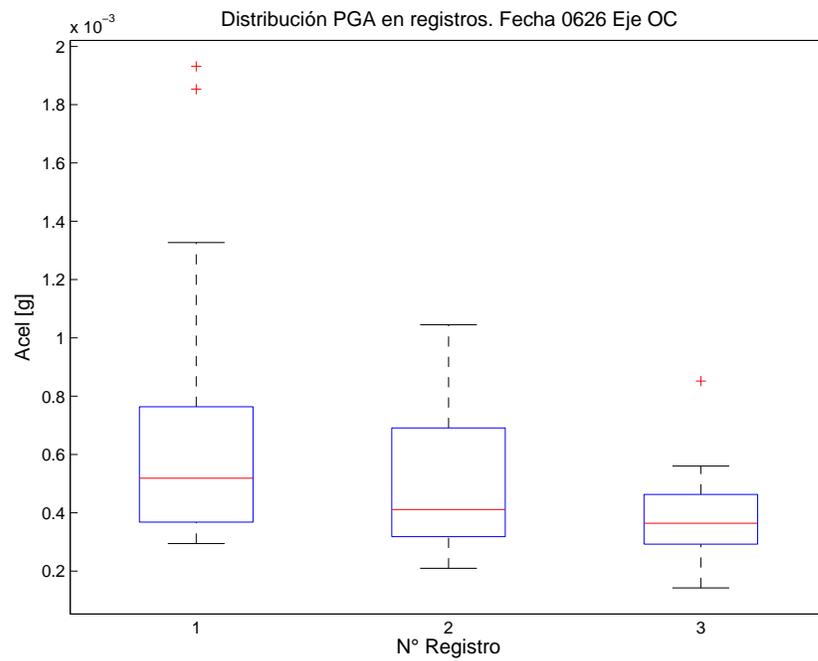


Figura 5.25: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje OC

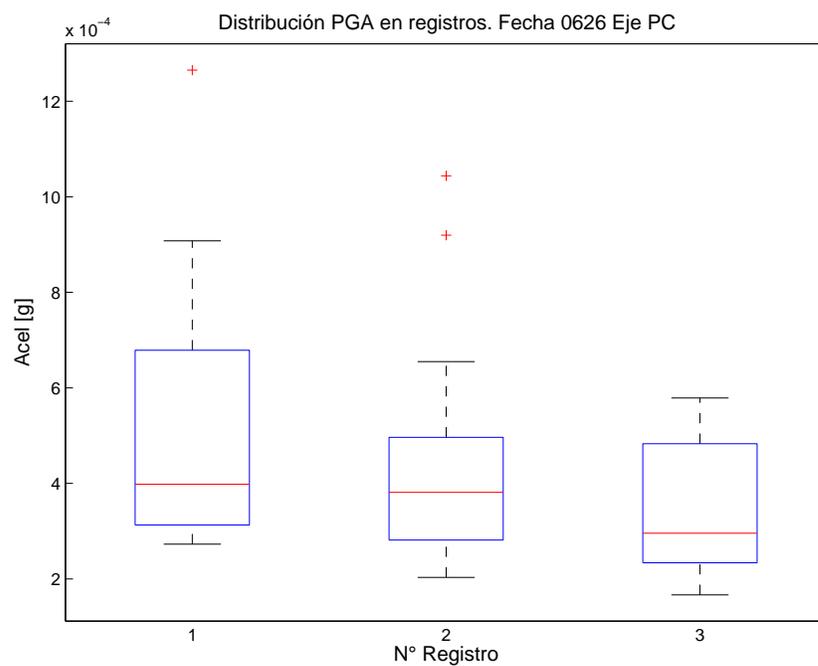


Figura 5.26: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje PC

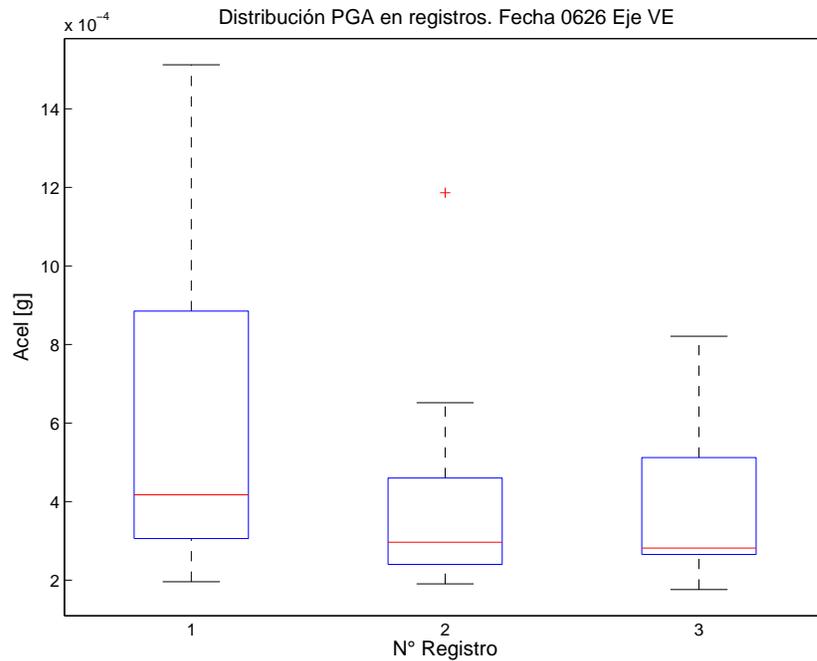


Figura 5.27: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0626. Eje VE

Como se observa en la figura 5.25, es evidente la disminución de los amplitudes de aceleración a medida que se aleja de la zona de origen de las vibraciones. El registro 1, presenta la mayor dispersión de valores. Y aunque en éste se descarten los valores con mayor dispersión de la distribución (Ola 13 y Ola 3), se mantiene la relación entre las magnitudes de aceleración y distancia al borde costero.

Etapa F0710

Recordando que esta etapa corresponde a una red de puntos paralela al borde costero, se manifiesta una uniformidad en los valores de aceleración, lo cual significa que toda la extensión de la playa está afecta a las mismas condiciones de sollicitación.

En general, las medias de los valores máximos de cada registro. están en torno a $8 \cdot 10^{-4} [g]$. La dispersión de datos es mucho más regular que en el caso previo estudiado, donde los casos atípicos señalados (puntos rojos en figura 5.28) corresponden a olas excepcionales de gran magnitud, definidas principalmente por el aumento espontáneo de la velocidad del viento durante una parte del tiempo de medición.

El valor máximo del registro 5 está asociado al impacto de ola con mayor magnitud registrado durante todo el periodo de mediciones.

Tabla 5.4: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje OC”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]										
	N° Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	14.39	8.14	9.43	6.30	10.89	6.70	1.12	9.01	4.28	6.52	4.08
3	14.59	7.90	10.49	5.98	10.73	6.97	0.00	2.64	0.01	4.64	4.42
4	11.37	18.01	11.17	6.21	2.84	4.25	0.00	3.95	4.96	3.85	7.49
5	13.05	8.94	15.82	4.76	11.33	5.55	3.01	15.34	6.37	13.61	26.46
6	6.09	10.35	5.84	11.36	9.12	-	6.29	6.50	4.02	11.26	5.26
7	6.28	7.41	11.22	12.22	10.42	3.17	1.90	8.59	19.45	2.23	8.95
8	6.20	3.78	6.65	3.56	5.71	5.44	0.00	6.52	4.86	4.24	4.41
9	5.94	4.97	7.29	5.06	9.17	4.15	0.00	6.45	8.16	3.79	11.82
10	10.70	19.64	6.81	4.68	5.85	2.68	-	4.92	7.04	4.48	7.00
11	5.77	4.11	11.06	11.16	57.08	4.03	1.09	4.69	4.74	9.23	12.77
12	7.03	13.22	8.09	8.72	8.79	3.92	2.96	3.42	6.32	17.90	3.34
13	12.88	6.85	12.65	4.19	14.85	3.08		11.54	5.43	5.31	3.15
14	5.81	17.13	10.43	6.04	9.11	5.84		4.65	5.30	11.21	5.05
15	6.78	14.49	5.62	7.36	7.71	2.34		6.96	5.45	6.26	11.12
16	-	5.75	6.19	8.98	20.14	5.29		3.67	21.52	5.80	
17	7.98	20.73	6.83	10.41	18.91	3.77		2.69	7.93	9.43	
18	4.92	12.34	5.25	4.66	-	6.36		14.25			
19	4.05	8.15	7.42	7.65	12.40	4.42		6.25			
20	9.41	8.35	10.55	15.67	6.41	11.05					
21	7.82			7.12	3.12	2.46					
22	5.55			16.33	-	5.65					
23	4.31				3.43	3.06					
24	13.69				7.62	3.43					
25	3.35				3.10	1.47					
26	7.02				10.13						
27					1.03						
máx	14.59	20.73	15.82	16.33	57.08	11.05	6.29	15.34	21.52	17.90	26.46
\bar{x}	7.85	10.67	8.86	8.11	10.83	4.47	1.70	6.65	7.44	7.55	8.56
σ	3.29	5.40	2.92	3.72	11.18	2.04	2.13	3.80	5.64	4.41	6.28

Tabla 5.5: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje PC”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]										
	N° Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6.96	8.94	8.08	7.13	4.66	4.49	0.03	3.31	0.00	4.16	3.45
3	6.74	9.79	10.09	7.97	2.71	3.18	0.03	4.02	2.84	3.62	5.46
4	7.26	7.77	9.03	4.90	7.39	7.30	3.21	14.30	3.44	7.79	14.62
5	2.78	9.55	6.05	16.49	10.30	-	5.13	8.08	3.57	6.67	4.67
6	4.15	6.36	10.01	14.62	7.35	2.25	1.54	5.72	10.52	3.01	9.34
7	4.91	4.14	3.77	2.40	2.52	6.26	0.02	4.75	4.22	4.44	5.23
8	4.71	5.36	5.86	4.69	8.15	3.45	0.02	6.60	4.16	3.36	7.96
9	9.86	11.74	6.30	3.56	6.73	3.40	-	4.98	5.17	4.96	4.79
10	5.11	4.87	16.77	8.41	20.94	3.30	0.67	4.90	2.83	10.99	10.75
11	7.09	11.25	10.40	10.23	6.82	4.31	2.31	6.17	3.22	11.62	2.96
12	7.93	6.30	9.75	7.09	6.85	2.55	-	8.02	4.05	4.26	4.14
13	8.46	19.10	6.27	4.89	5.45	7.31	-	3.06	7.39	10.78	2.80
14	4.38	13.03	5.06	8.37	3.55	2.14	-	6.36	3.26	7.45	9.93
15	-	5.03	4.67	11.51	10.77	3.63	-	3.66	14.64	5.88	-
16	4.92	19.17	5.56	14.12	9.81	4.25	-	2.47	4.55	11.19	-
17	4.24	12.72	9.06	7.53	-	3.75	-	7.11	-	-	-
18	2.55	9.06	7.41	11.31	7.34	3.74	-	6.50	-	-	-
19	4.54	7.18	5.74	19.17	5.10	9.26	-	-	-	-	-
20	5.44	-	-	11.11	5.07	2.17	-	-	-	-	-
21	4.55	-	-	20.96	-	4.22	-	-	-	-	-
22	3.22	-	-	-	3.65	2.70	-	-	-	-	-
23	14.65	-	-	-	4.52	4.77	-	-	-	-	-
24	2.20	-	-	-	3.37	2.17	-	-	-	-	-
25	4.19	-	-	-	6.18	-	-	-	-	-	-
26	-	-	-	-	1.32	-	-	-	-	-	-
27	-	-	-	-	1.03	-	-	-	-	-	-
máx	14.65	19.17	16.77	20.96	20.94	9.26	5.13	14.30	14.64	11.62	14.62
\bar{x}	5.69	9.52	7.77	9.82	6.55	4.12	1.44	5.88	4.92	6.68	6.62
σ	2.76	4.43	3.06	5.14	4.01	1.88	1.81	2.75	3.55	3.12	3.60

Tabla 5.6: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0710 Eje VE”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]										
	N° Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	13.73	8.50	7.85	7.10	5.29	6.09	0.01	3.14	0.07	6.81	3.29
3	7.00	18.34	11.56	7.48	1.77	3.32	0.01	3.89	2.37	4.52	6.49
4	7.62	8.30	17.64	3.49	6.84	6.50	2.66	21.96	3.38	12.29	14.64
5	4.86	10.45	6.97	9.86	4.54	-	5.31	6.56	3.53	7.08	4.36
6	5.31	8.89	12.12	11.53	6.20	2.15	1.25	7.00	16.39	2.03	6.18
7	8.15	3.83	5.28	2.83	2.20	3.76	0.01	4.36	4.59	5.31	3.76
8	5.72	8.38	4.47	5.73	4.09	3.52	0.01	5.59	6.78	4.27	8.91
9	7.84	11.03	6.61	4.40	4.46	2.46	-	4.84	8.26	3.25	4.23
10	7.92	4.58	15.82	10.73	12.65	2.76	0.57	5.54	3.01	7.87	10.98
11	5.31	11.20	5.64	7.01	3.60	3.57	3.52	3.81	3.42	7.35	2.28
12	8.28	7.52	12.27	5.00	5.31	2.48		8.42	3.12	2.88	3.47
13	4.50	20.52	7.86	6.44	5.01	4.64		2.92	4.21	6.86	3.13
14	4.18	17.62	4.10	8.64	5.25	1.89		8.89	3.57	4.12	9.55
15	-	6.45	5.60	9.85	5.88	4.73		2.57	19.97	7.11	
16	5.76	14.96	5.34	14.70	7.10	2.58		2.70	7.57	7.41	
17	5.70	12.30	4.22	5.77	-	5.99		9.32			
18	2.87	8.22	6.28	8.67	4.55	3.23		6.35			
19	6.18	6.41	12.05	13.77	3.41	10.13					
20	6.03		10.00	10.00	2.78	2.03					
21	4.86		15.41		-	4.00					
22	4.81				3.22	2.32					
23	16.18				4.43	2.52					
24	3.36				4.50	2.22					
25	4.83				4.17						
26					1.38						
27					1.03						
máx	16.18	20.52	17.64	15.41	12.65	10.13	5.31	21.96	19.97	12.29	14.64
\bar{x}	6.56	10.42	8.43	8.42	4.72	3.77	1.48	6.34	6.02	5.94	6.25
σ	3.06	4.72	4.12	3.59	2.27	1.97	1.93	4.56	5.39	2.57	3.73

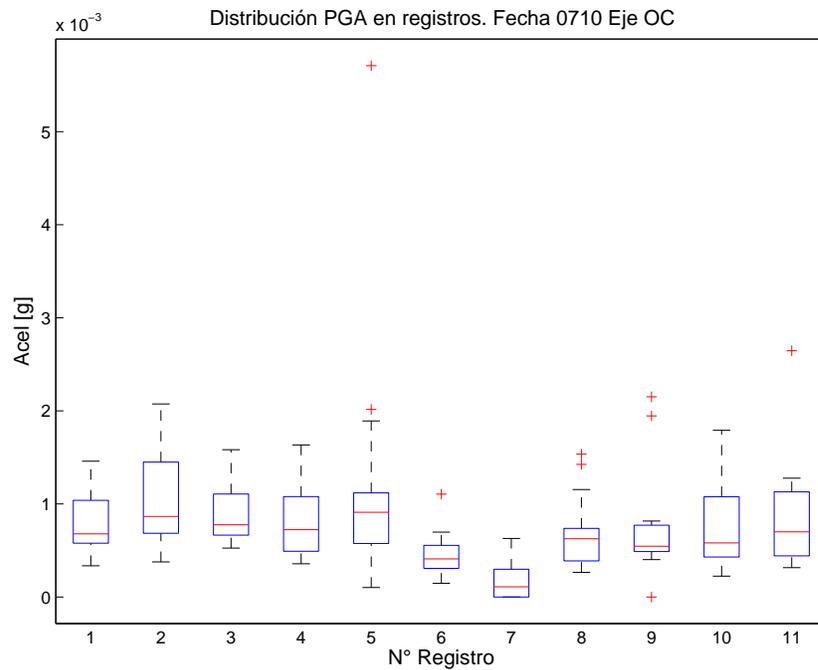


Figura 5.28: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje OC

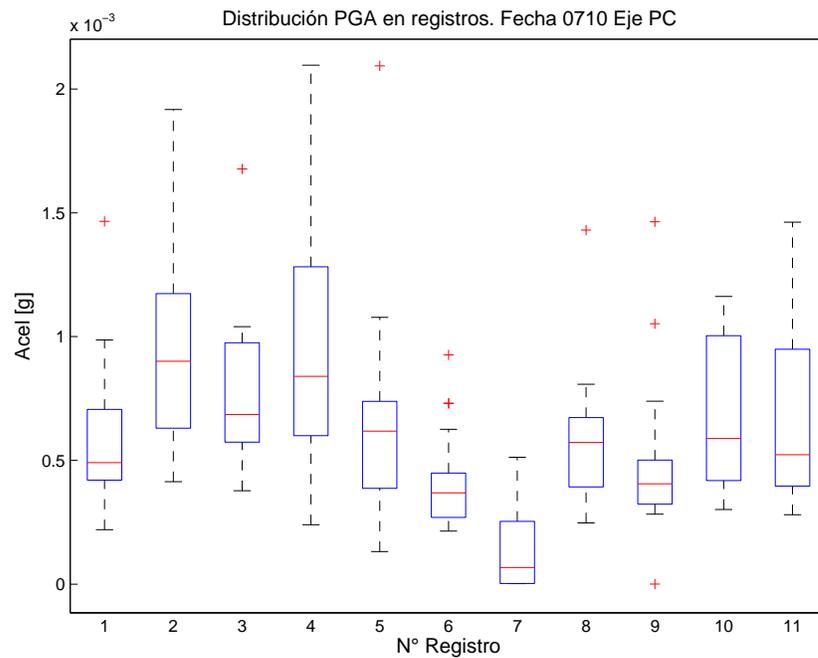


Figura 5.29: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje PC

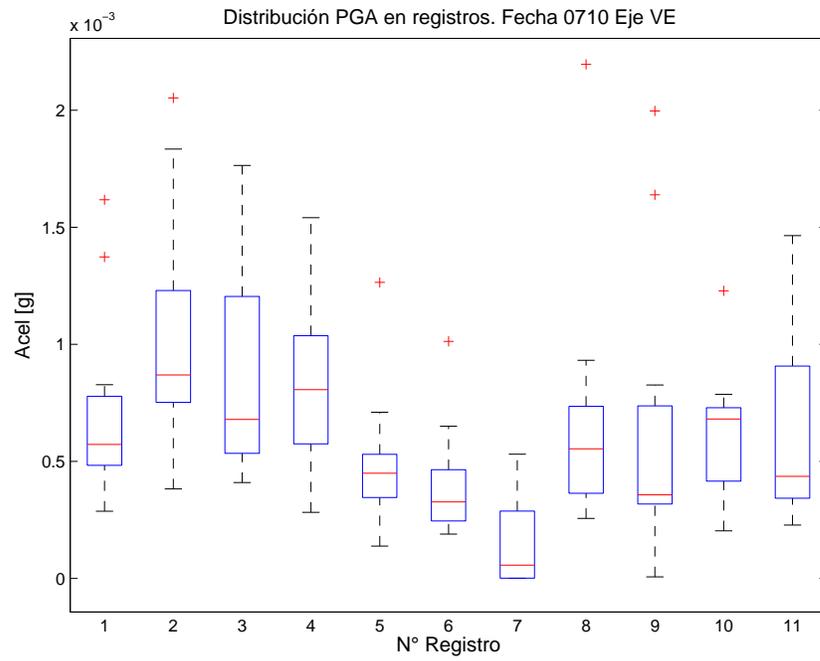


Figura 5.30: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0710. Eje VE

Etapa F0829

Tabla 5.7: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje OC”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]								
	N° Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	8.31	3.49	4.23	3.01	1.91	2.68	0.06		
3	3.92	2.31	3.62	2.64	3.31	3.35	0.06		
4	6.87	0.00	5.26	4.97	2.21	4.44	2.10	1.74	2.66
5	2.17	2.90	4.93	5.08	2.19	2.39	2.69	3.73	0.56
6	1.89	4.46	4.11	3.37	3.19	2.87	1.13	2.32	1.63
7	2.30	4.26	4.48	3.93	4.48	3.18	0.05	2.64	1.26
8	2.04	5.09	3.24	3.01	2.50	2.34	0.05	1.95	0.97
9	4.34	4.11	4.31	2.18	5.12	2.18	0.04	1.28	0.84
10	2.05	2.52	4.53	4.37	2.88	2.34	1.14	1.34	1.33
11	-	2.52	4.28	4.22	4.27	2.69	1.16	-	1.21
12	2.61	3.51	3.88	3.18	2.07	2.79		3.16	0.80
13	2.59	4.08	5.97	9.52	3.14	2.30		3.49	2.27
14	2.66	8.22	5.67	2.70	2.89	4.48		1.36	1.13
15	4.29	3.60	6.92	3.97	2.91	3.60		1.49	1.29
16	2.33	6.39	6.52	3.95	2.57	3.00		1.40	1.06
17	-	4.81	3.26	4.45	2.72	2.38		1.87	
18	2.95	5.62	3.21	3.33	2.93	3.34		1.41	
19	3.67	4.74	3.12	2.65	4.71	6.28			
20	3.20			1.66	4.27	5.16			
21	5.40			2.75	2.39	3.53			
22	4.49				1.87	1.68			
23	4.79				5.54	3.10			
24	2.56				2.10	4.34			
25	2.47				3.08				
máx	8.31	8.22	6.92	9.52	5.54	6.28	2.69	3.73	2.66
\bar{x}	3.25	4.03	4.53	3.75	3.14	3.24	0.85	1.94	1.31
σ	1.88	1.78	1.15	1.64	1.05	1.08	0.97	0.98	0.58

Tabla 5.8: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje PC”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]								
	N° Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7.74	2.45	3.61	2.95	1.76	3.03	0.01		
3	4.89	1.62	3.86	2.56	3.14	2.84	0.01		
4	4.87	0.00	3.41	5.18	1.19	3.51	1.34	1.48	2.78
5	2.52	3.10	3.21	3.79	2.07	1.82	1.79	4.67	0.51
6	2.17	3.30	2.94	3.72	3.34	2.59	0.91	2.38	2.93
7	2.85	2.99	3.60	2.97	3.24	2.20	0.01	3.58	0.94
8	2.67	4.87	3.29	3.84	2.10	1.90	0.01	2.39	1.36
9	2.79	3.40	4.54	2.92	4.04	1.46	0.01	1.17	1.13
10	2.11	1.62	3.08	5.48	2.10	1.50	0.81	1.12	2.06
11	-	1.75	7.62	5.66	2.25	3.18	1.04	-	0.85
12	2.54	2.38	4.28	4.42	1.65	2.36		3.31	0.68
13	3.29	2.78	4.24	8.11	2.05	2.22		2.46	2.69
14	3.17	4.37	3.44	2.53	2.04	2.89		1.74	1.37
15	2.77	4.06	5.00	3.28	2.89	3.20		1.39	1.26
16	2.71	4.07	4.88	3.66	2.42	2.41		1.36	1.06
17	-	3.33	3.72	4.00	2.61	1.84		1.14	
18	2.34	3.97	2.84	3.01	1.76	2.50		1.22	
19	5.51	3.14	2.27	3.67	2.75	4.85			
20	2.81			1.75	2.12	4.53			
21	5.26			2.87	2.33	2.98			
22	4.43				1.97	2.03			
23	4.57				4.17	3.11			
24	2.70				1.30	3.29			
25	2.83				3.15				
máx	7.74	4.87	7.62	8.11	4.17	4.85	1.79	4.67	2.93
\bar{x}	3.23	2.96	3.88	3.82	2.43	2.70	0.59	1.96	1.51
σ	1.68	1.19	1.18	1.42	0.77	0.86	0.67	1.19	0.83

Tabla 5.9: “Máxima aceleración en suelo. Fecha 0829 Eje VE”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]								
	N° Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	7.29	2.98	5.05	3.54	2.45	2.23	0.48		
3	4.11	2.34	5.39	1.85	2.57	2.90	0.48		
4	3.85	0.00	4.12	4.11	1.77	3.48	2.36	1.50	3.55
5	2.12	2.55	3.78	3.71	2.04	2.05	2.20	5.62	0.78
6	2.28	4.47	2.97	3.74	2.36	2.64	1.28	3.25	2.53
7	2.77	3.58	2.95	3.64	3.19	2.63	0.37	2.86	1.61
8	2.60	4.13	3.87	3.86	2.35	2.89	0.35	3.21	1.18
9	3.04	2.86	3.29	2.18	3.10	1.64	0.34	1.58	0.93
10	2.29	2.10	3.67	4.28	2.22	1.98	1.37	1.17	2.35
11	-	2.12	3.83	4.02	3.27	2.75	1.32	-	1.50
12	2.39	3.94	5.30	3.66	1.66	2.54		3.30	1.11
13	2.55	3.62	5.64	8.72	2.17	1.66		3.52	2.29
14	2.52	4.60	4.47	3.12	2.50	3.09		1.35	2.35
15	2.56	3.33	6.13	3.50	2.48	3.50		1.80	1.83
16	1.79	5.44	4.80	3.71	2.37	2.03		1.47	1.34
17	-	4.02	5.15	5.41	3.07	1.74		1.37	
18	2.67	4.13	3.36	2.53	2.12	2.02		1.78	
19	3.18	7.57	2.98	2.12	3.13	4.95			
20	2.90			1.74	2.31	3.88			
21	3.22			2.92	2.15	3.43			
22	3.46				1.91	1.51			
23	3.21				4.72	2.70			
24	2.28				1.68	2.80			
25	2.27				2.63				
máx	7.29	7.57	6.13	8.72	4.72	4.95	2.36	5.62	3.55
\bar{x}	2.72	3.54	4.26	3.62	2.51	2.65	1.05	2.25	1.80
σ	1.36	1.59	1.01	1.51	0.66	0.83	0.77	1.37	0.79

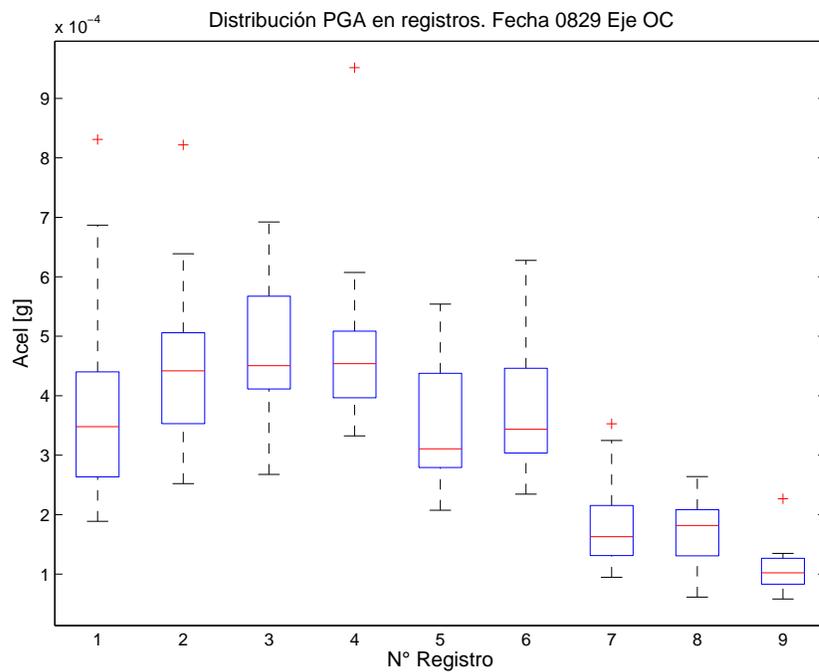


Figura 5.31: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje OC

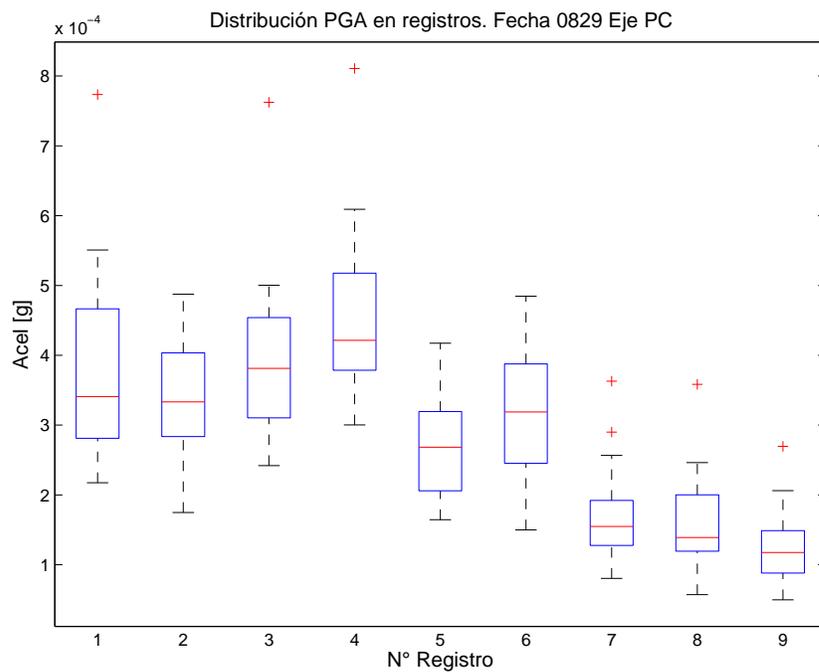


Figura 5.32: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje PC

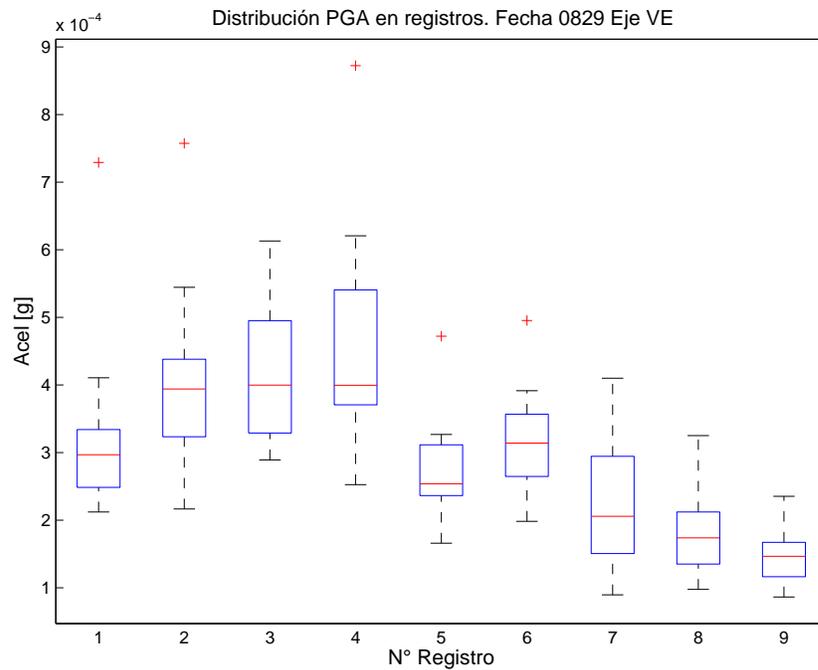


Figura 5.33: Aceleración máxima en suelo. Registros Fecha 0829. Eje VE

Al igual que en la etapa F0626, se reconoce la tendencia de disminución de amplitudes de aceleración en función del alejamiento de la zona de rompiente de olas.

Los registros más alejado de la fuente de origen, poseen una dispersión de datos menor.

Ahora, para los casos de las campañas F0626 y F0829, se muestran los máximos valores de cada registro en función de la posición respecto a la zona de rompiente.

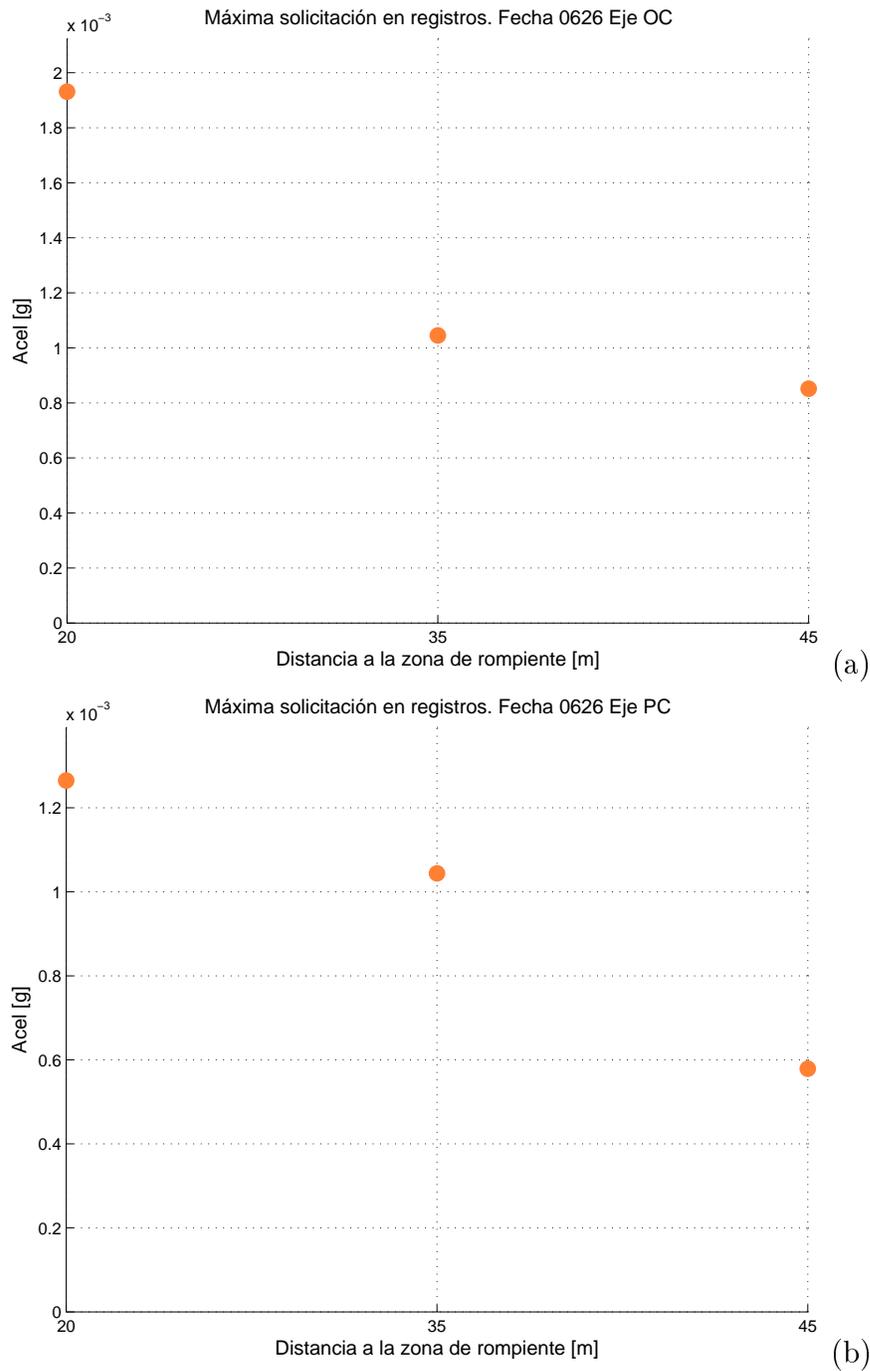


Figura 5.34: Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje OC, (b) Eje PC

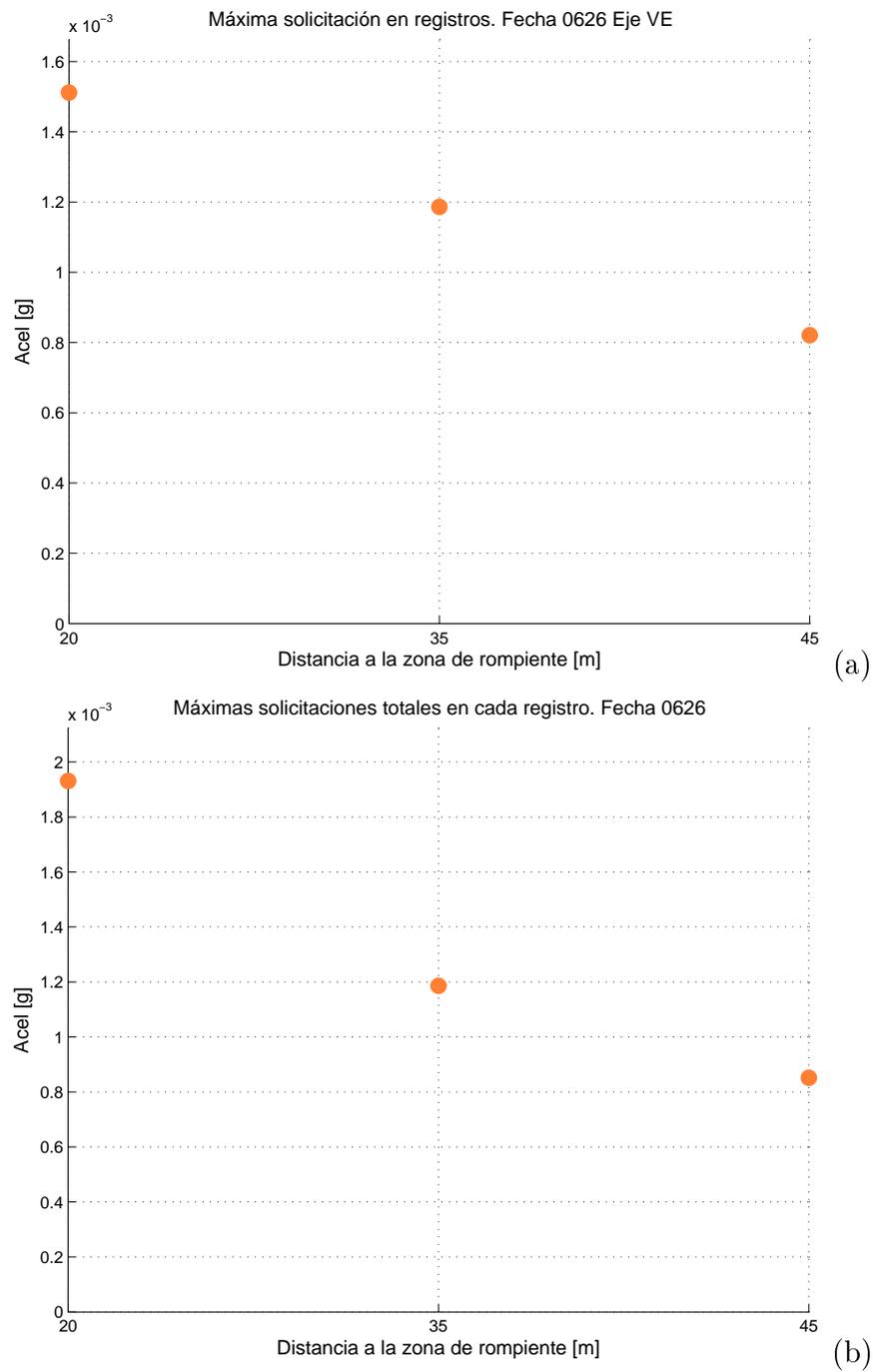


Figura 5.35: Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje VE, (b) Ejes Combinados

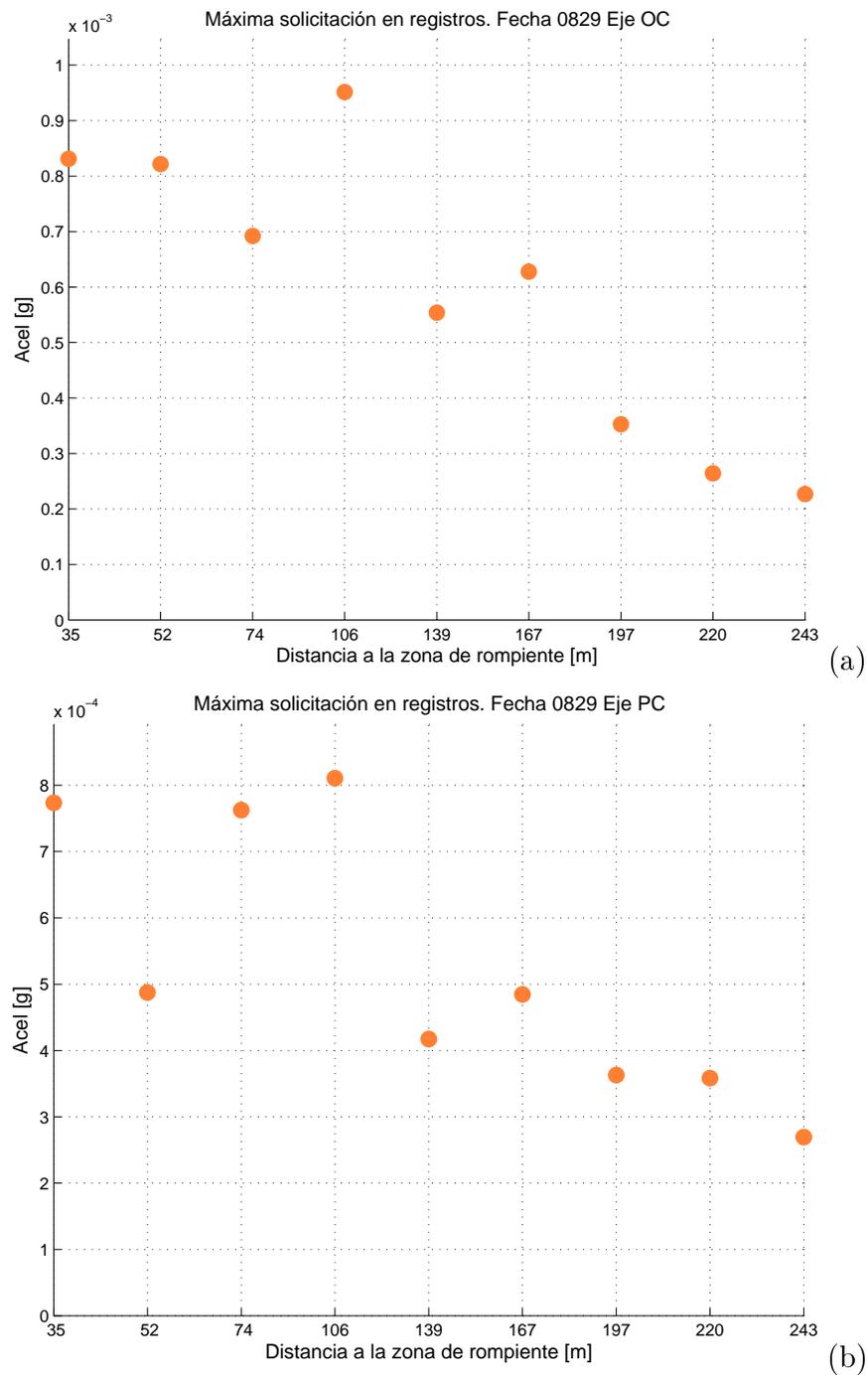


Figura 5.36: Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0829. (a) Eje OC, (b) Eje PC

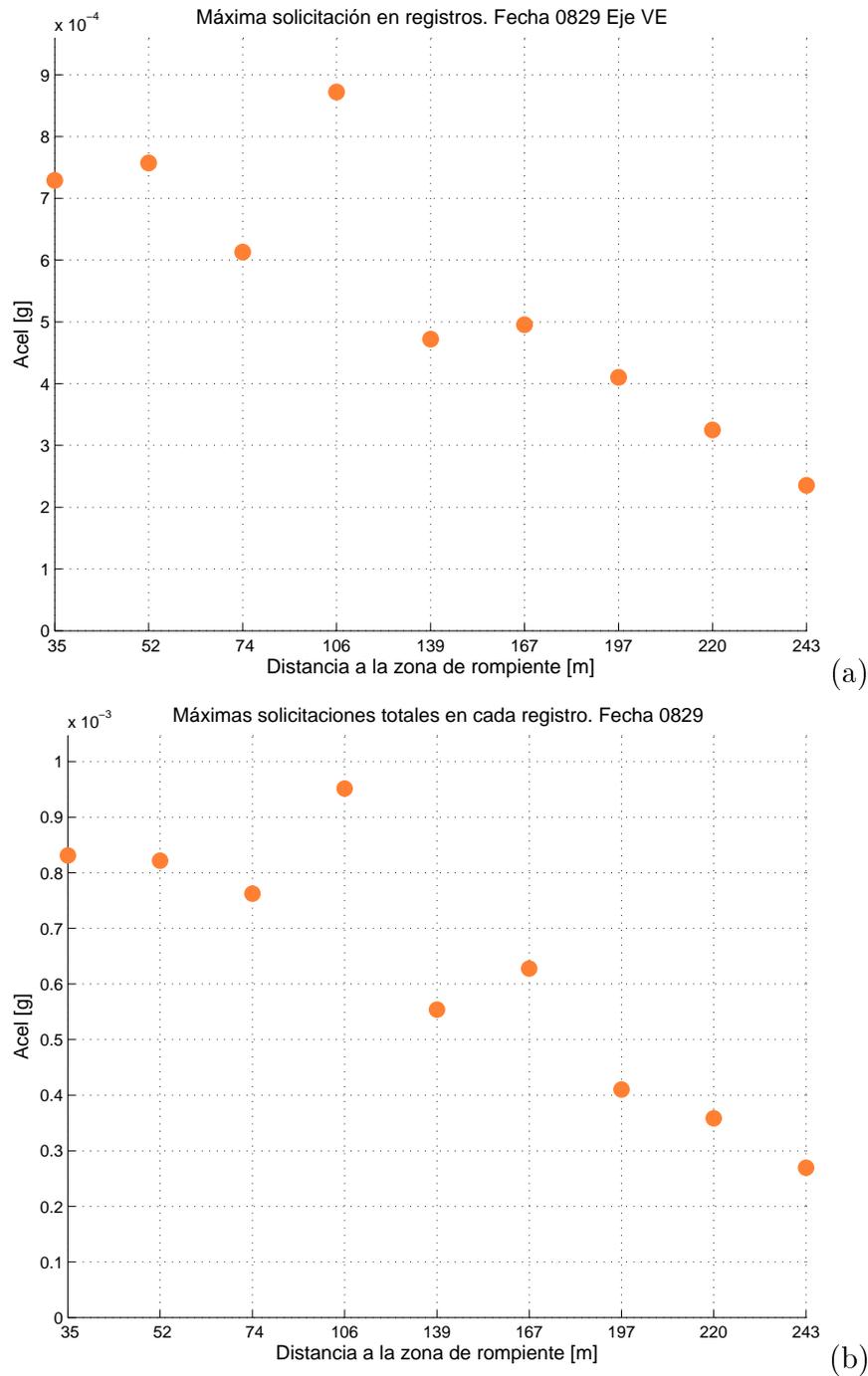


Figura 5.37: Máximas sollicitaciones de aceleración en suelo. F0626. (a) Eje VE, (b) Ejes Combinados

Utilizando la curva del eje OC para los registros de la campaña F0829, se incluye una curva de ajuste para el logaritmo en base 10 de la aceleración del suelo (Curva normalizada a partir del primer valor de la serie del conjunto), en función de la distancia a la zona de rompiente. La ecuación de la curva de mejor ajuste propuesta es la siguiente:

$$\log_{10}(A) = a * x + b * \log_{10}(\sqrt{x^2 + c^2}) + d * x^2 + e$$

Donde A= Aceleración del suelo

x= distancia a la zona de rompiente de olas

a,b,c,d y e son constantes de ajustes, que para el caso estudiado definen la siguiente ecuación:

$$\log_{10}(A) = 4,05 * 10^{-2}x - 2,22 * 10^{-1} * \log_{10}(\sqrt{x^2 + (-10,4)^2}) + 2,17 * 10^{-5} * x^2 + 2,26 * 10^{-1}$$

El valor de ajuste alcanzado es de 94 %. La validez de esta ecuación de ajuste solo puede asumirse para distancias de medición mayores a 35 m (Distancia mínima registrada a la zona de rompiente).

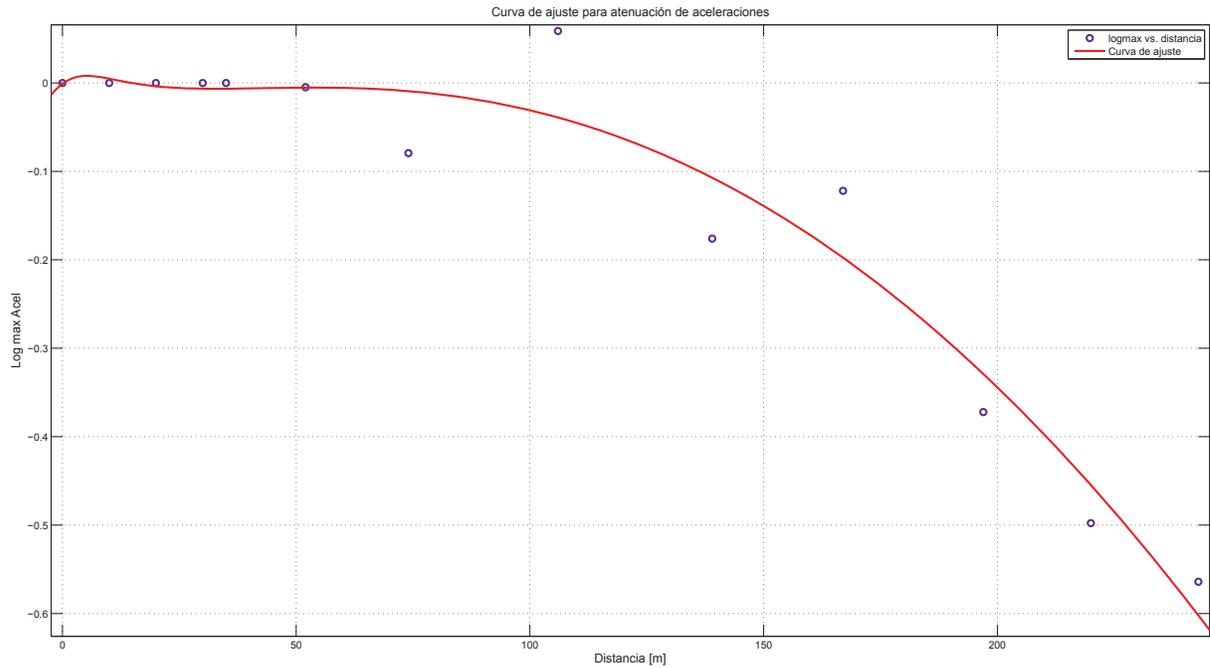


Figura 5.38: Curva de ajuste para atenuación de aceleraciones en suelo.

5.2.4. Espectros de aceleraciones

Conocidas las demandas de aceleración en el suelo se construyen espectros de aceleración para diferentes grados de amortiguamiento. A partir de cada subregistro, se determina una curva de demanda.

En primer lugar, se muestran las curvas para el grado de amortiguamiento de 5%, por cada dirección del arreglo triaxial.

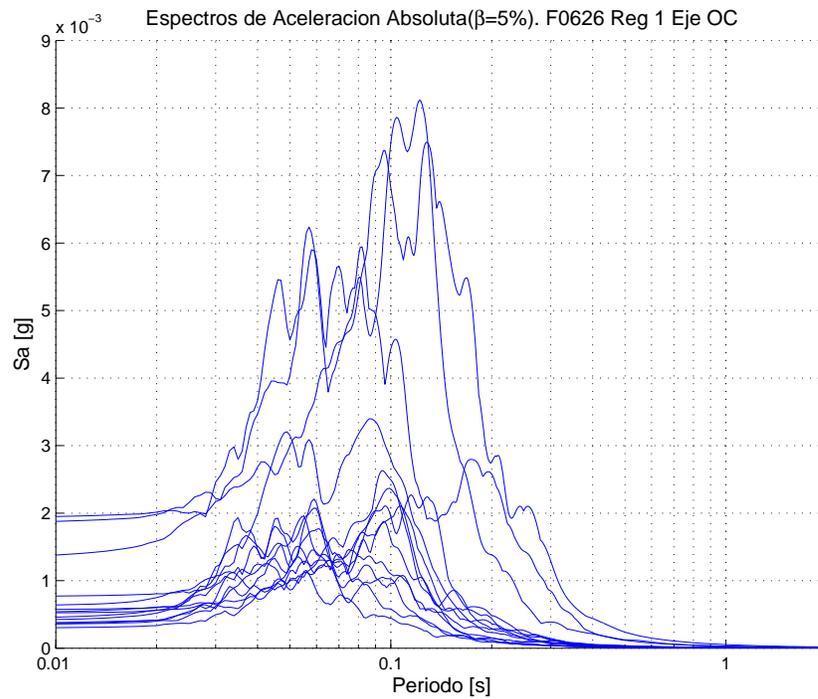


Figura 5.39: Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje OC

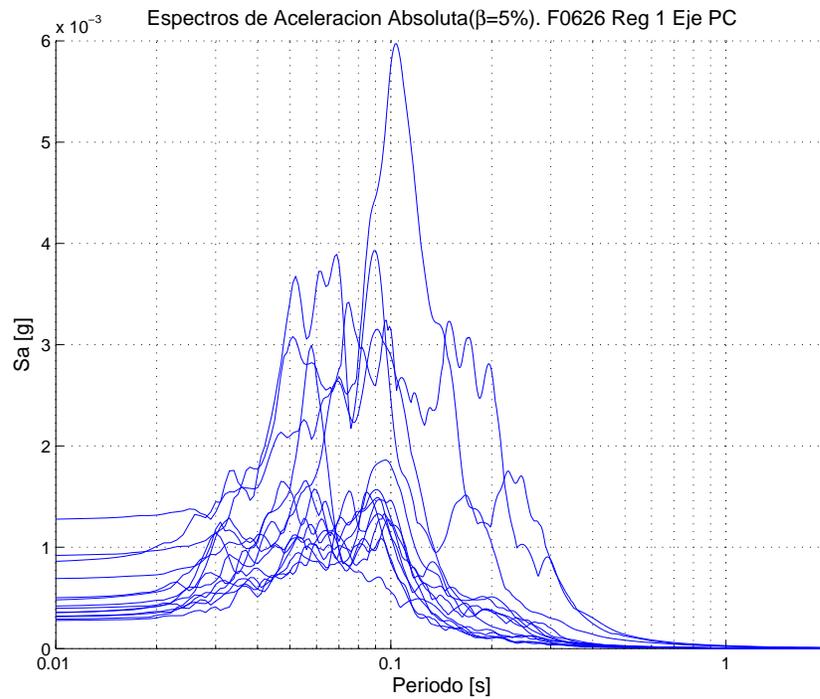


Figura 5.40: Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje PC

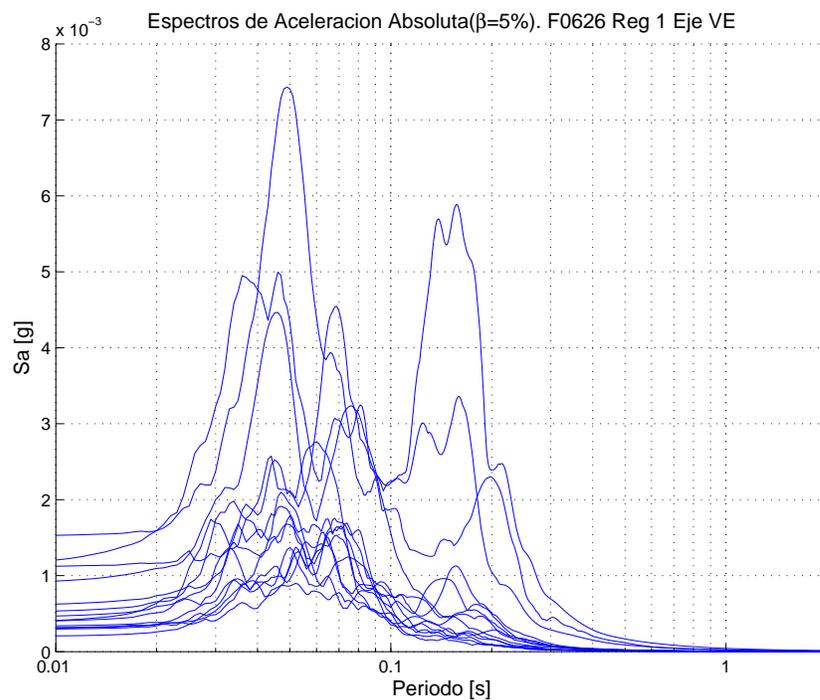


Figura 5.41: Espectro de aceleraciones para todas las olas. F0626 Reg1. Eje VE

Luego, normalizando estas curvas según el valor de PGA asociado a cada registro, estiman las curvas promedio y una curva promedio más una desviación estándar. Como se incluyen

todos los subregistros, los máximos de aceleraciones varían en relaciones de hasta 7 veces el valor de la curva de mayor sollicitación respecto a la menor curva. Esto se debe a que los trenes de olas de llegada a la costa contienen diferencias en su altura. Entonces, las magnitudes de los impacto difieren notablemente en cada segmento de ola.

Si el interés es estudiar solo los impacto de olas que superen un valor mínimo, o las magnitudes de aceleración en el suelo sobre una magnitud límite inferior, es conveniente considerar las envolventes de todas las curvas de espectros de los subregistros.

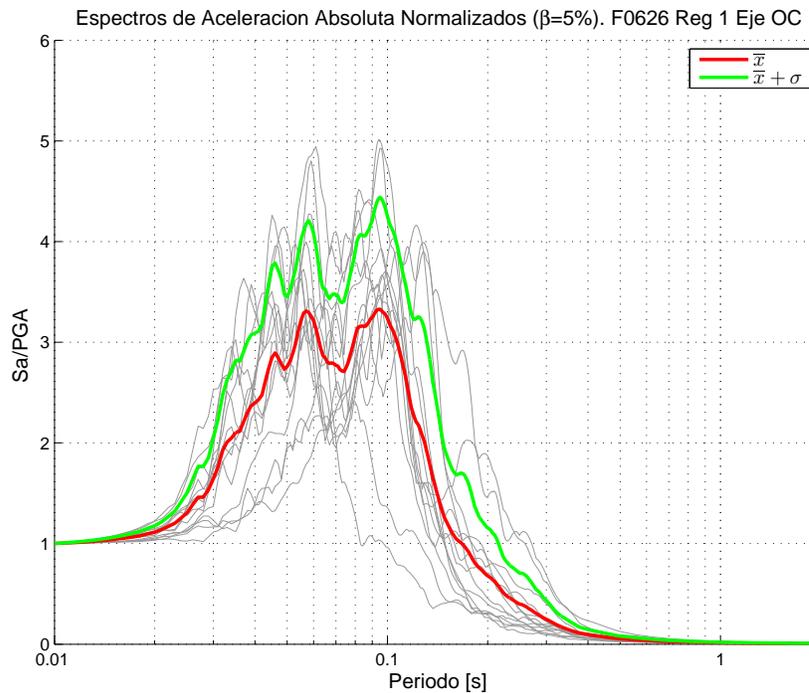


Figura 5.42: Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 OC

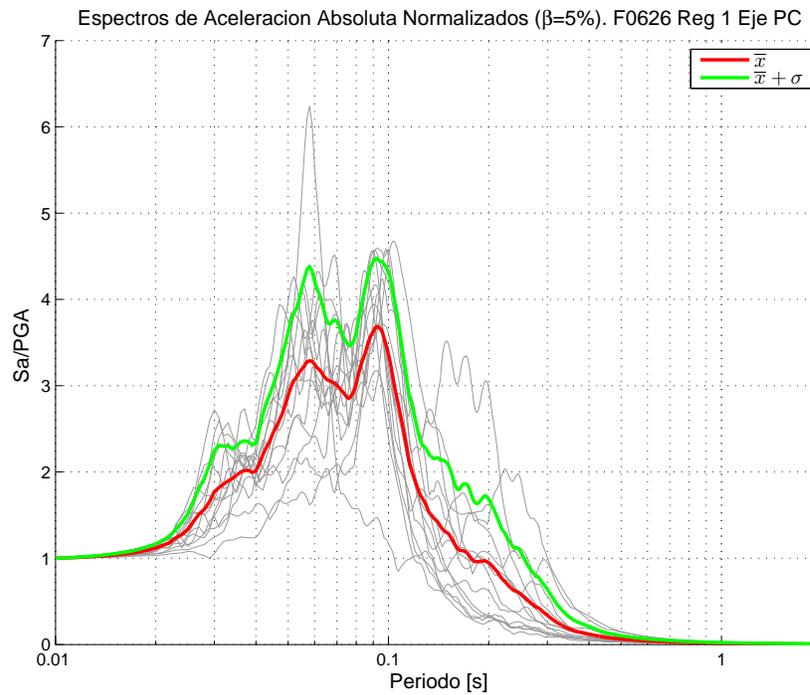


Figura 5.43: Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 PC

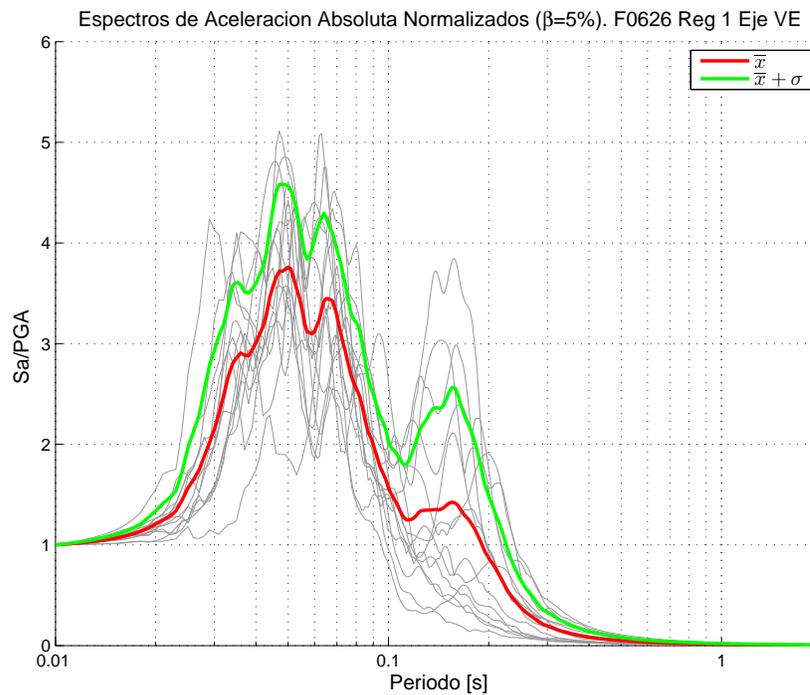


Figura 5.44: Promedio espectro de aceleraciones normalizados. F0626 Reg1 VE

Ahora, se presenta el análisis comparativo para las demandas entre los casos con amortiguamiento de 2, 5, 10 y 20 %.

Las mayores demandas ocurren para el caso del oscilador de 1 GDL con el menor amortiguamiento ($\beta = 0,02$).

De la división del registro 1 (segmentación por olas), indicada en la figura 5.12, la ola N° 14 es la que contiene las señales con mayor amplitud de aceleración. Por lo tanto, los espectros de aceleración asociados a este registro individual poseen las más altas demandas.

Cabe destacar que las mayores demandas ocurren en el sentido del eje OC, es decir, en el sentido principal de llegada de las olas.

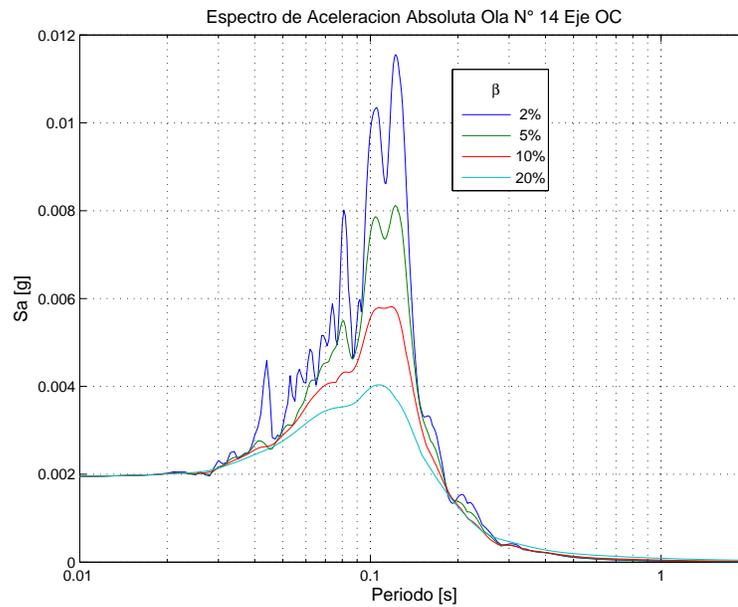


Figura 5.45: Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 OC

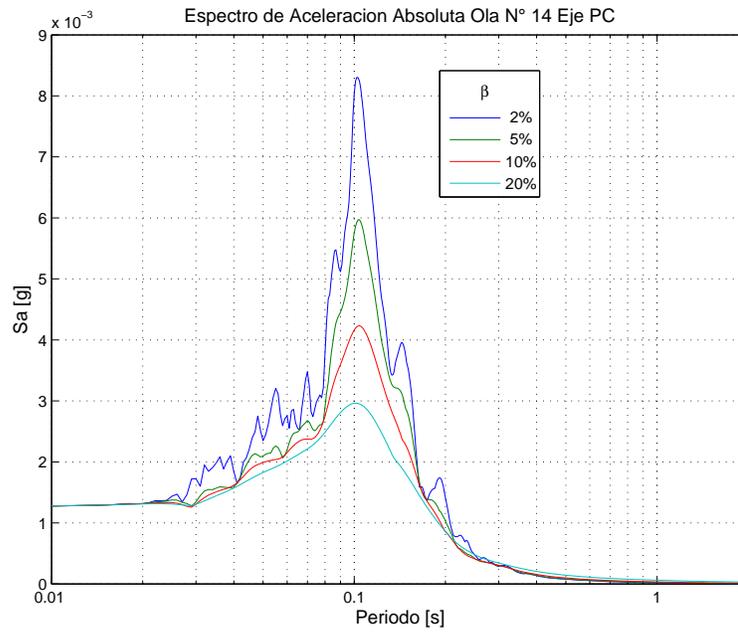


Figura 5.46: Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 PC

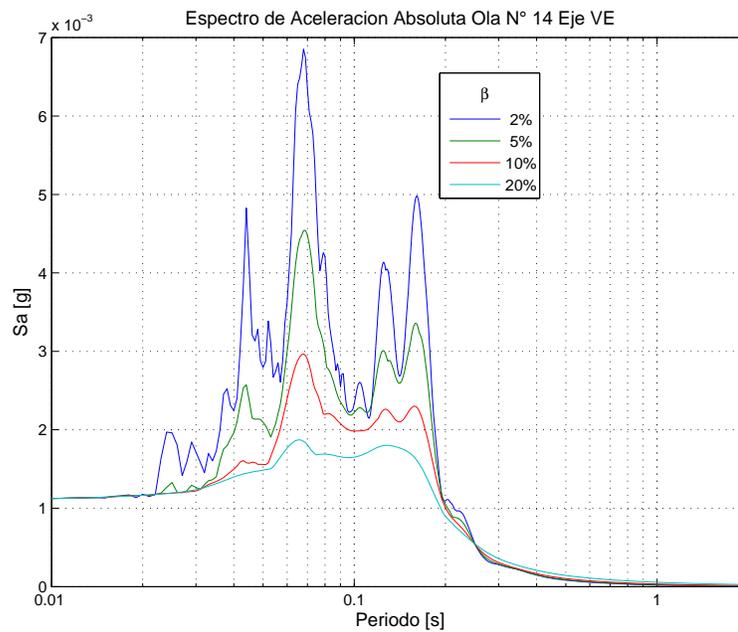


Figura 5.47: Espectro de aceleraciones distinto nivel de amortiguamiento. F0626 Reg1 VE

A continuación se presentan las curvas promedios de los espectros de aceleración ($\beta = 0,05$), para todas las campañas analizadas. También se presentan las envolventes de estos espectros para el conjunto de olas estudiadas.

Campaña F0626

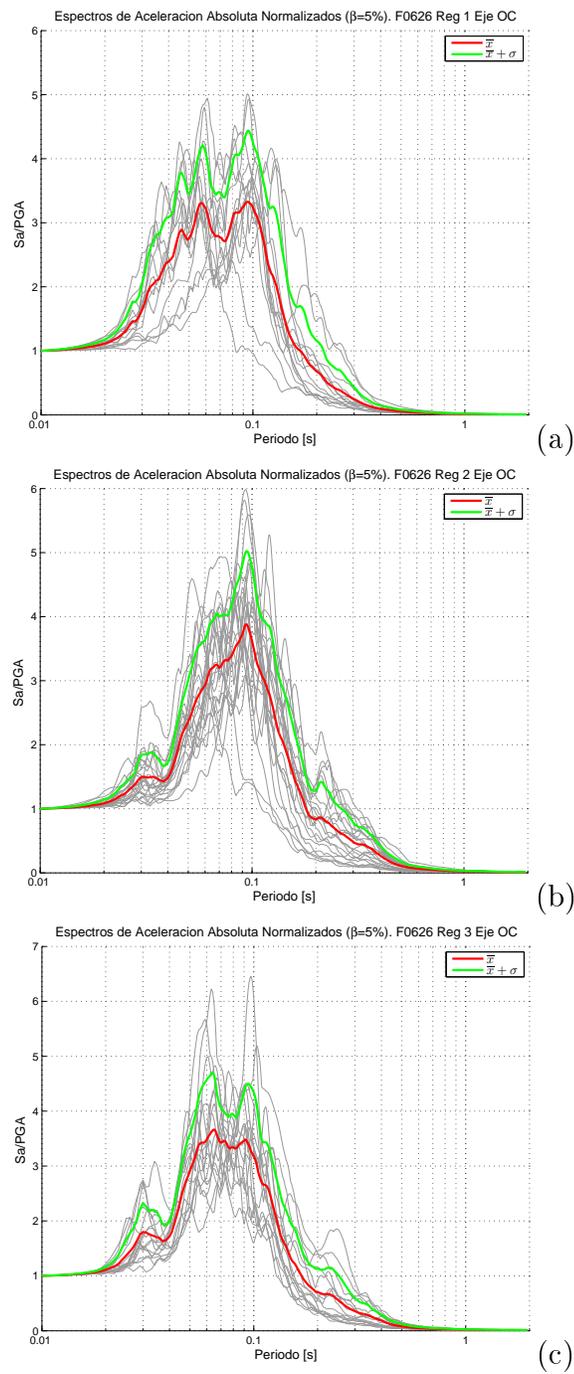


Figura 5.48: Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

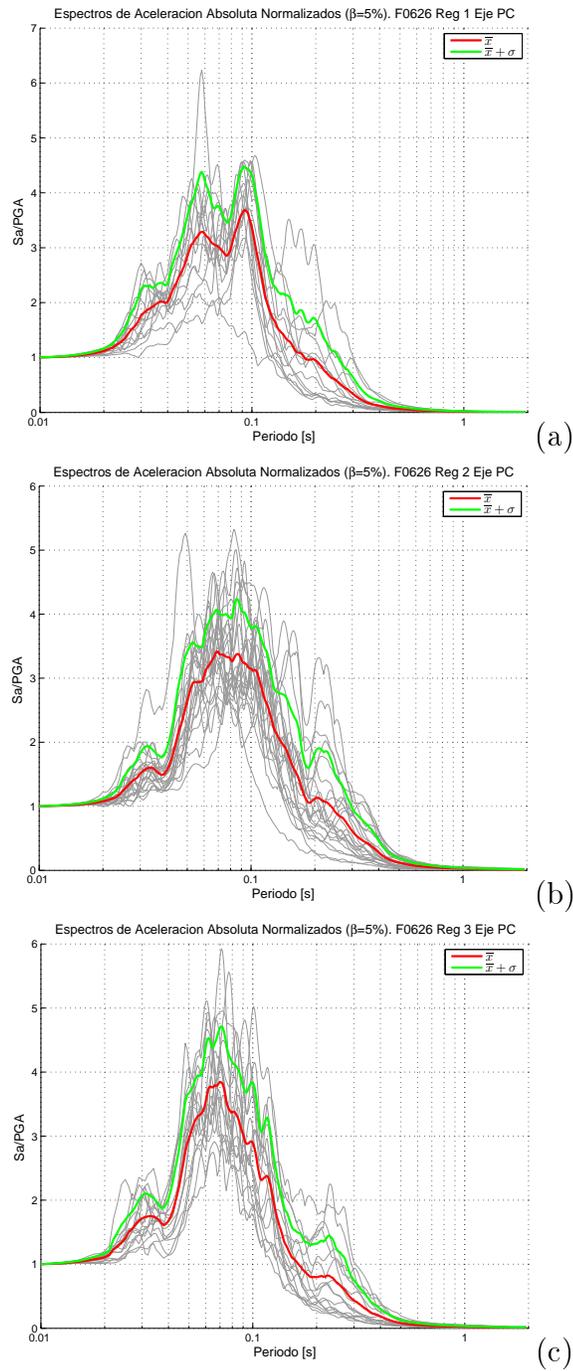


Figura 5.49: Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

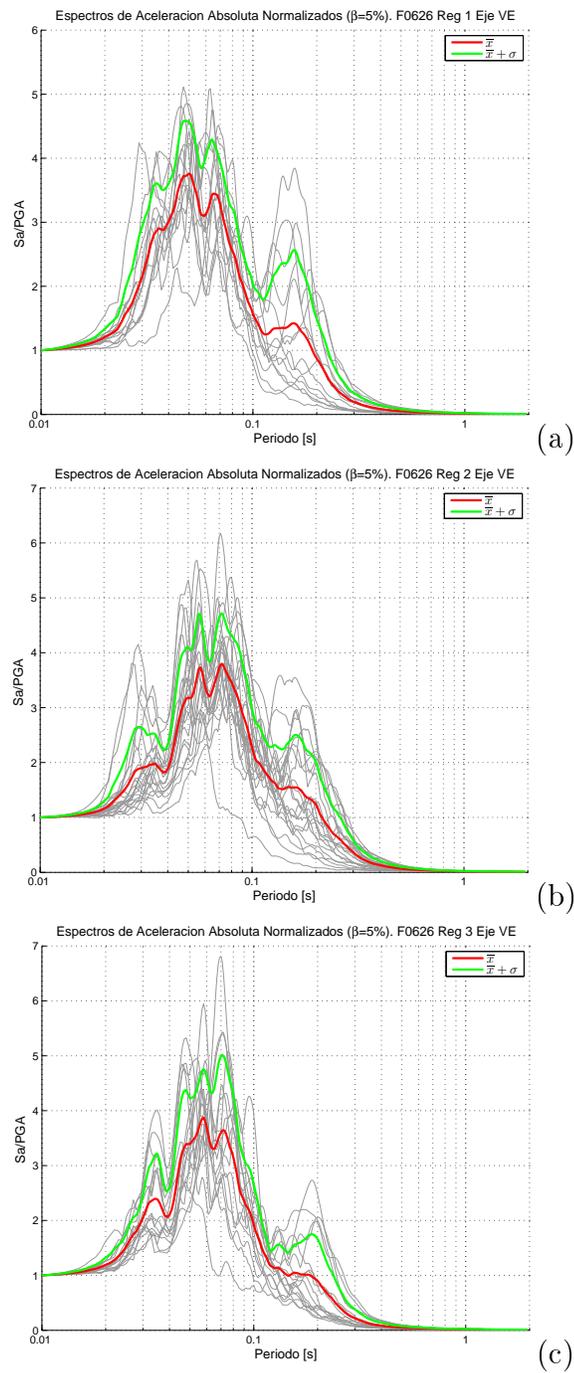


Figura 5.50: Espectros de aceleraciones. F0626 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

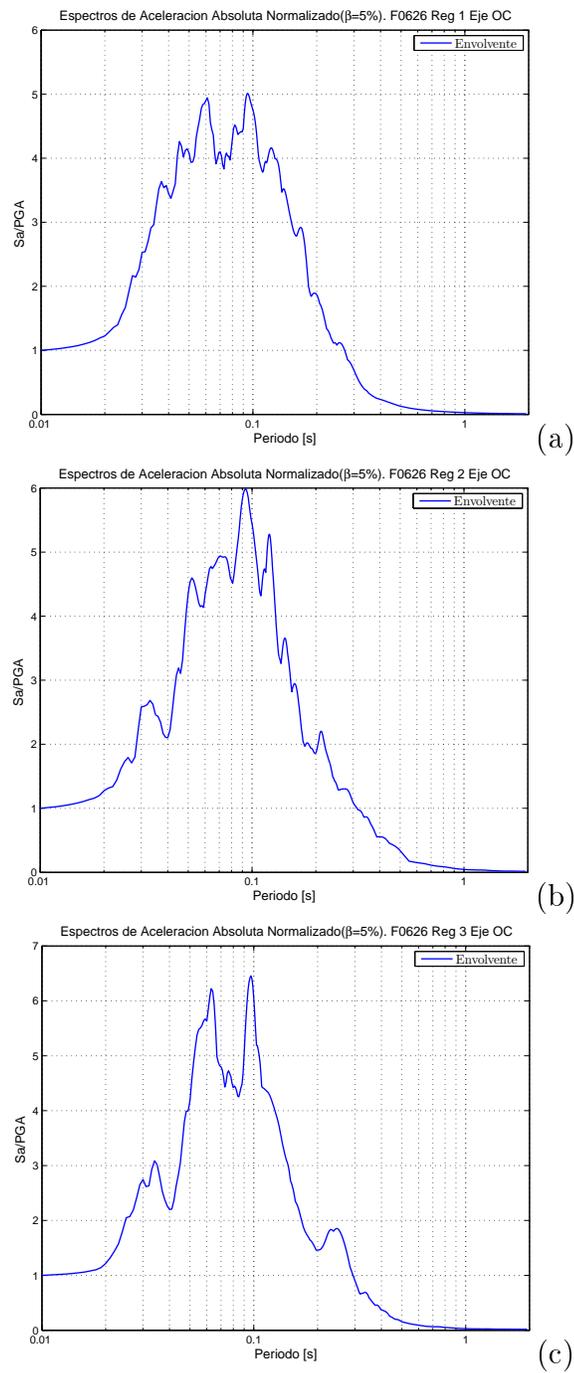


Figura 5.51: Envolvente espectros de aceleraciones. F0626 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

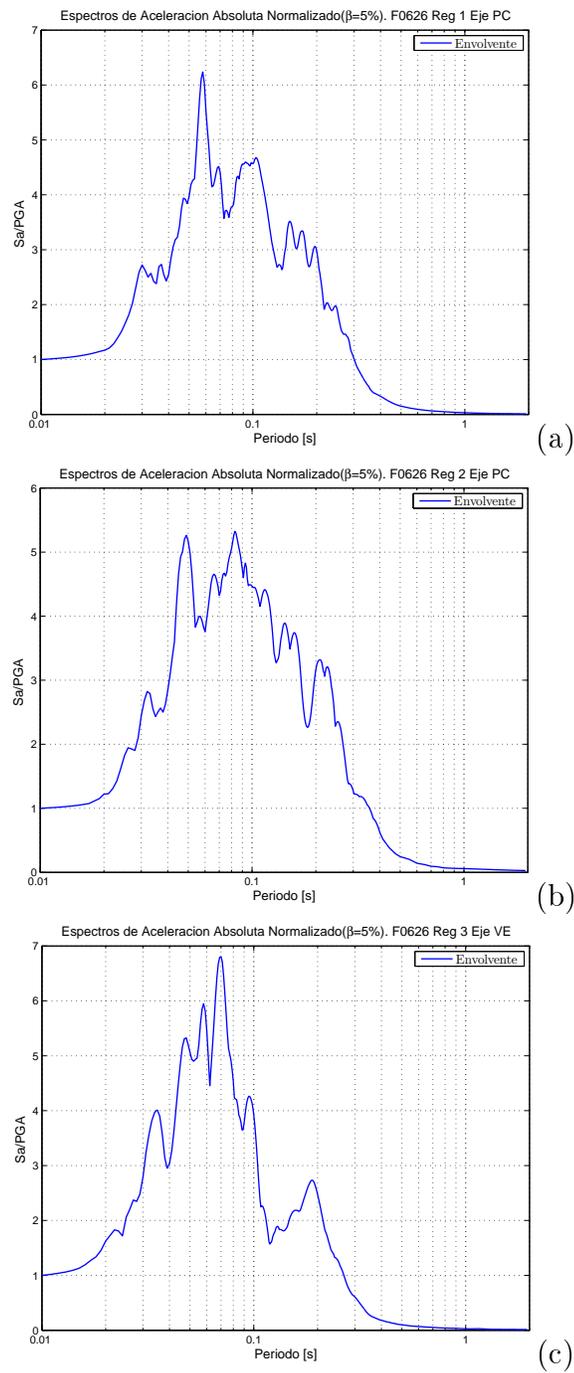


Figura 5.52: Envoltura espectros de aceleraciones. F0626 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

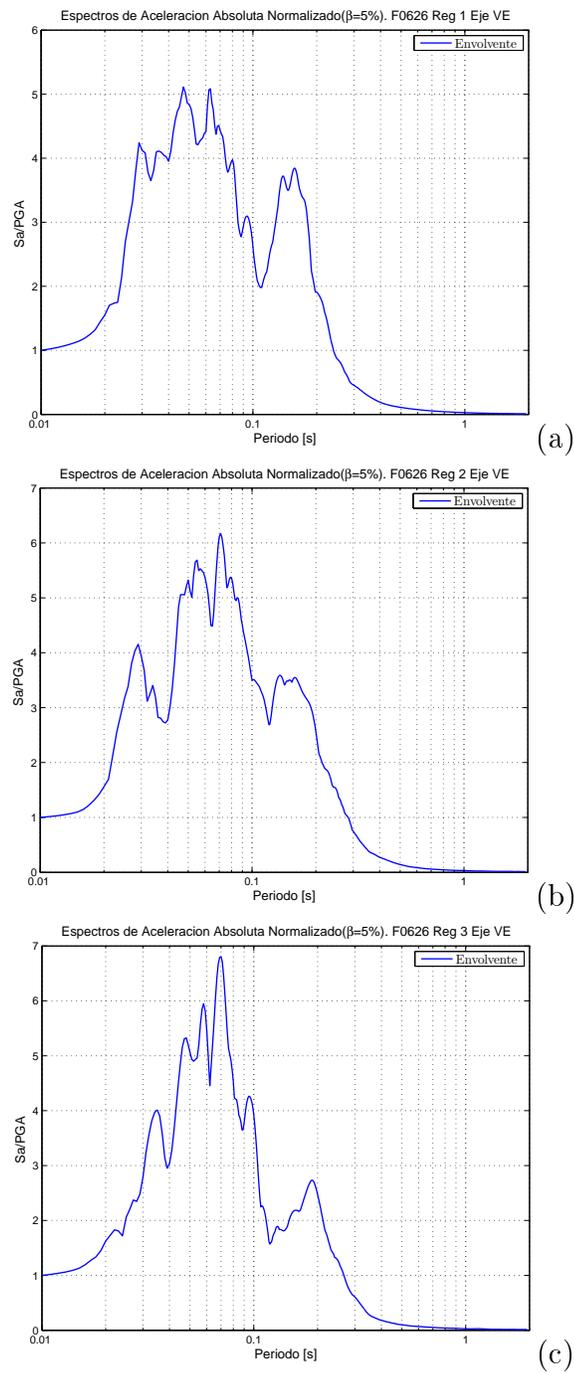


Figura 5.53: Envoltura espectros de aceleraciones. F0626 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3

Campaña F0710

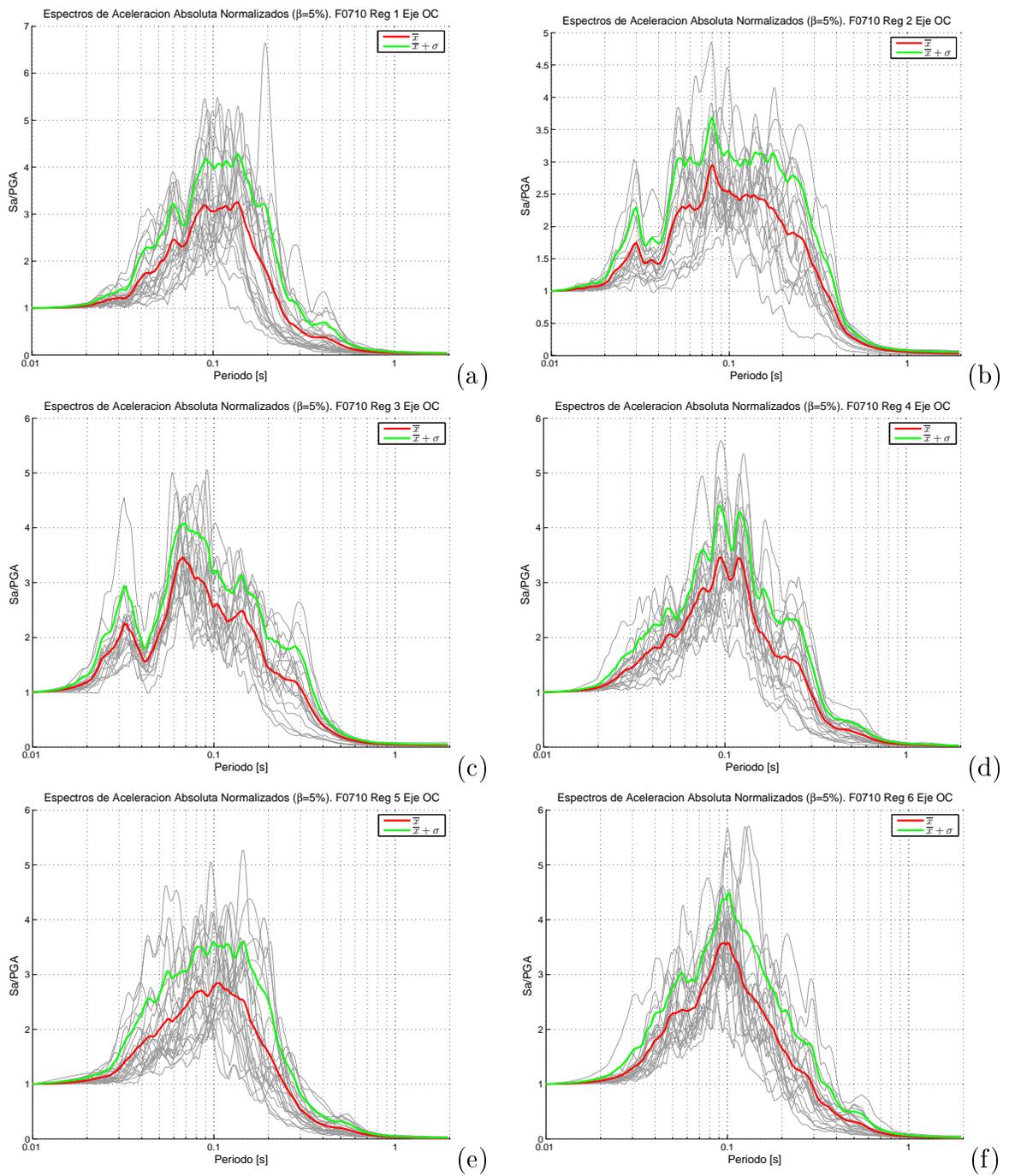


Figura 5.54: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

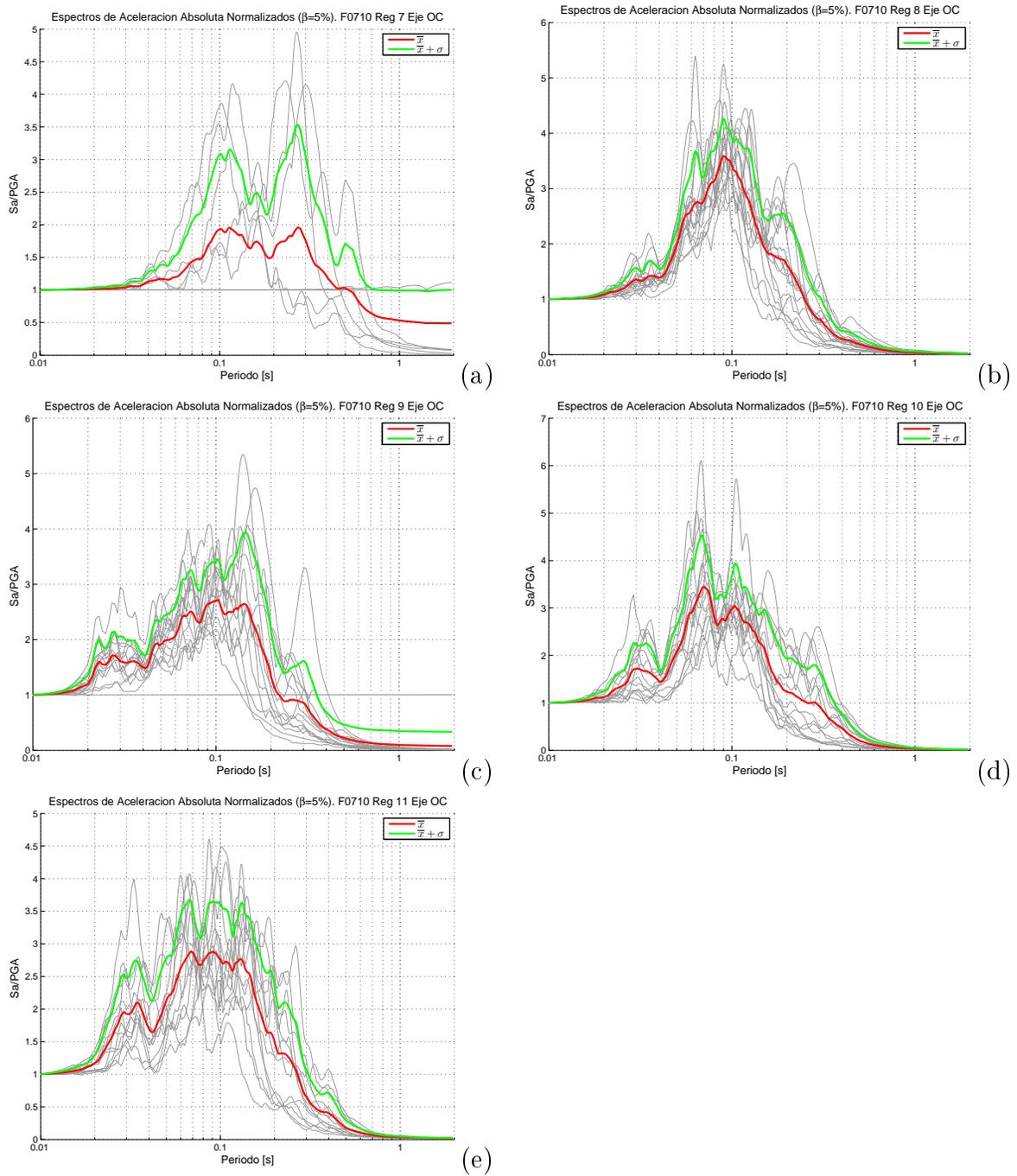


Figura 5.55: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

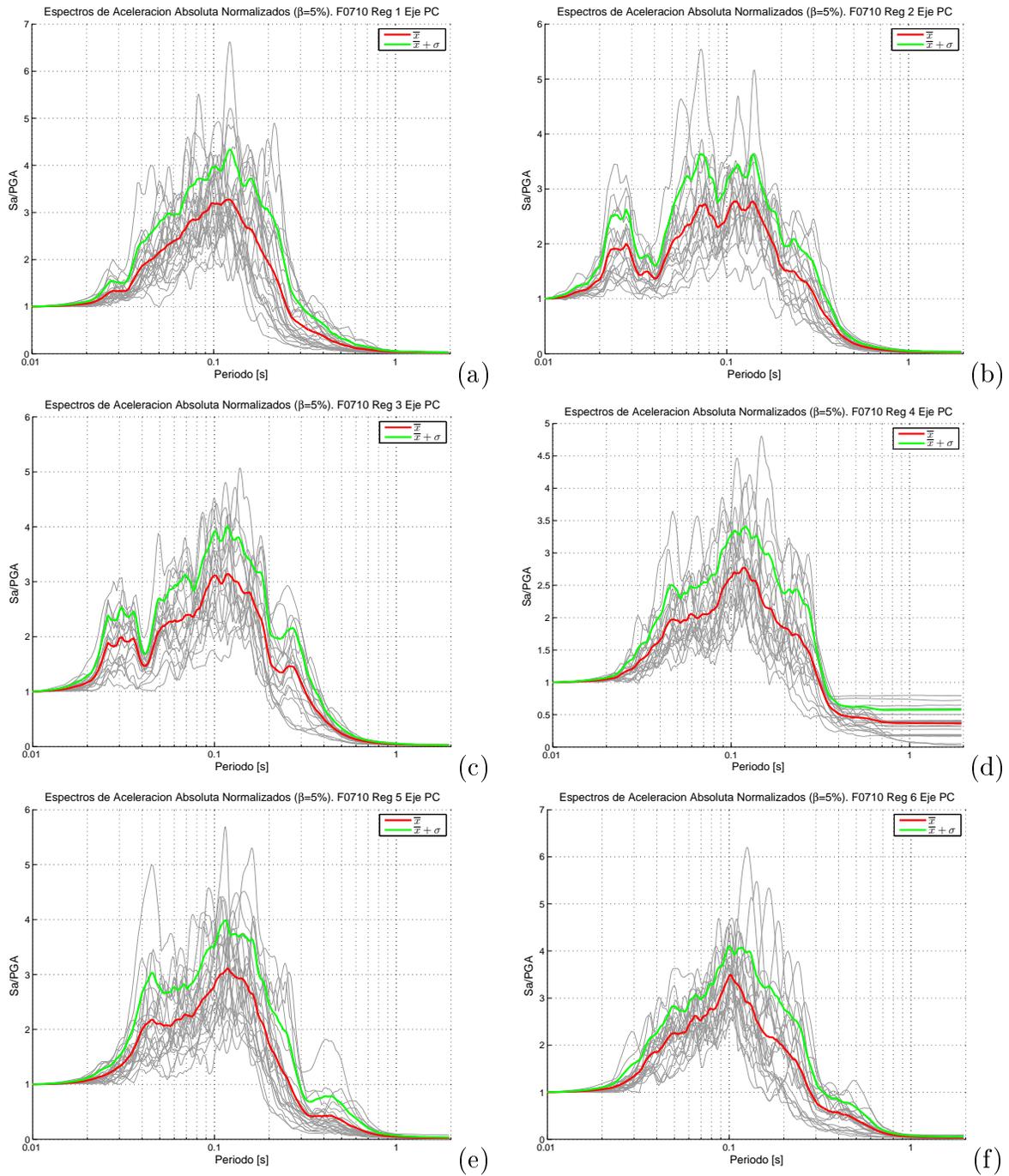


Figura 5.56: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

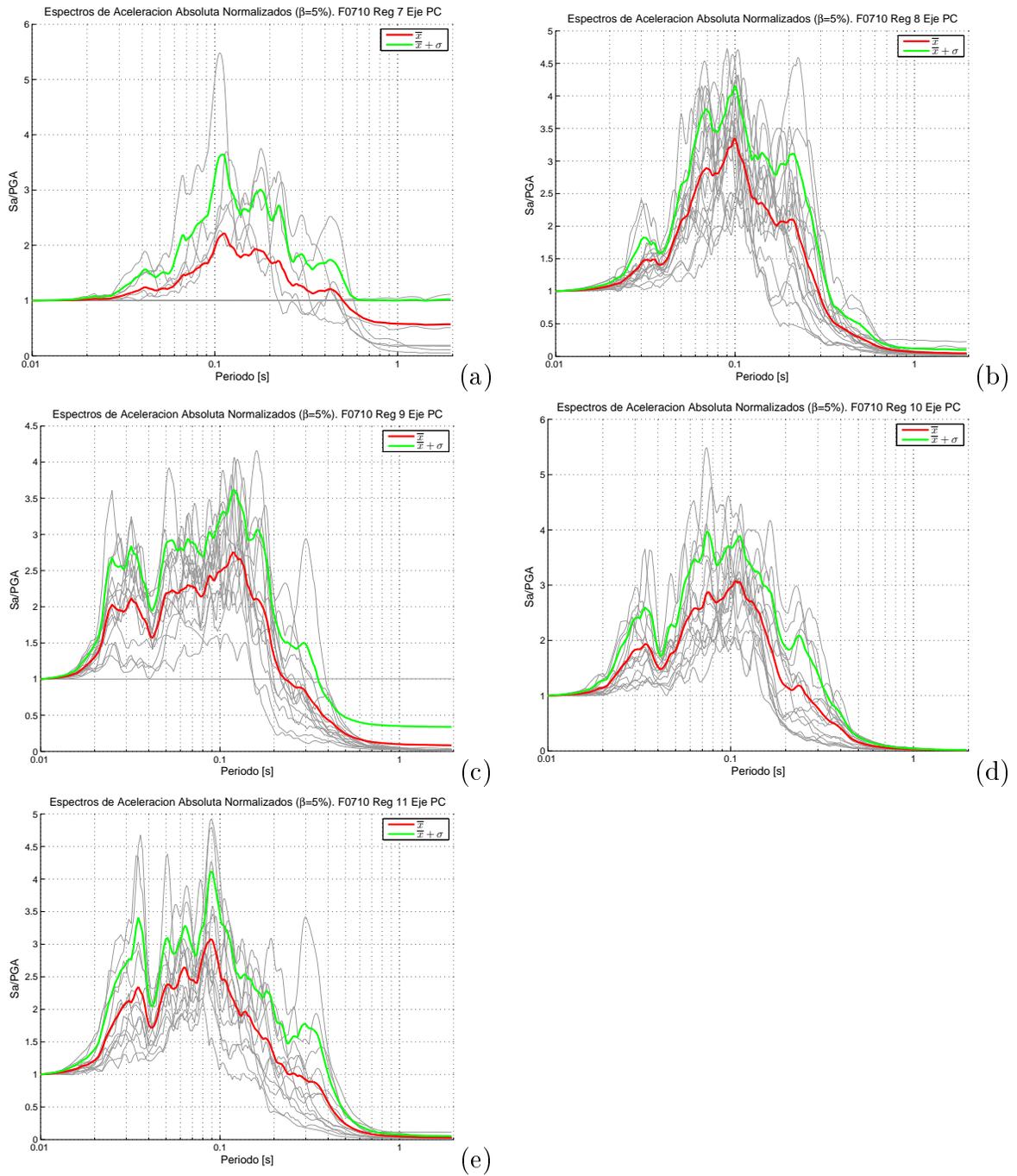


Figura 5.57: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

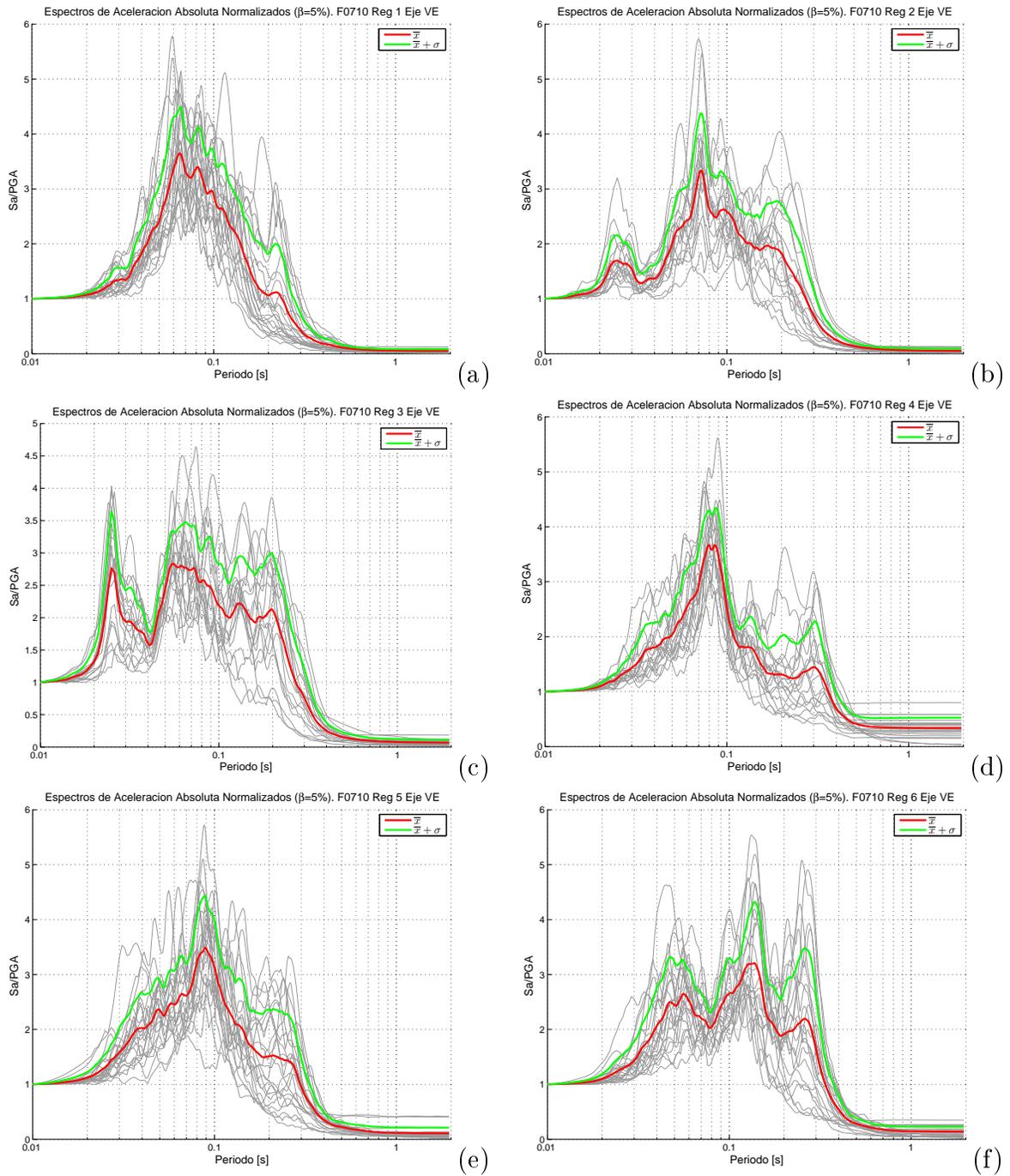


Figura 5.58: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

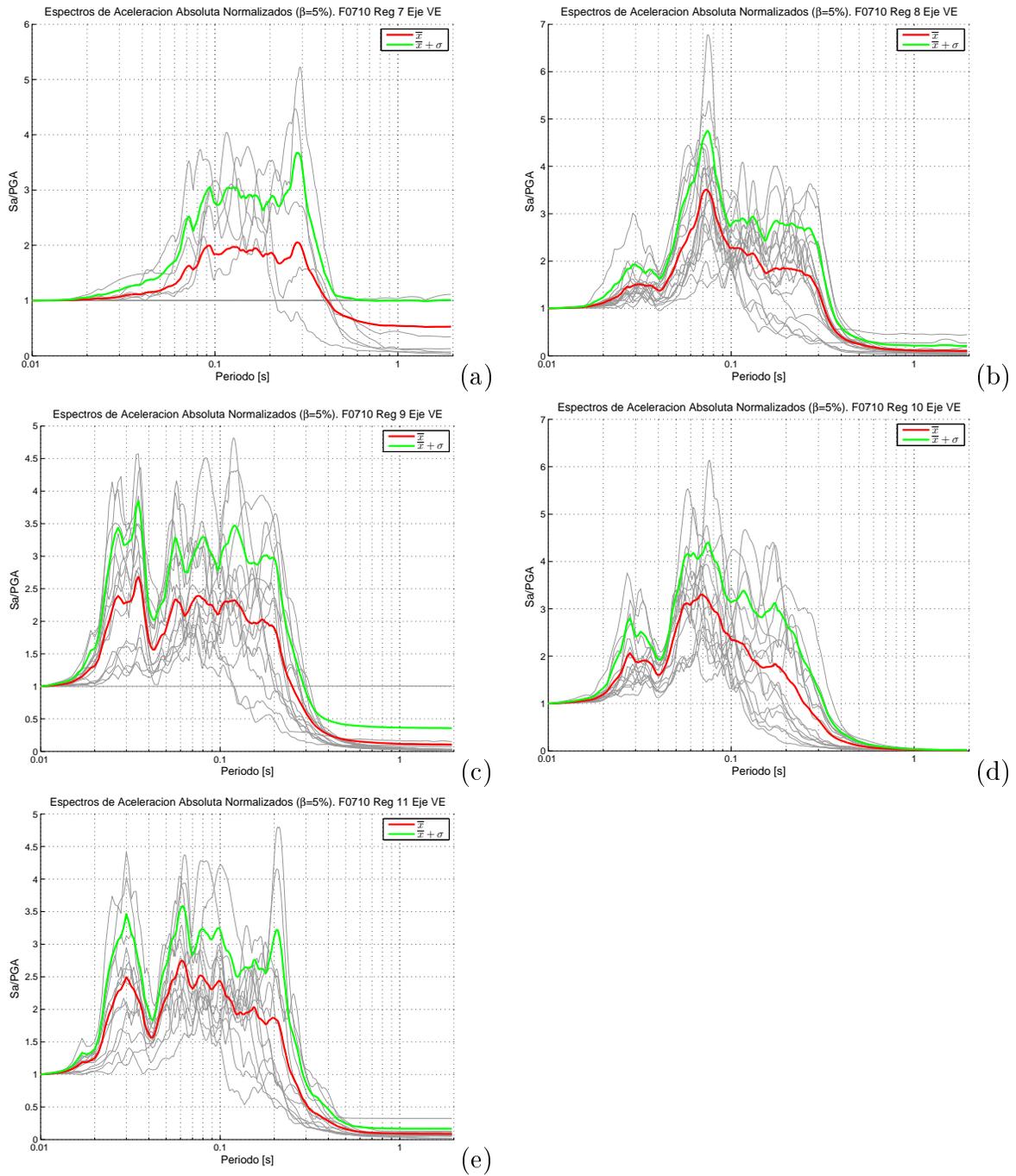


Figura 5.59: Espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

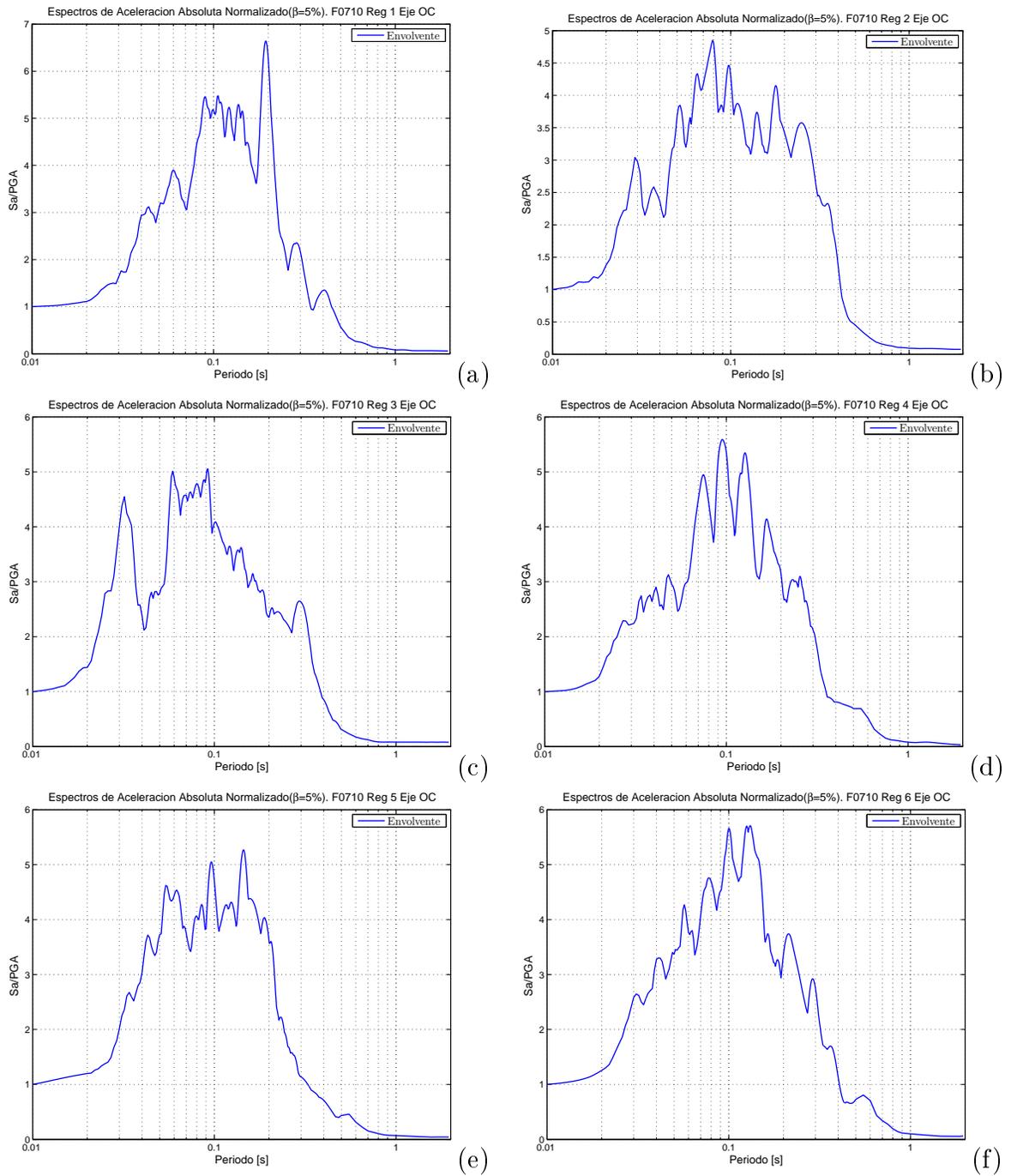


Figura 5.60: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

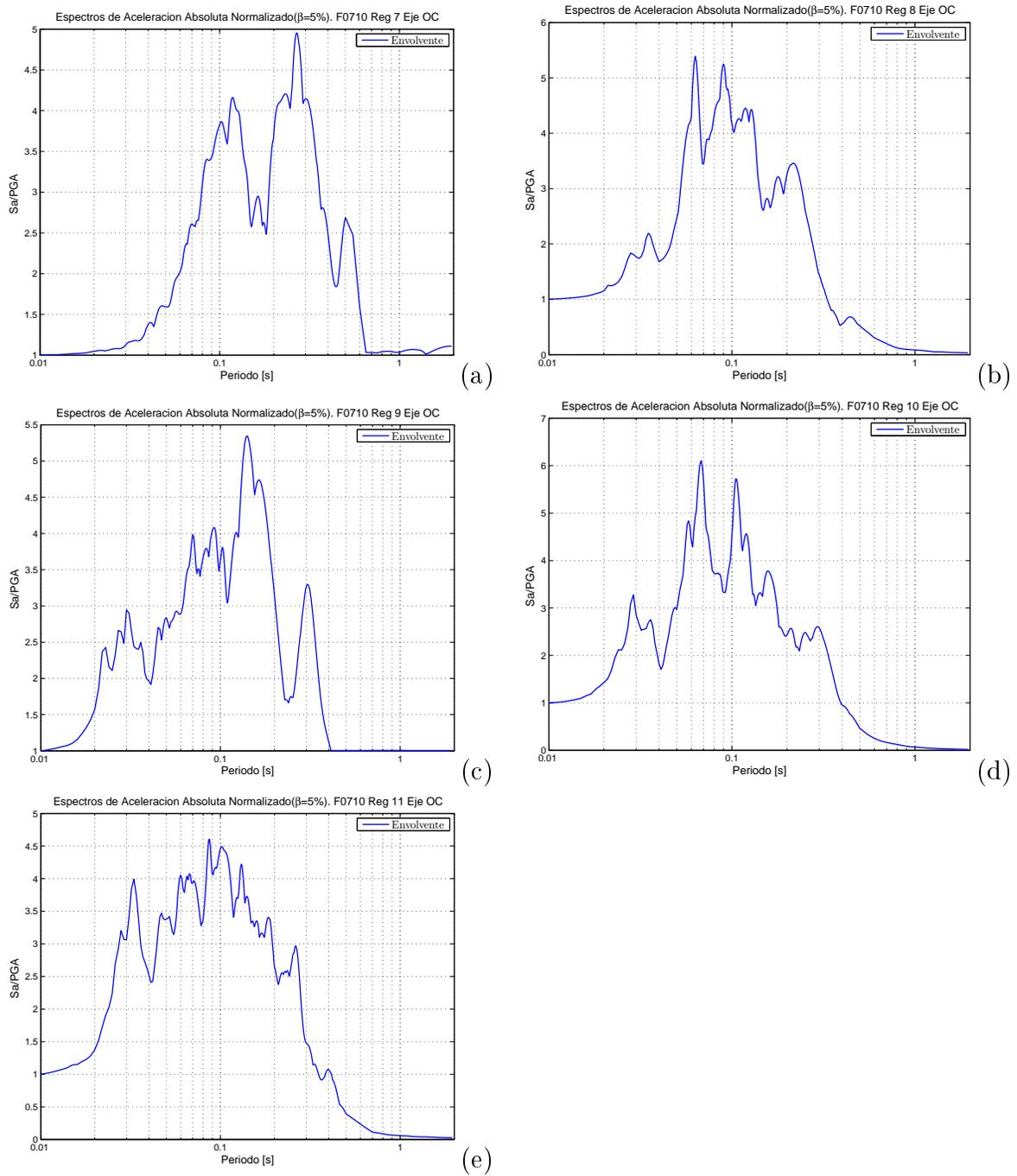


Figura 5.61: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

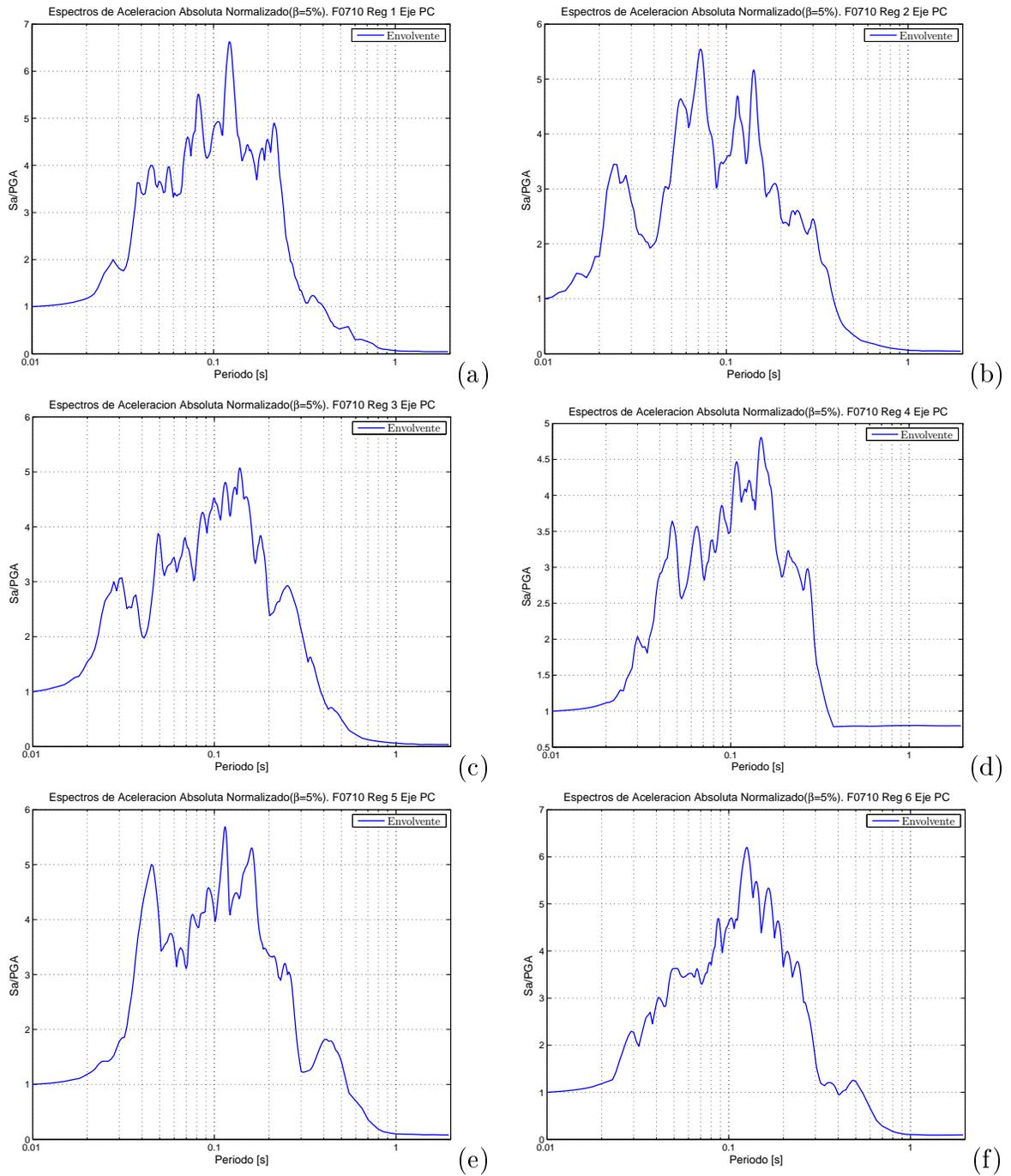


Figura 5.62: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

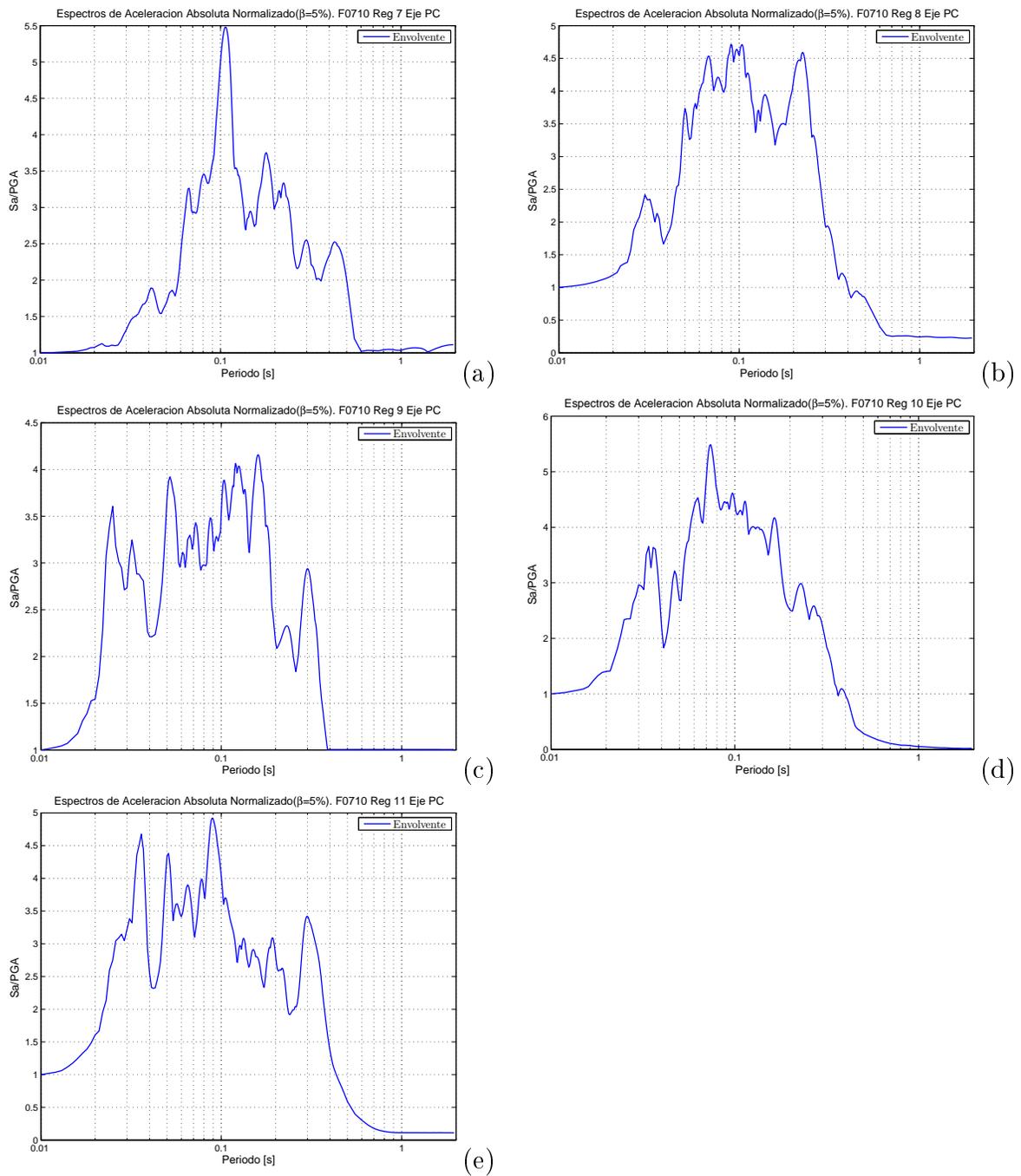


Figura 5.63: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje PC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

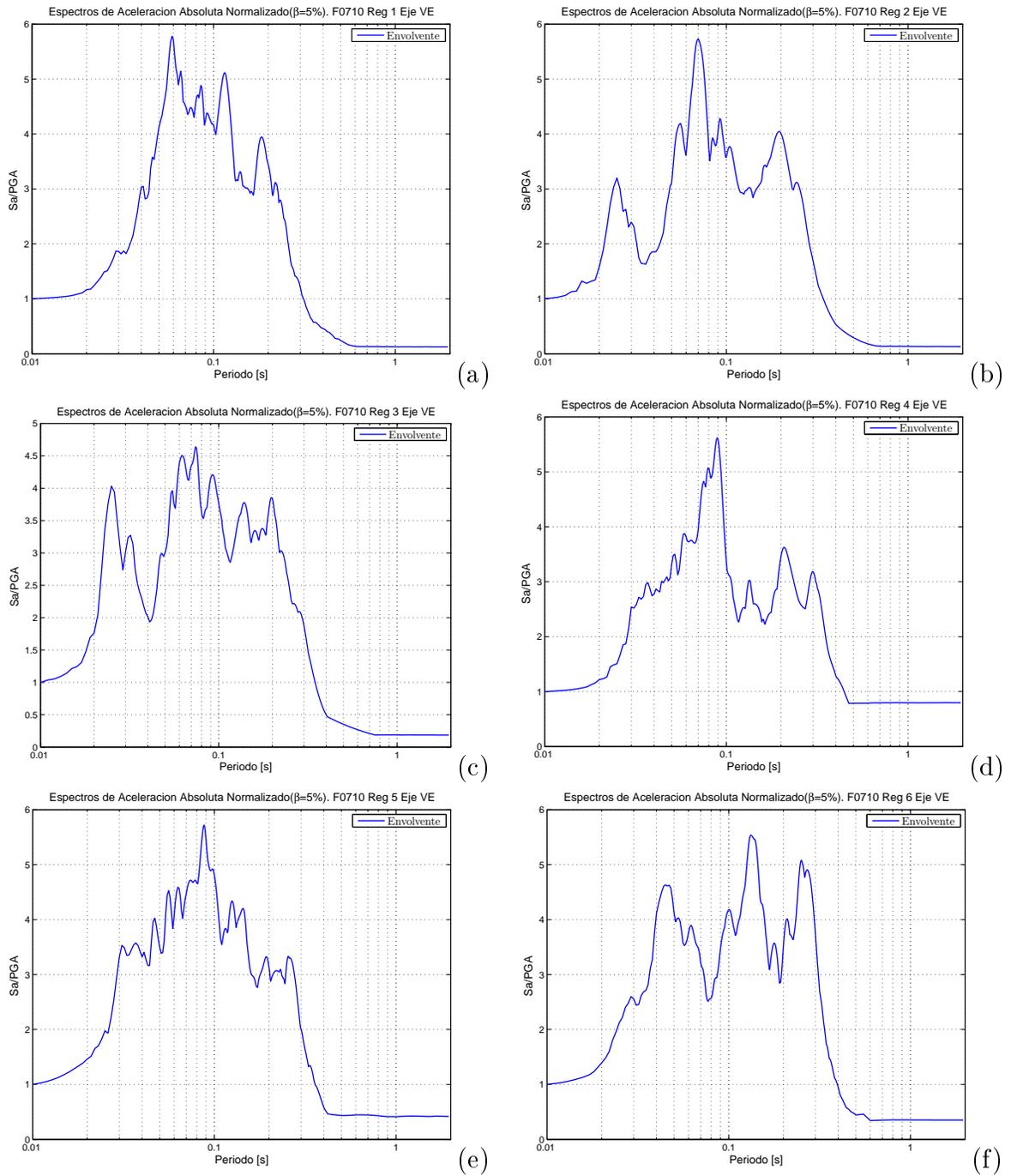


Figura 5.64: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

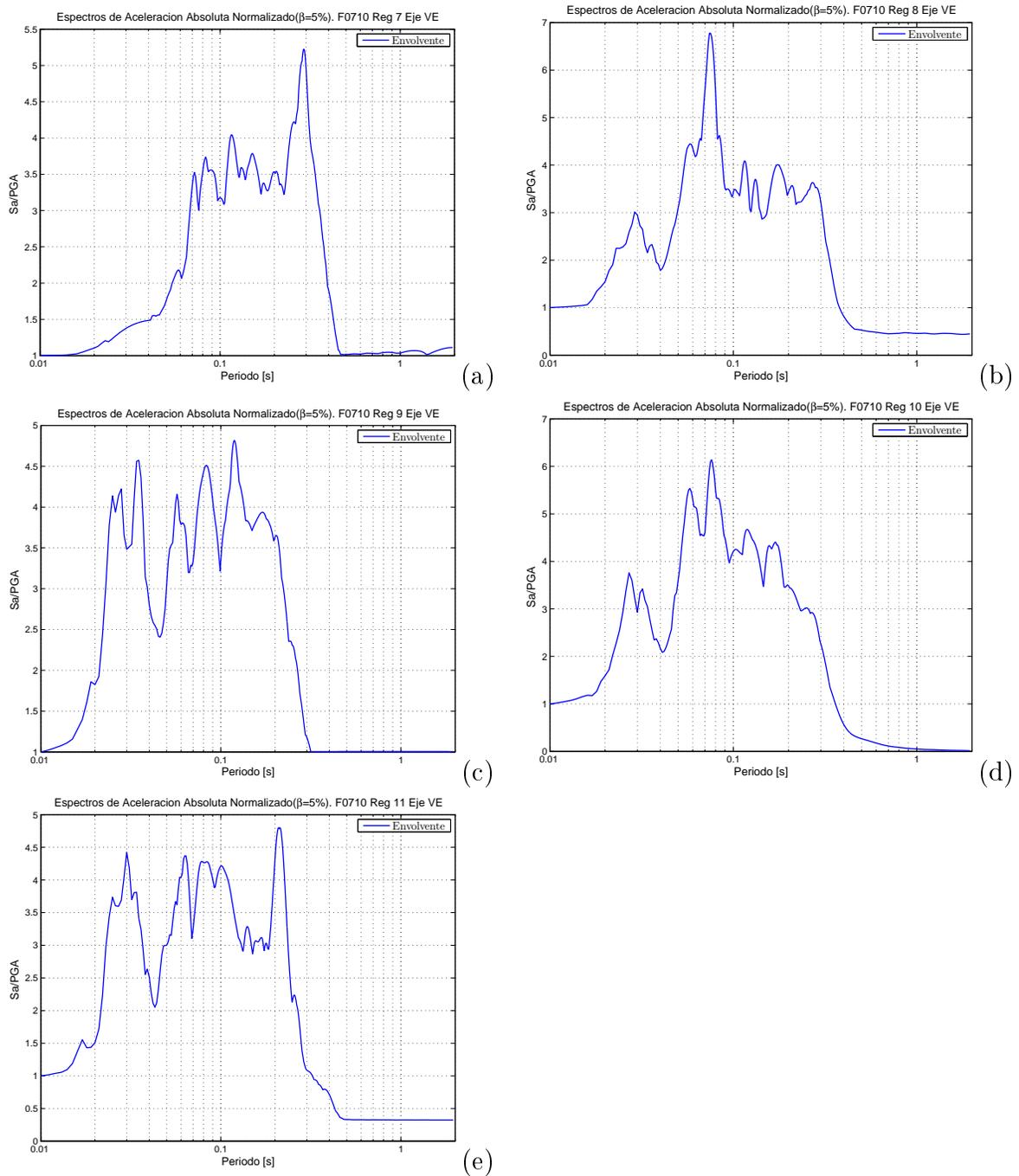


Figura 5.65: Envoltura espectros de aceleraciones. F0710 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9, (d) Reg 10, (e) Reg 11

Campaña F0829

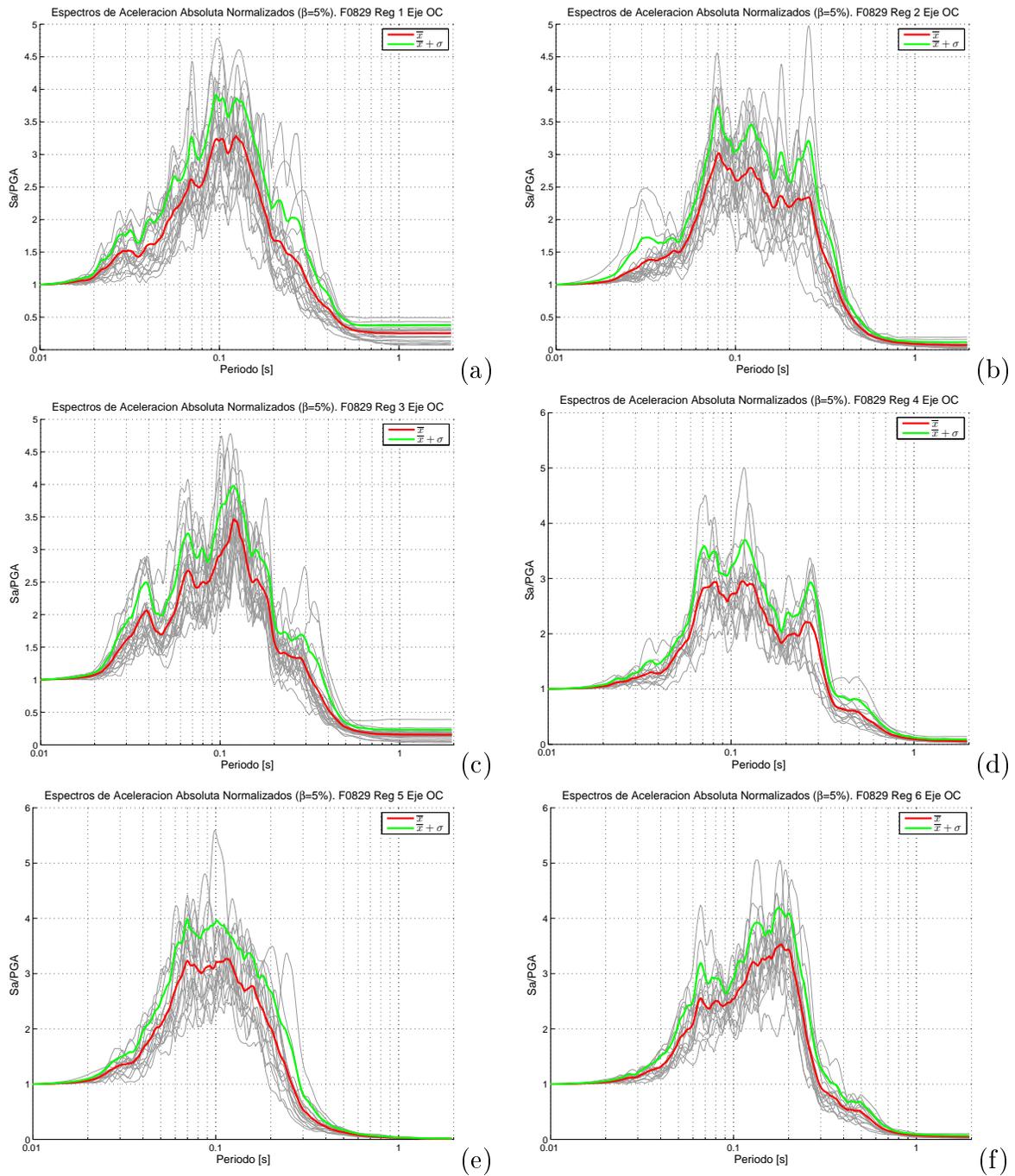


Figura 5.66: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”

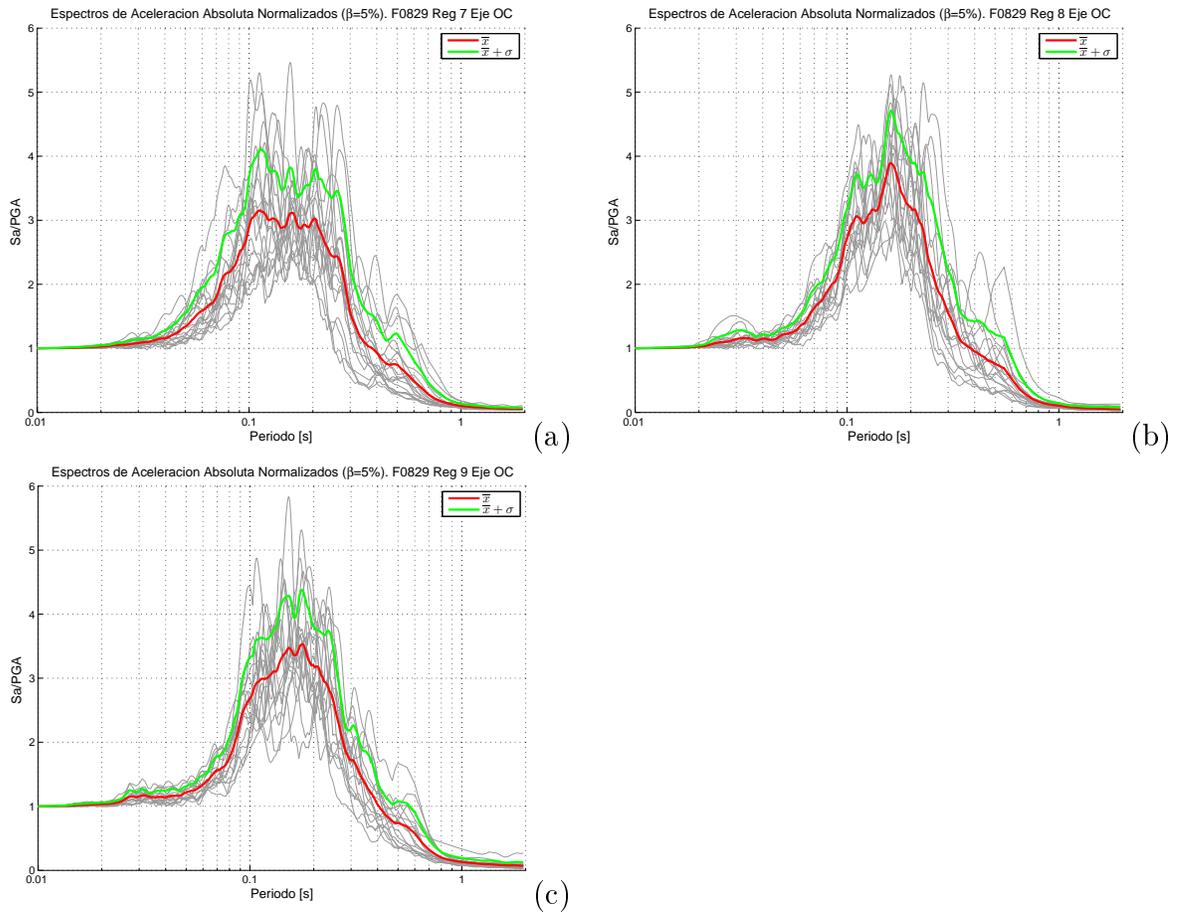


Figura 5.67: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”

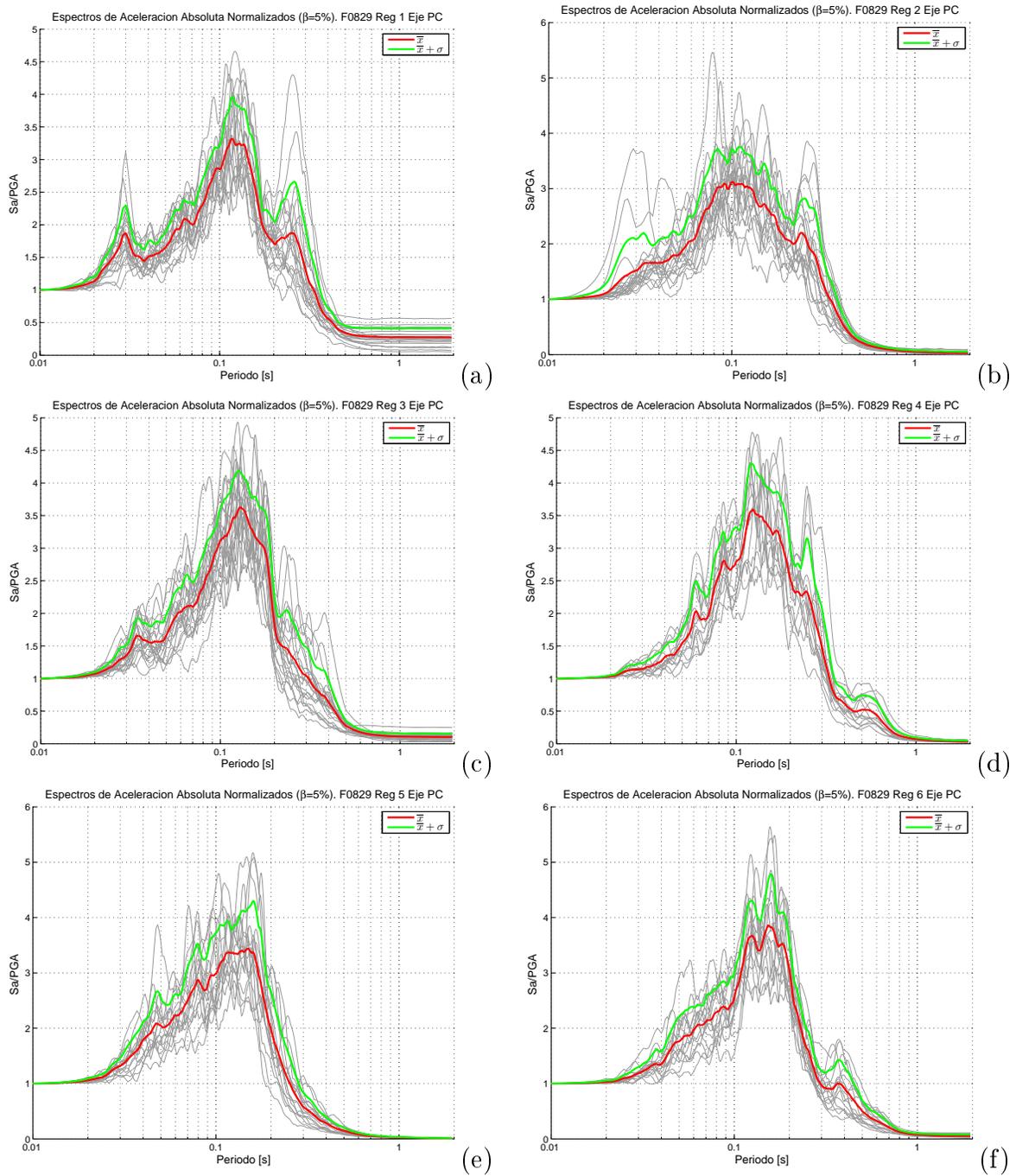


Figura 5.68: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”

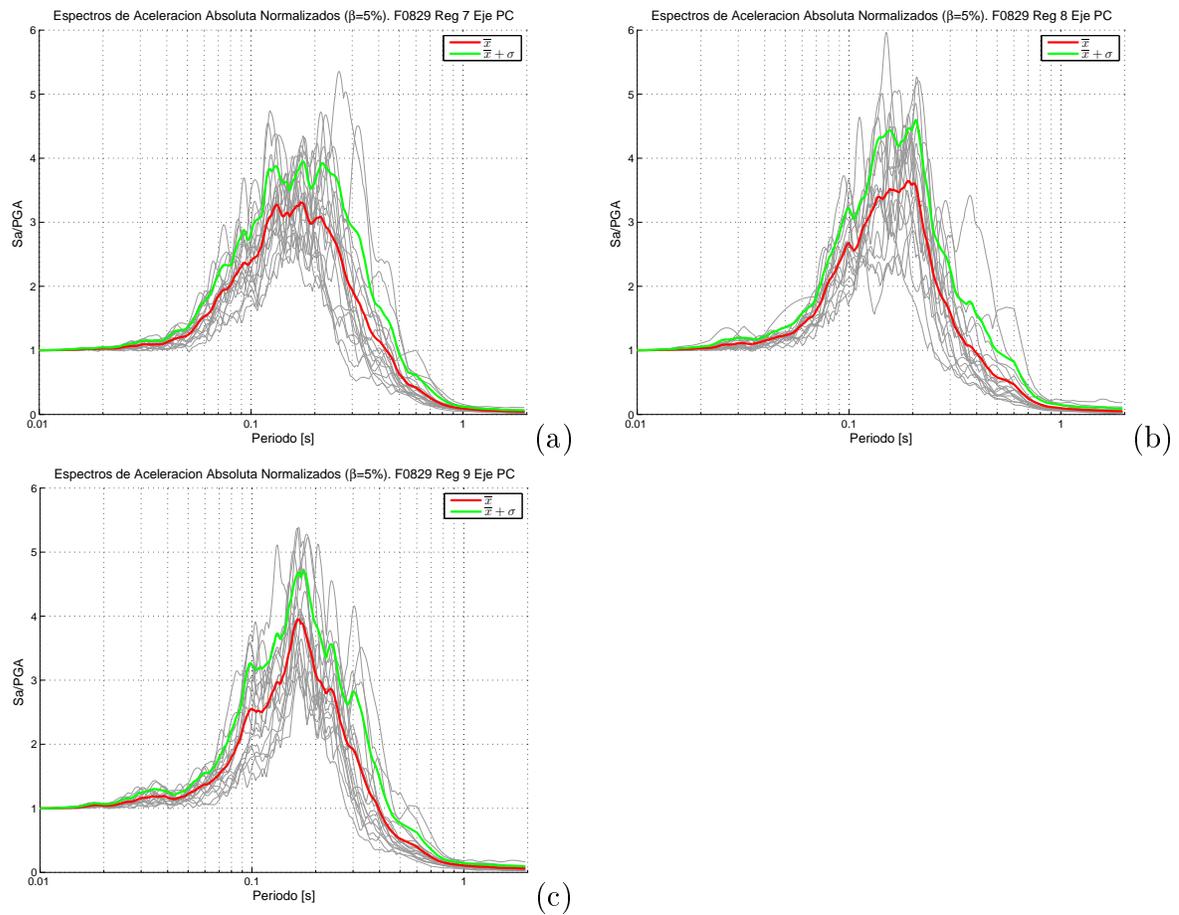


Figura 5.69: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”

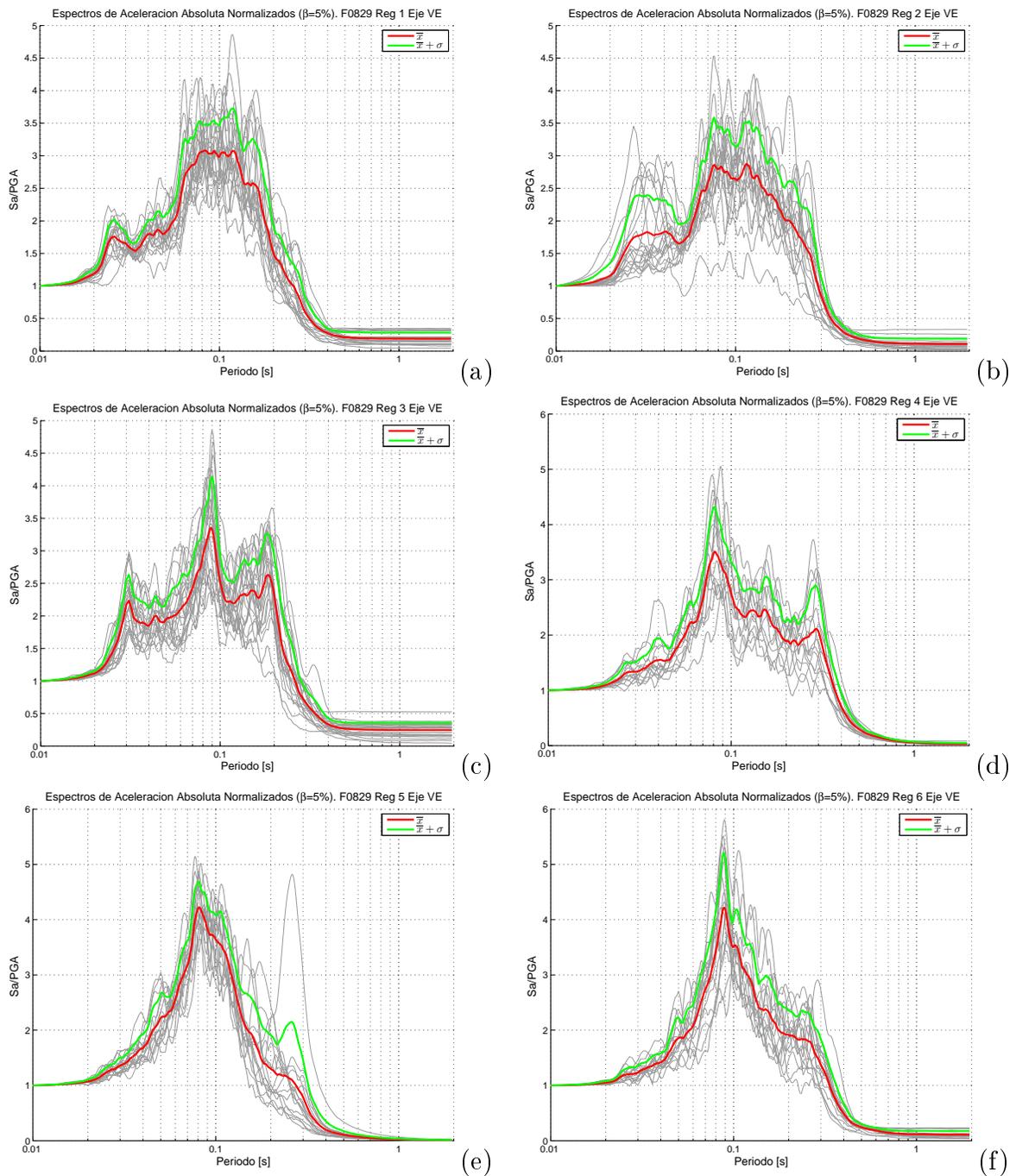


Figura 5.70: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6”

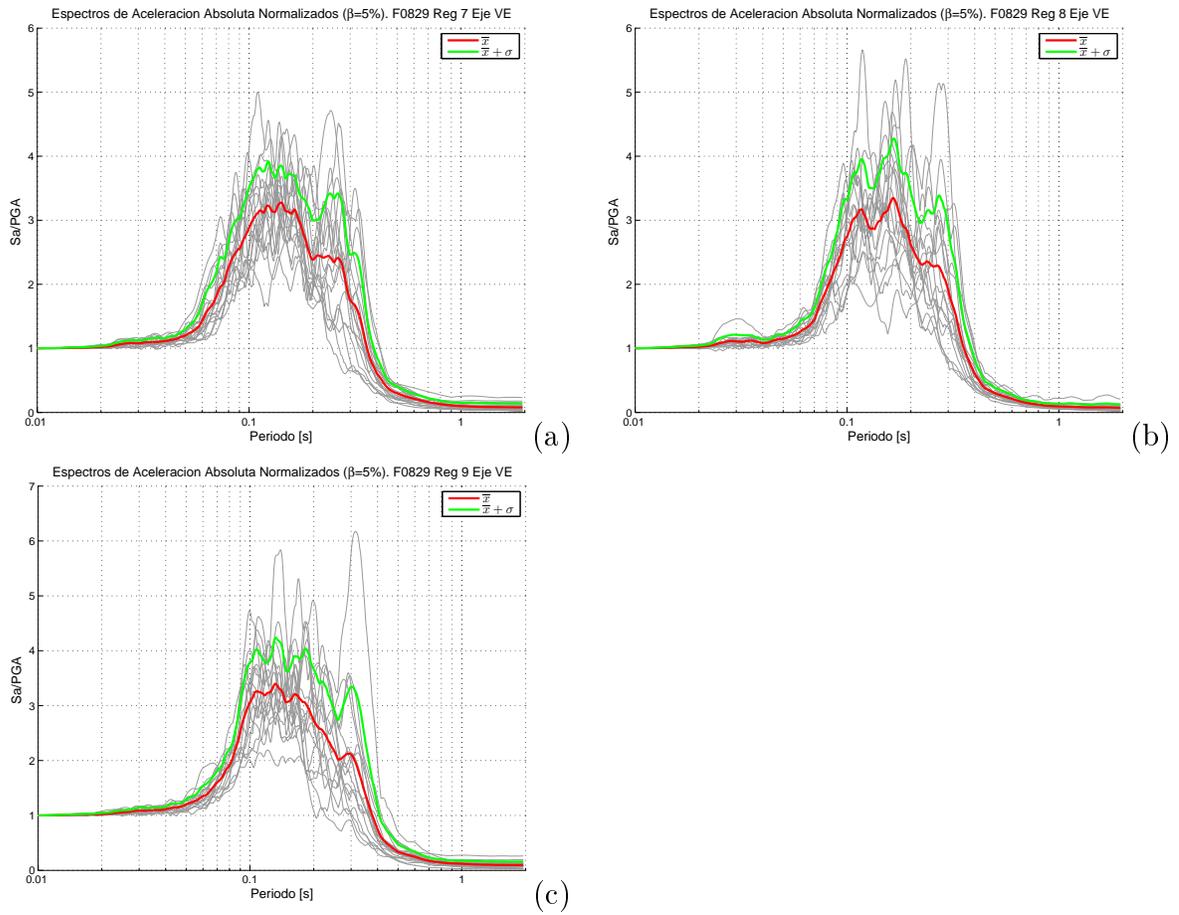


Figura 5.71: “Espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9”

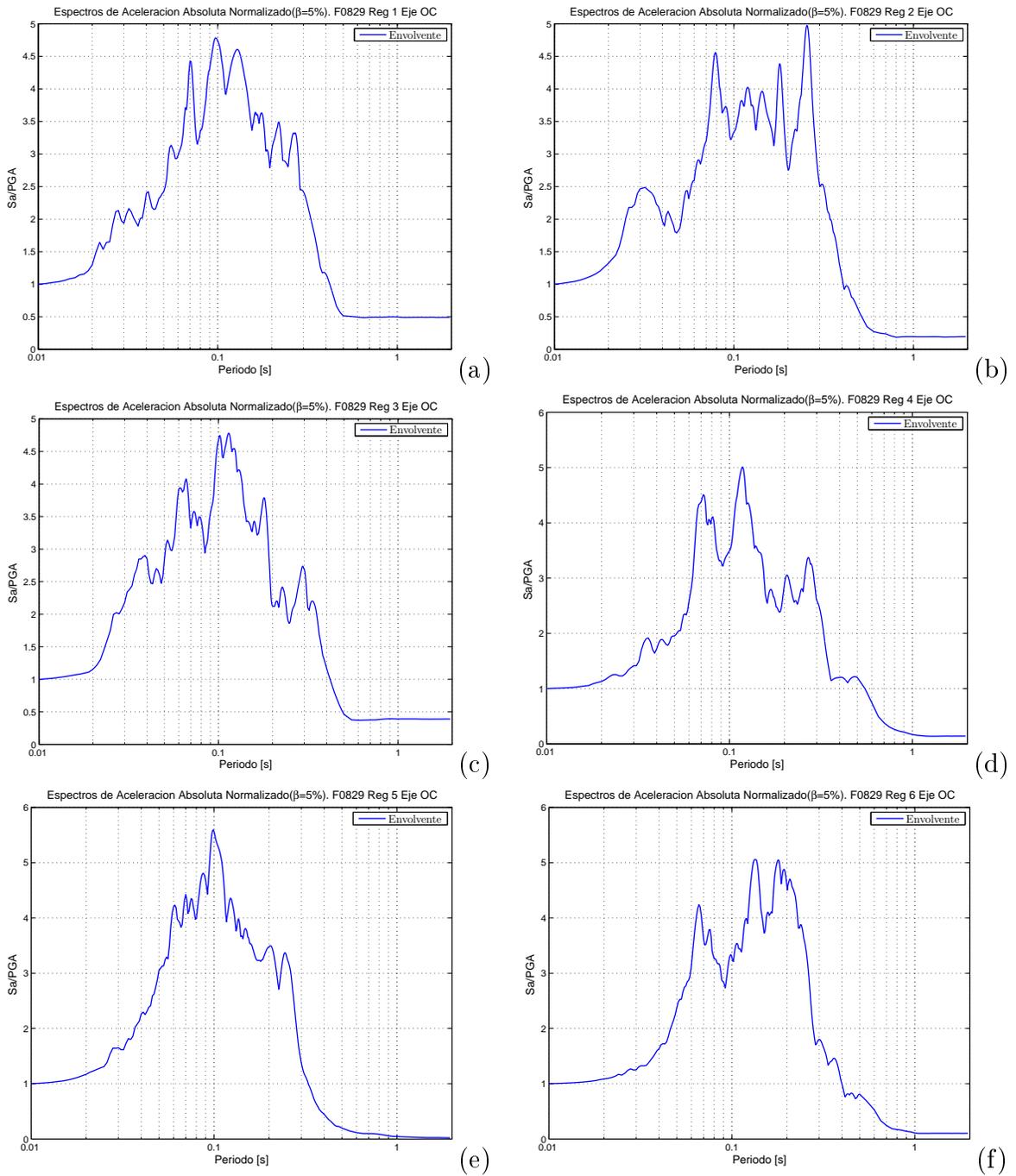


Figura 5.72: Envoltura espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

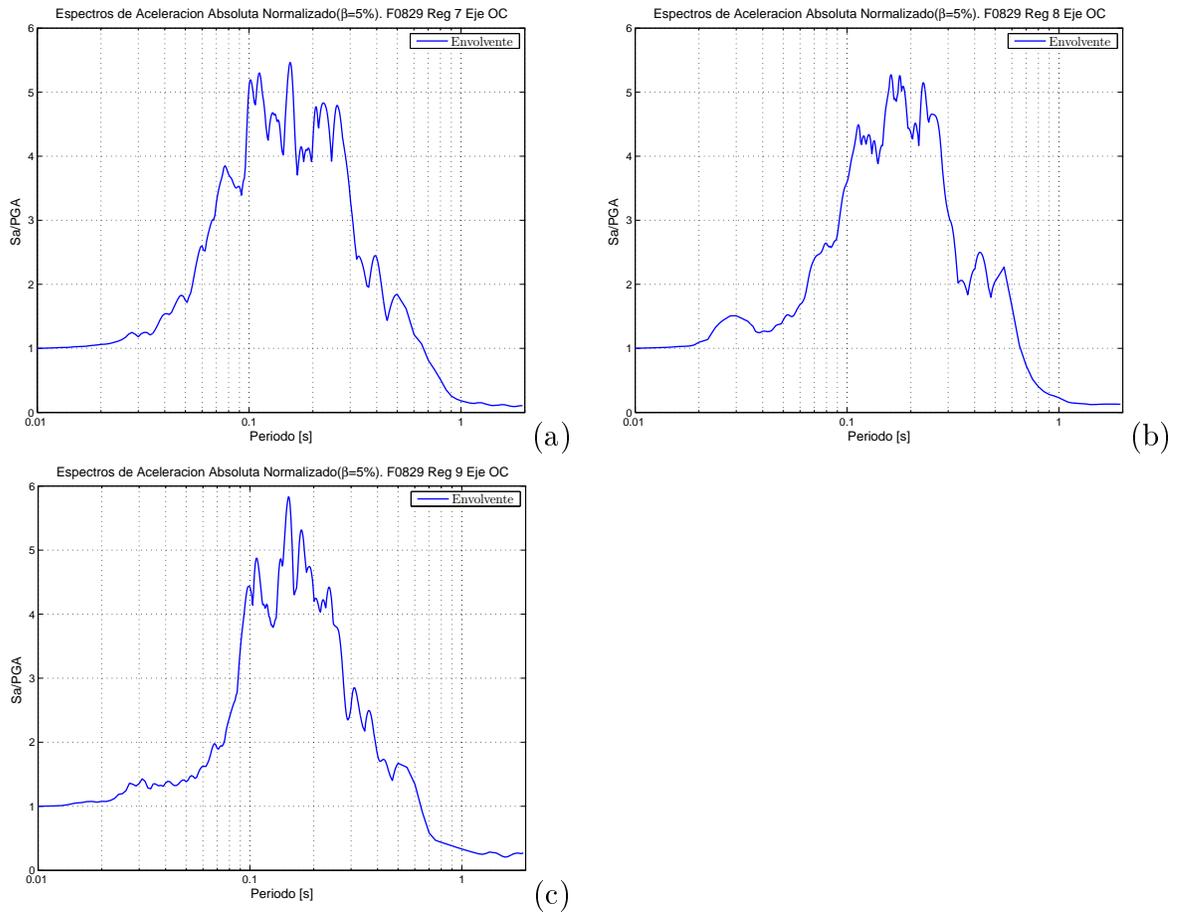


Figura 5.73: Envoltura espectros de aceleraciones. F0829 . Eje OC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9

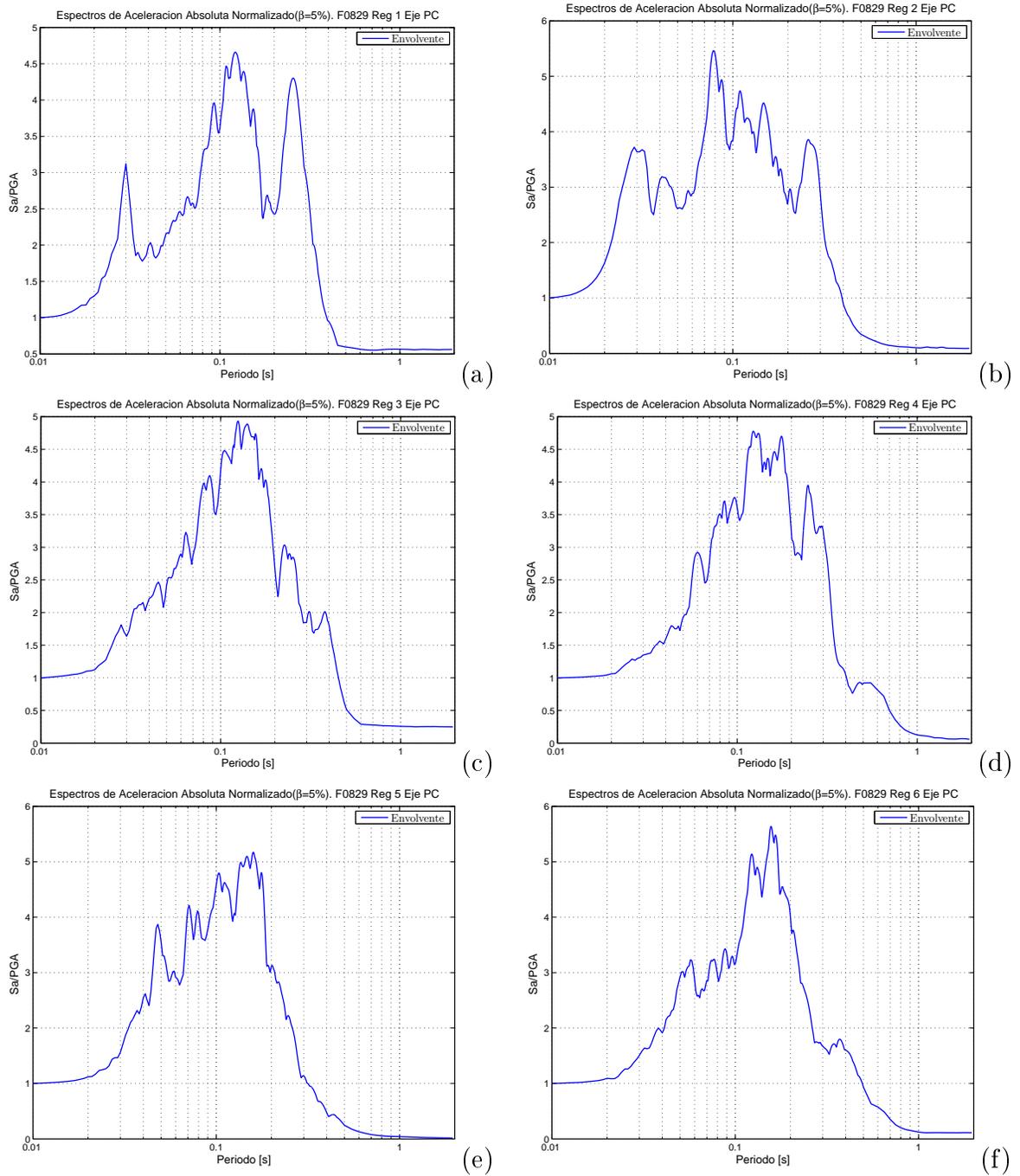


Figura 5.74: Envoltura espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

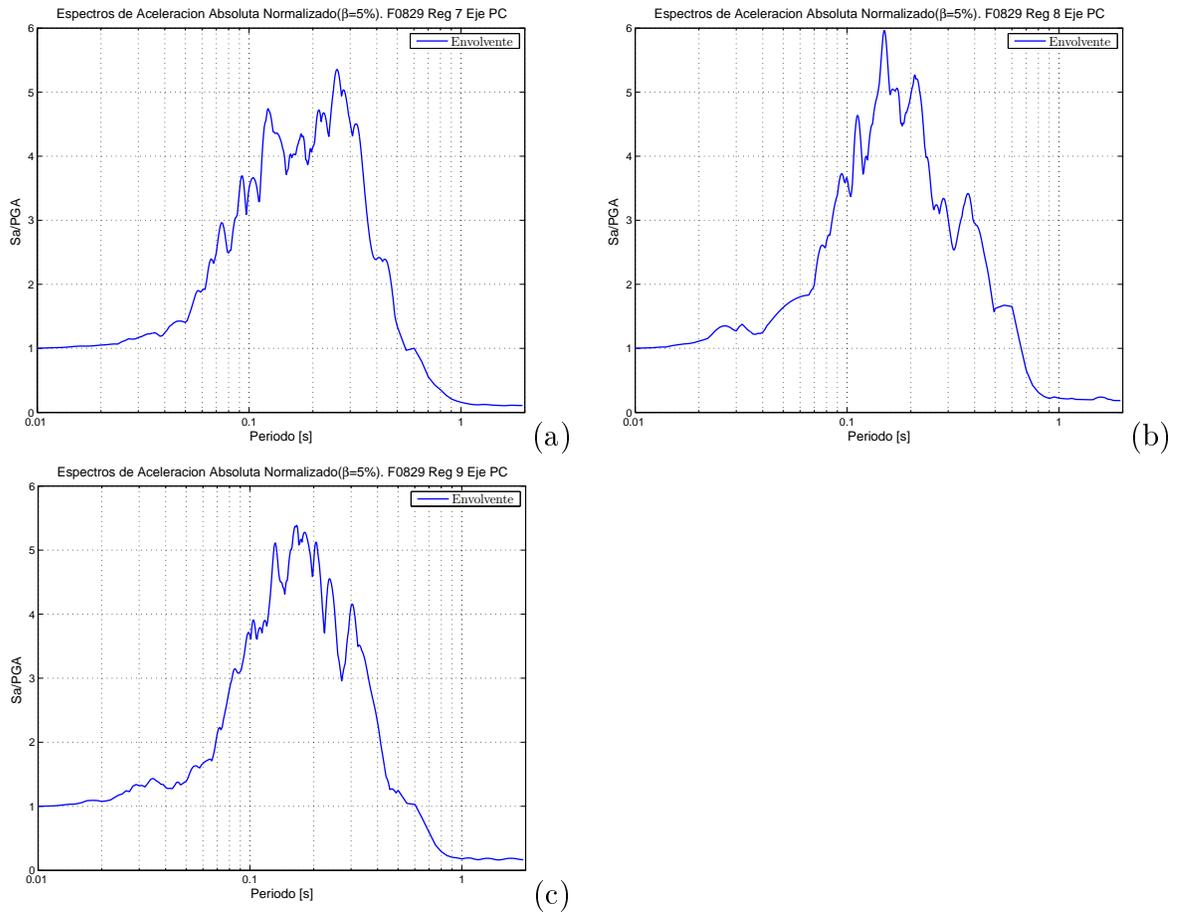


Figura 5.75: Envolvere espectros de aceleraciones. F0829 . Eje PC. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9

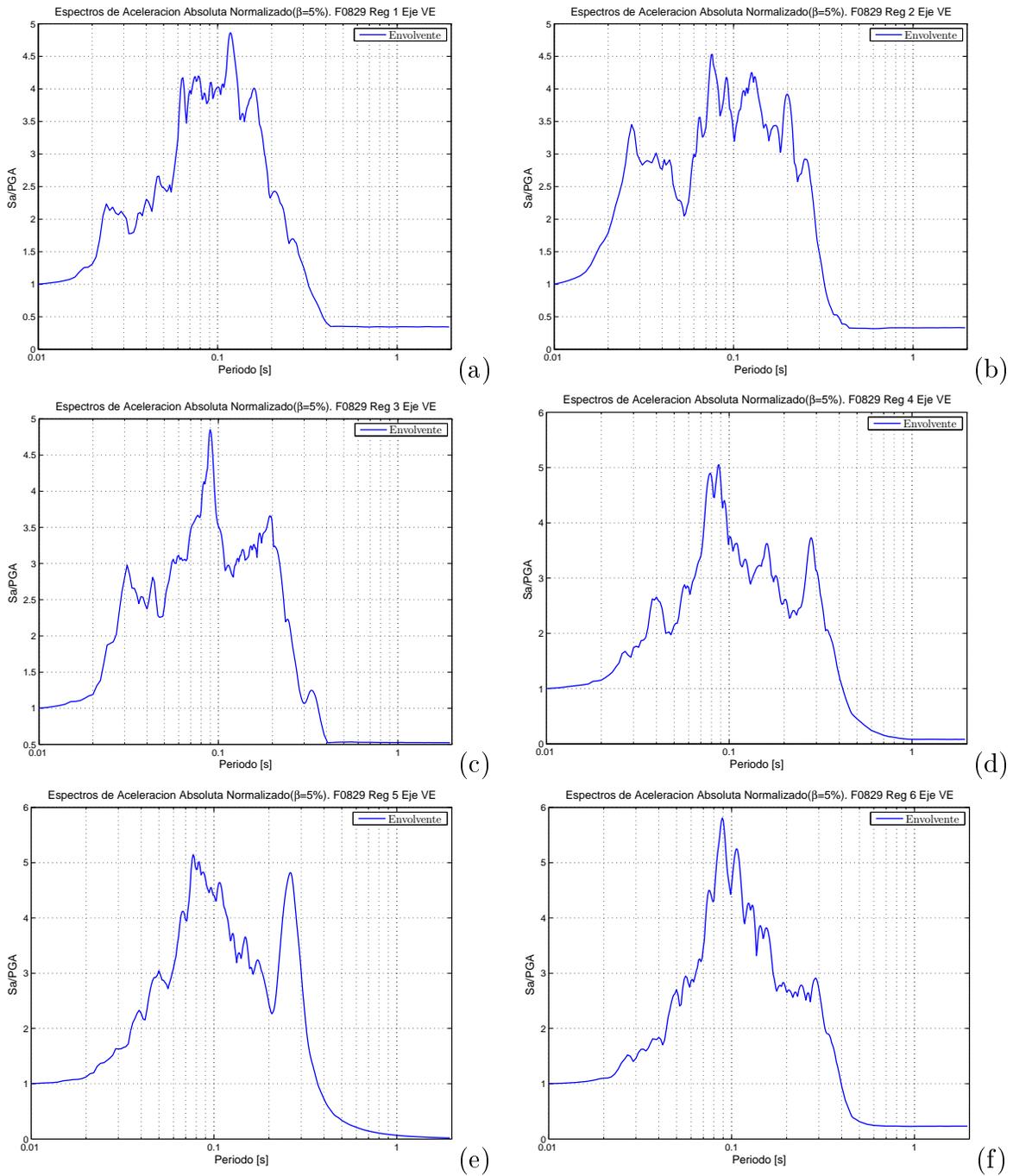


Figura 5.76: Envoltura espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 1, (b) Reg 2, (c) Reg 3, (d) Reg 4, (e) Reg 5, (f) Reg 6

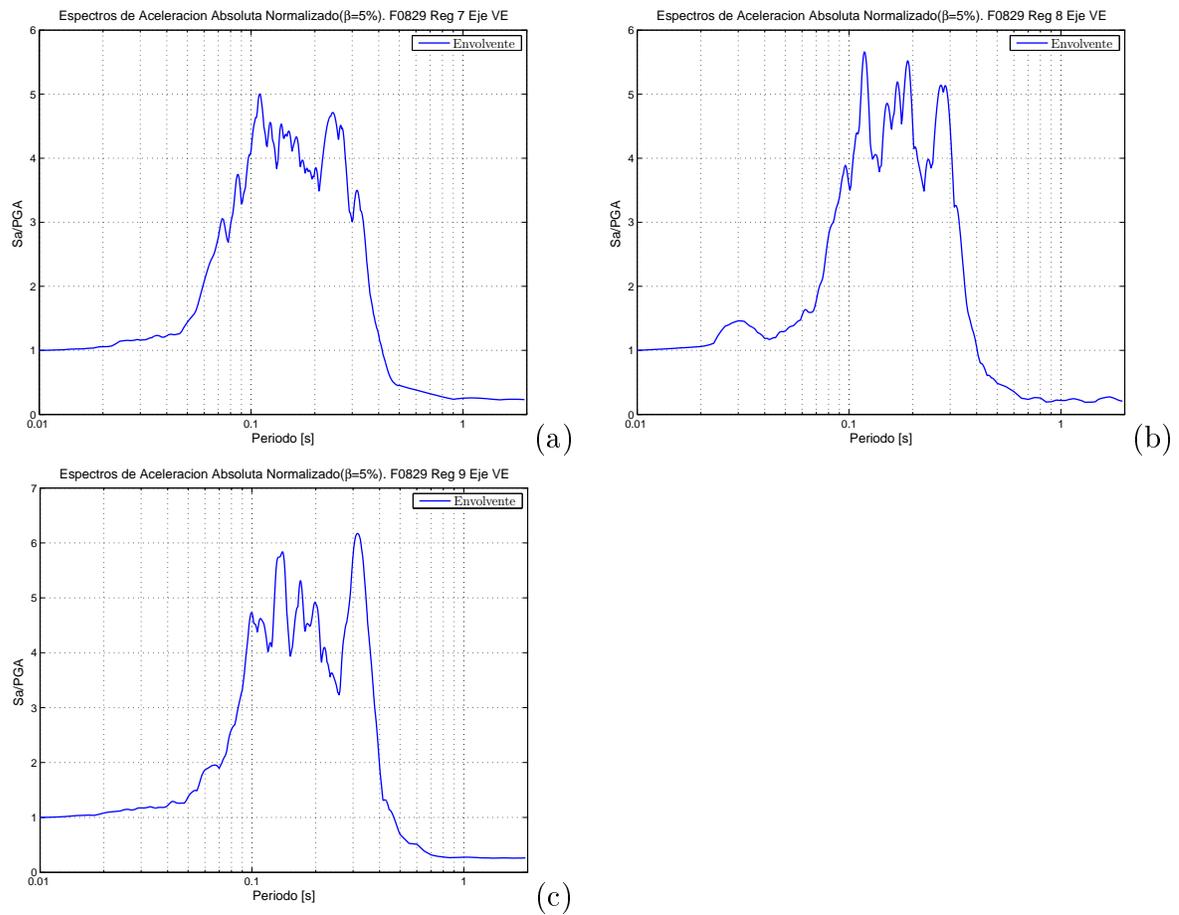


Figura 5.77: Envoltura espectros de aceleraciones. F0829 . Eje VE. (a) Reg 7, (b) Reg 8, (c) Reg 9

En un ejercicio de comparación, se analiza el registro con mayor demanda de aceleraciones (F0626 reg1) y se define una curva de ajuste para el espectro de aceleraciones en función del valor de periodo, de manera análoga como se define en la ecuación 9 de la Norma Chilena NCh 433.Of2009, a través del parámetro de amplificación α :

$$\alpha = \frac{1 + A * \left(\frac{T}{T_o}\right)^p}{1 + \left(\frac{T}{T_o}\right)^B}$$

Donde A , B , p , T_o serán los coeficientes a ajustar. Los valores de los últimos dos, son dependientes del suelo.

Para el rango de periodos de mayor de demanda de aceleraciones ($[0, 0.4]$ s), las curvas alcanzan valores de ajuste desde 76 %, siendo el eje OC el caso más atractivo, con un 97 % de ajuste de los valores. Más aún, es esta dirección de propagación de las vibraciones la que interesa por las mayores magnitudes de aceleración que contiene.

Las curvas de ajuste no necesariamente deben alcanzar los valores peaks de las curvas originales, pues estas no son estrictamente representativas de las demandas de aceleración en las situaciones recurrentes que se presentan.

En la siguiente tabla se presentan los valores de coeficientes obtenidos para cada eje.

Tabla 5.10: “Ajuste curva de espectros de aceleraciones T_o según eje de medición”

Eje	T_o [s]	A	B	p	R^2
OC	0.115	7.44	3.62	1.15	0.97
PC	0.095	7.95	3.10	1.43	0.89
VE	0.090	6.88	2.72	1.00	0.76

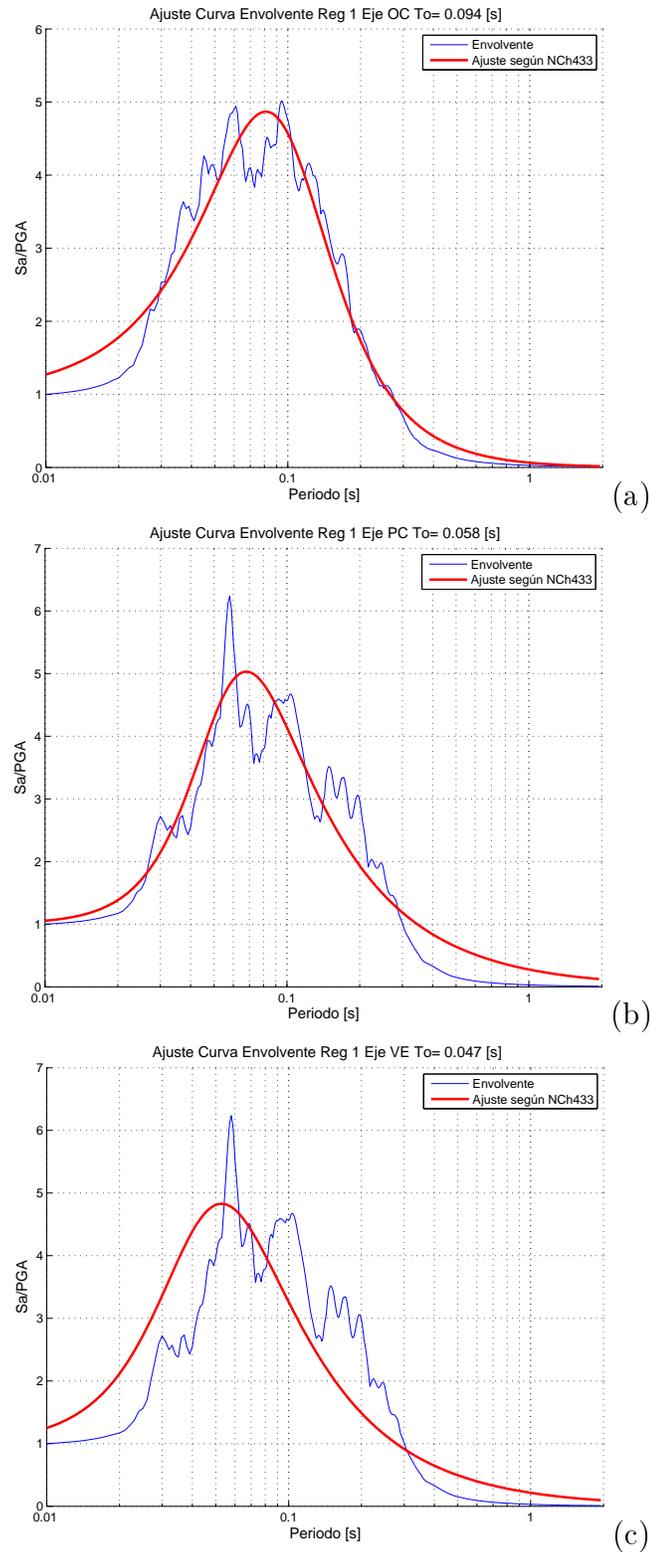


Figura 5.78: Curvas de ajuste envolvente espectros aceleraciones según NCh 433 T_0 variable en cada eje

Si bien en la norma NCh 433.Of 2009, los valores de A y B están definidos, en estos casos

de análisis de registros de oleaje se busca validar la calibración de una curva con una función racional del mismo tipo. No obstante, en el caso estudiado, los valores de B están en torno al exponente de la expresión de la norma ($B \approx 3$).

El valor de p se encuentra dentro del rango de valores indicados en la norma. Solo el parámetro A presentó diferencias notables en los valores obtenidos respecto a los de la norma. Aproximadamente 1.6 veces el valor al de comparación.

5.2.5. Suma acumulada de demanda de aceleraciones

Para todas las etapas y todos los registros, el rango de periodos de los espectros, donde se concentran las mayores solicitaciones se encuentran entre 0 y 0.35 [s] para amortiguamientos de 2 y 5%; y entre 0 y 0.4 [s] para las demandas en los osciladores de 1 grado de libertad con amortiguamiento de 10 o 20 %, Estas bandas de periodos son similares en los tres ejes de medición. Este resultado se ejemplifica en las figuras 5.79 a 5.90, donde se muestra el valor de periodo donde se alcanza el 90 % de la suma acumulada de la demanda de aceleración normalizada por PGA.

Campaña F0626

Tabla 5.11: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1\beta = 0,02$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]
OC	0.225
PC	0.249
VE	0.217

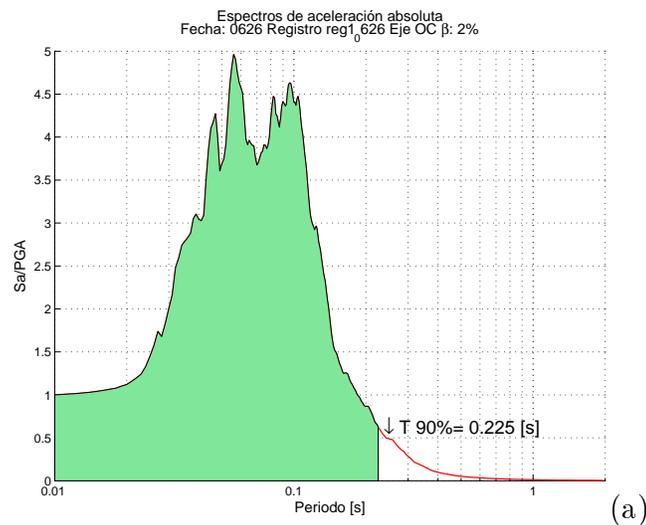


Figura 5.79: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1\beta = 0,02$ (a) Eje OC

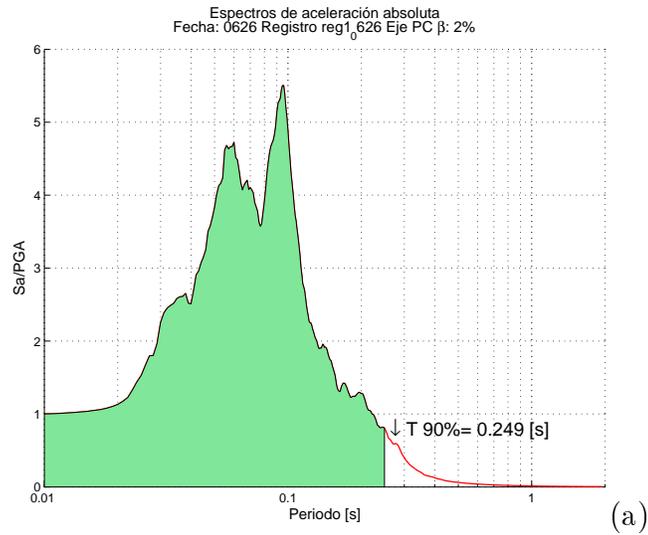


Figura 5.80: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,02$ (a) Eje PC

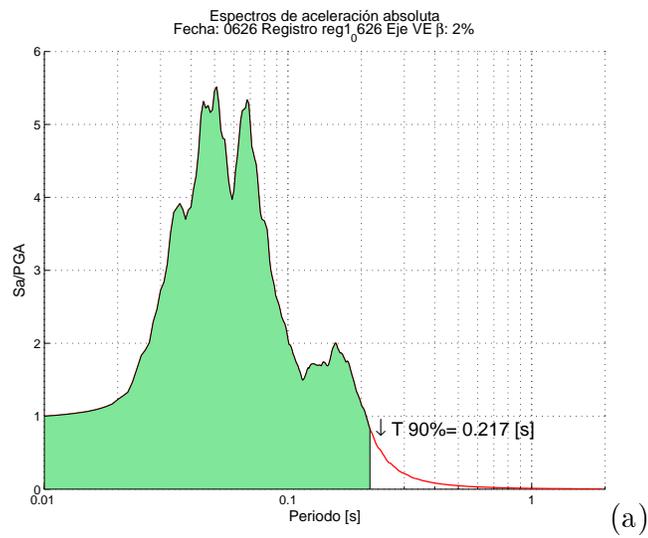


Figura 5.81: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,02$ (a) Eje VE

Tabla 5.12: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg 1 $\beta = 0,05$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]
OC	0.238
PC	0.258
VE	0.231

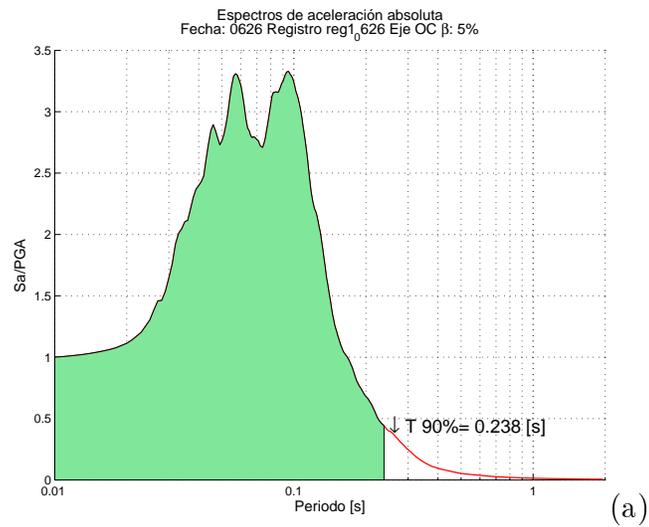


Figura 5.82: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,05$ (a) Eje OC

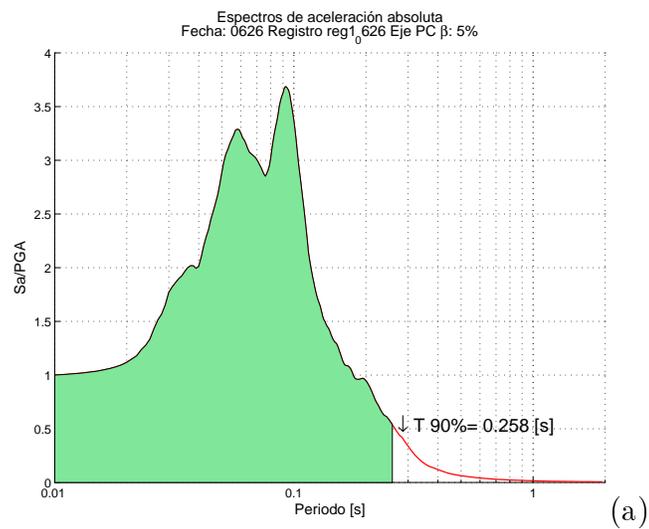


Figura 5.83: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,05$ (a) Eje PC

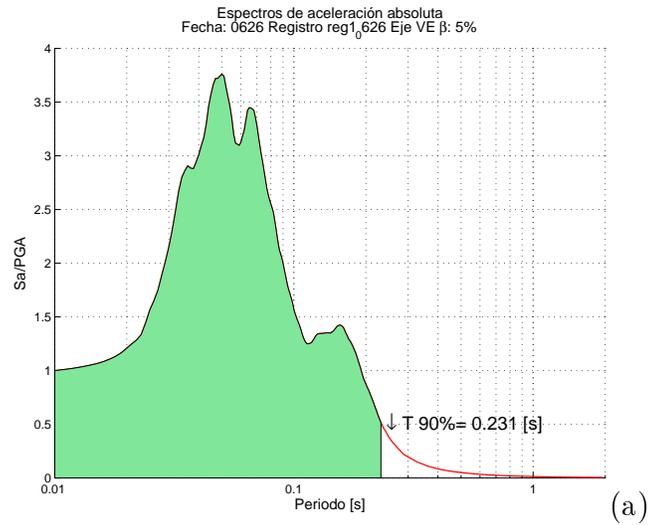


Figura 5.84: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1.\beta = 0,05$ (a) Eje VE

Tabla 5.13: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg $1.\beta = 0,1$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]
OC	0.255
PC	0.273
VE	0.253

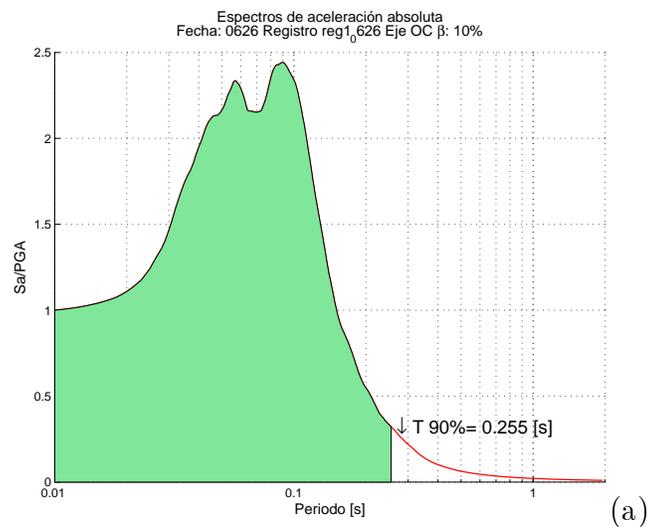


Figura 5.85: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro $1.\beta = 0,1$ (a) Eje OC

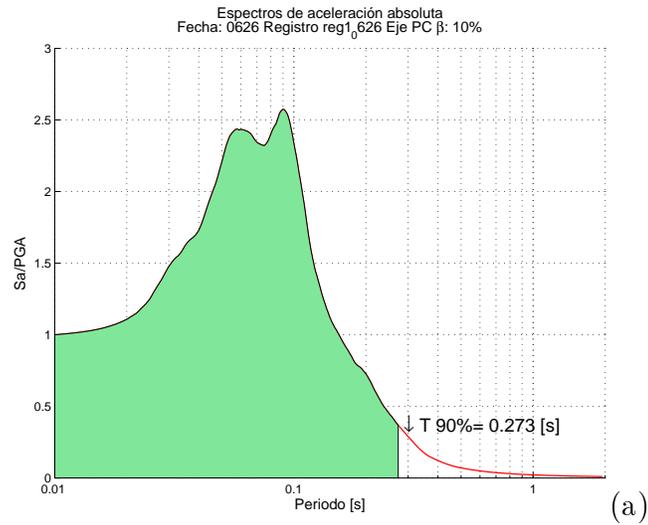


Figura 5.86: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,1$ (a) Eje PC

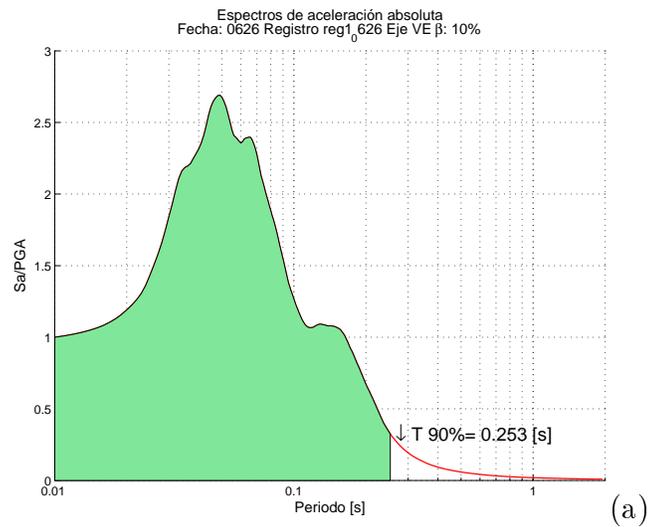


Figura 5.87: “Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,1$ ” (a) Eje VE

Tabla 5.14: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 Reg 1 $\beta = 0,2$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]
OC	0.298
PC	0.307
VE	0.297

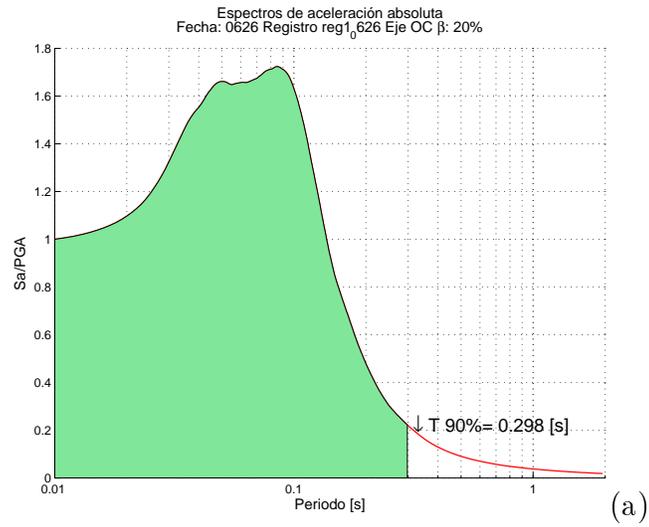


Figura 5.88: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1, $\beta = 0,2$ (a) Eje OC

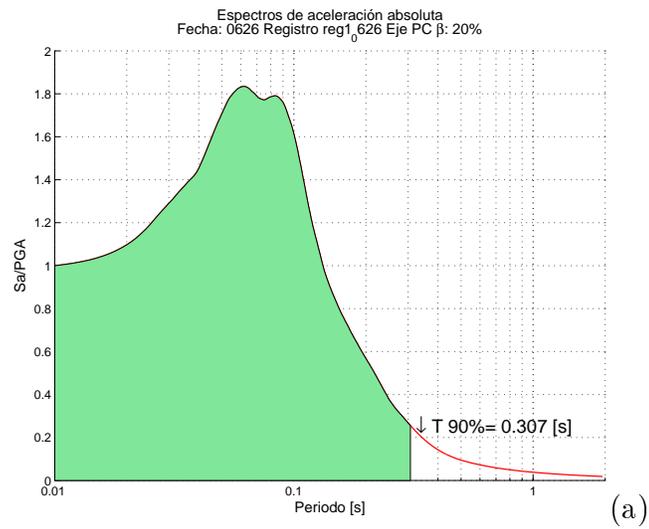


Figura 5.89: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1, $\beta = 0,2$ (a) Eje PC

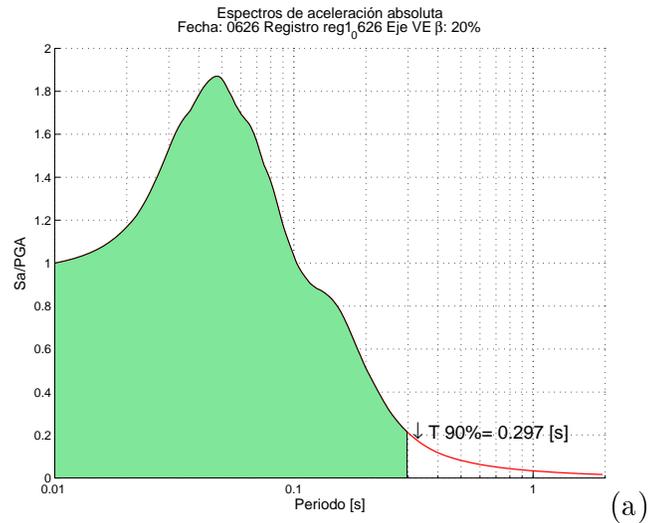


Figura 5.90: Suma acumulada espectros de aceleración. F0626 Registro 1. $\beta = 0,2$ (a) Eje VE

Ahora, se muestra una tabla con los valores de período $T_{90\%}$, para los restantes registros de esta campaña y las F0710 y F0829.

Tabla 5.15: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,02$ ”

Eje	Período $T_{90\%}$ [s]		
	Registro		
	1	2	3
OC	0.225	0.299	0.283
PC	0.249	0.301	0.282
VE	0.217	0.252	0.236

Tabla 5.16: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,05$ ”

Eje	Período $T_{90\%}$ [s]		
	Registro		
	1	2	3
OC	0.238	0.310	0.294
PC	0.258	0.310	0.291
VE	0.231	0.262	0.246

Tabla 5.17: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,1$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]		
	Registro		
	1	2	3
OC	0.255	0.320	0.304
PC	0.273	0.320	0.301
VE	0.253	0.277	0.263

Tabla 5.18: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0626 $\beta = 0,2$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]		
	Registro		
	1	2	3
OC	0.298	0.341	0.327
PC	0.307	0.342	0.326
VE	0.297	0.312	0.302

Campaña F0710Tabla 5.19: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,02$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]										
	Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OC	0.319	0.353	0.329	0.315	0.300	0.336	0.389	0.313	0.327	0.334	0.320
PC	0.315	0.333	0.336	0.357	0.351	0.359	0.411	0.338	0.349	0.338	0.357
VE	0.270	0.289	0.289	0.373	0.330	0.336	0.373	0.330	0.316	0.310	0.317

Tabla 5.20: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,05$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]										
	Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OC	0.325	0.358	0.338	0.327	0.310	0.341	0.398	0.319	0.337	0.340	0.326
PC	0.321	0.340	0.344	0.376	0.360	0.366	0.416	0.347	0.357	0.345	0.363
VE	0.282	0.303	0.304	0.387	0.344	0.349	0.387	0.345	0.332	0.324	0.332

Tabla 5.21: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,1$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]										
	Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OC	0.332	0.365	0.348	0.340	0.322	0.346	0.406	0.326	0.348	0.345	0.333
PC	0.329	0.347	0.353	0.391	0.365	0.368	0.419	0.355	0.364	0.351	0.368
VE	0.297	0.319	0.323	0.400	0.359	0.364	0.400	0.362	0.352	0.34	0.348

Tabla 5.22: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0710 $\beta = 0,2$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]										
	Registro										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
OC	0.350	0.379	0.366	0.361	0.346	0.36	0.416	0.347	0.368	0.36	0.352
PC	0.348	0.362	0.368	0.407	0.376	0.375	0.423	0.370	0.377	0.365	0.378
VE	0.330	0.349	0.355	0.414	0.383	0.386	0.417	0.385	0.379	0.365	0.374

Campaña F0829Tabla 5.23: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,02$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]								
	Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OC	0.349	0.353	0.341	0.348	0.292	0.345	0.376	0.382	0.384
PC	0.342	0.340	0.350	0.340	0.307	0.373	0.385	0.381	0.374
VE	0.291	0.298	0.311	0.342	0.288	0.326	0.339	0.339	0.351

Tabla 5.24: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,05$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]								
	Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OC	0.363	0.363	0.353	0.365	0.306	0.354	0.384	0.388	0.392
PC	0.358	0.35	0.358	0.354	0.319	0.378	0.391	0.386	0.381
VE	0.315	0.317	0.336	0.355	0.302	0.34	0.351	0.351	0.362

Tabla 5.25: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,1$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]								
	Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OC	0.375	0.372	0.365	0.378	0.321	0.362	0.390	0.392	0.396
PC	0.374	0.362	0.364	0.365	0.329	0.380	0.395	0.390	0.386
VE	0.340	0.338	0.360	0.367	0.320	0.355	0.365	0.365	0.374

Tabla 5.26: “Suma acumulada espectros de aceleración. Fecha 0829 $\beta = 0,2$ ”

Eje	Periodo T 90 % [s]								
	Registro								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
OC	0.394	0.388	0.384	0.393	0.349	0.376	0.399	0.401	0.403
PC	0.395	0.382	0.377	0.381	0.352	0.388	0.402	0.400	0.398
VE	0.373	0.370	0.389	0.385	0.354	0.379	0.386	0.385	0.392

5.2.6. Razon de cambio

Conocidas las respuestas de los espectros de aceleración, se estiman los factores de proporción entre las curvas con distinto nivel de amortiguamiento para un mismo valor de periodo, en relación a la curva de espectro para 5 % de amortiguamiento.

Para el set de olas de cada registro se estiman las razones de cambio de las curvas de cada una y se calculan las curvas promedio, y promedio más desviación estándar.

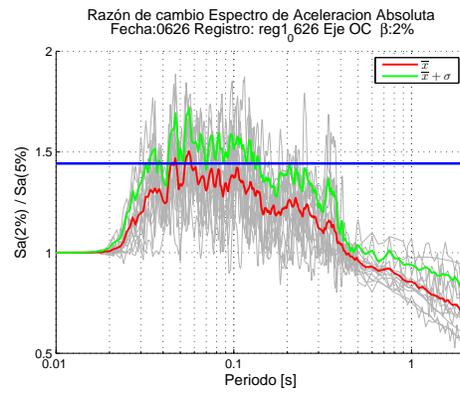
Para el rango de periodos con mayor sollicitación de aceleración ($T=0.05$ a $T=0.35$ s), se puede definir un valor medio de las razón entre las demandas para distinto amortiguamiento. Este valor se compara con la razón de amortiguamiento propuesta para el calculo de la aceleración espectral horizontal de diseño de la norma NCh2369.Of 2003 “Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales”.

La ecuación de dicha norma es:

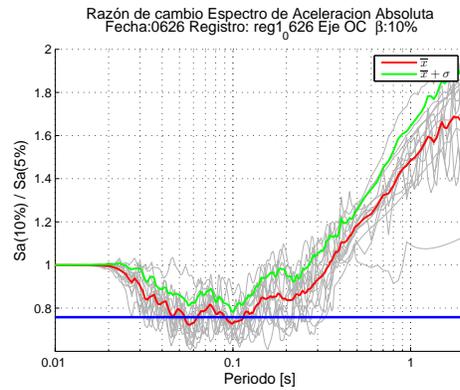
$$S_a = \frac{2,75 * A_o * I}{R} * \left(\frac{T'}{T}\right)^n * \left(\frac{0,05}{\beta}\right)^{0,4}$$

La corrección por amortiguamiento corresponde a la expresión $\left(\frac{0,05}{\beta}\right)^{0,4}$, con β el amortiguamiento de la estructura estudiada.

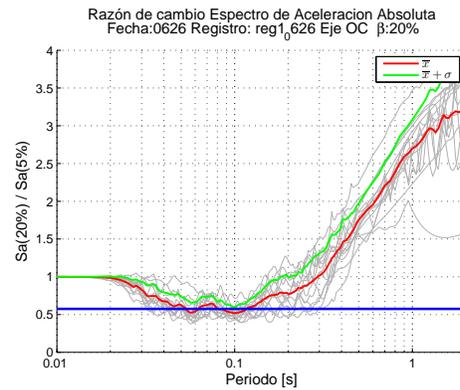
Esta expresión se muestra en las figuras siguientes como una línea constante.



(a)

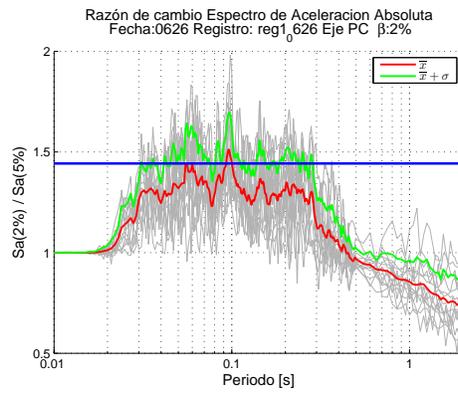


(b)

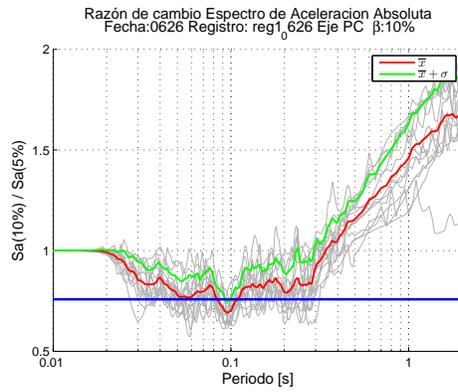


(c)

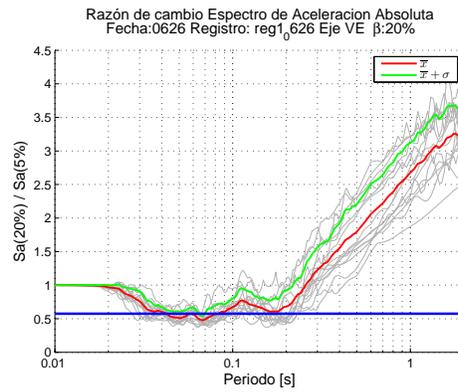
Figura 5.91: Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje OC. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$



(a)



(b)



(c)

Figura 5.92: Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje PC. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$

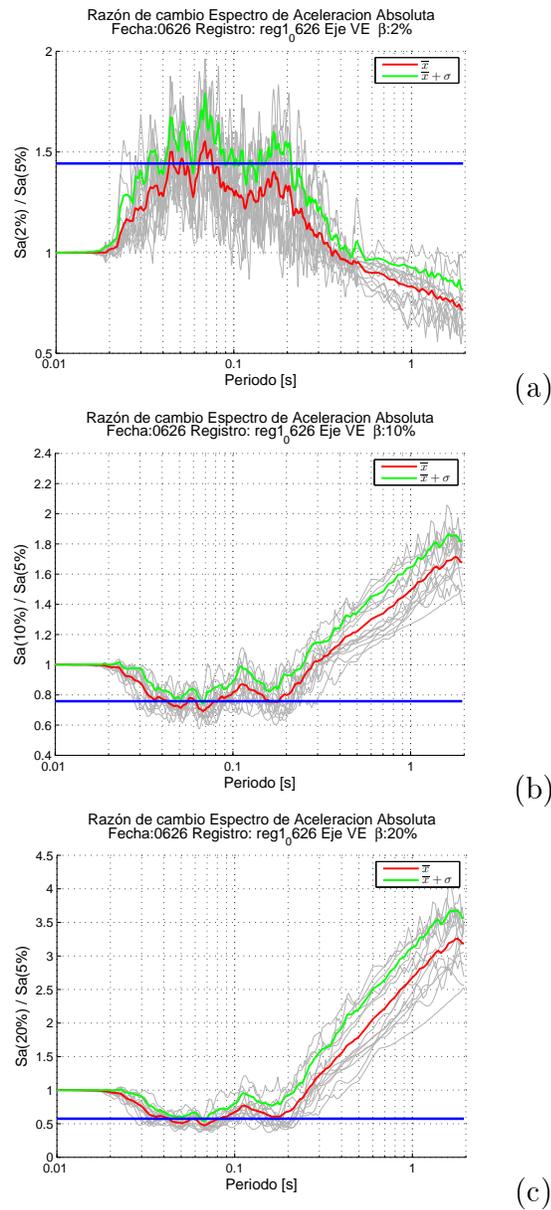


Figura 5.93: Razones de cambio. F0626 Registro 1, Eje VE. (a) $\beta = 0,02$, (b) $\beta = 0,1$, (c) $\beta = 0,2$

De las figuras anteriores se expone que la variación de la demanda de aceleración debido a oleaje es levemente más sensible al cambio de amortiguamiento, comparado con la expresión de la norma NCh2369.

Para amortiguamiento $\beta = 0,02$, la demanda en el rango de periodos de interés, en cada eje de medición, crece entre un 2% y 4% respecto al valor de la norma.

Para $\beta = 0,1$, la demanda de aceleración en el rango de periodos de interés, disminuye aproximadamente en 1% al valor de la norma. Esta tendencia es similar en los tres ejes de medición.

Esta misma diferencia se encuentra para el caso de $\beta = 0,2$. También en todos los ejes.

Capítulo 6

Procesamiento de registros en Edificio

6.1. Propiedades modales del edificio

Utilizando registros capturados en el piso 14 (Ver sección 4.2), se realiza un análisis de los parámetros dinámicos de la estructura mediante el método de Identificación del Sub-espacio Estocástico (SSI) [4]. El filtro utilizado es de tipo pasa alto, con frecuencia de corte 0.1 [Hz], orden 4. En la siguiente tabla se resumen los valores obtenidos:

Tabla 6.1: “Parámetros dinámicos Edificio”

f prom [Hz]	T prom [s]	β prom [%] (± 1)
1.41	0.71	1.4
1.88	0.53	1.3

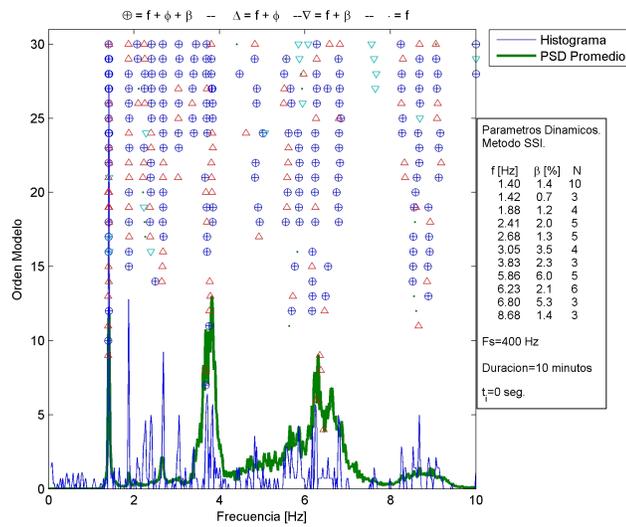


Figura 6.1: Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1A

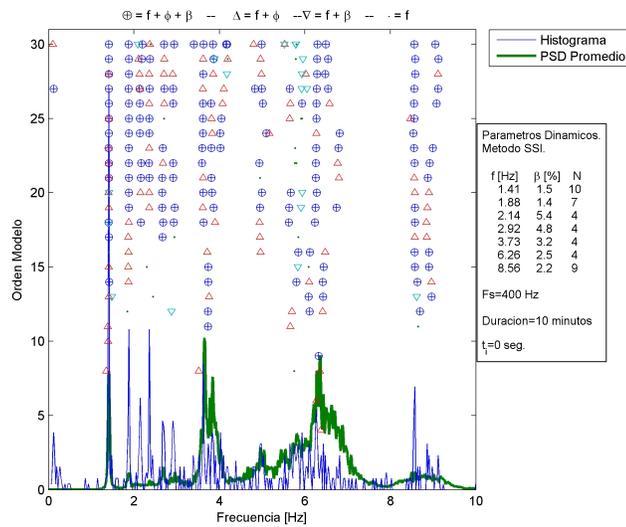


Figura 6.2: Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1B

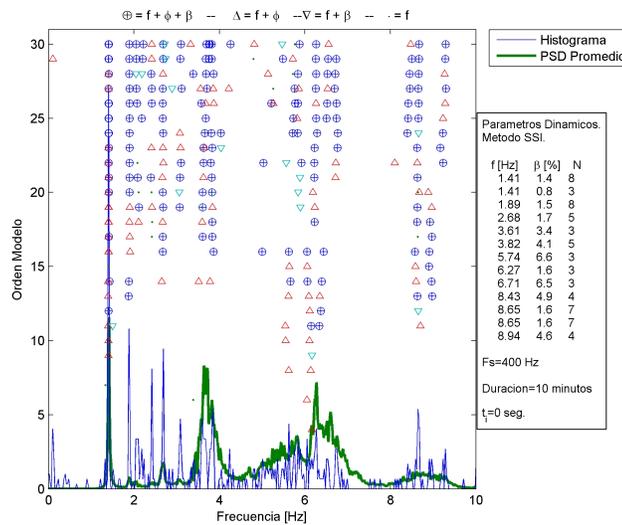


Figura 6.3: Diagrama de estabilización global - Método SSI. F0910 Registro 1C

6.2. Análisis de aceleraciones en Piso 1

Los resultados de las aceleraciones registradas en el primer piso se muestran en la serie de tiempo correspondiente a una ventana de 15 min del registro total:

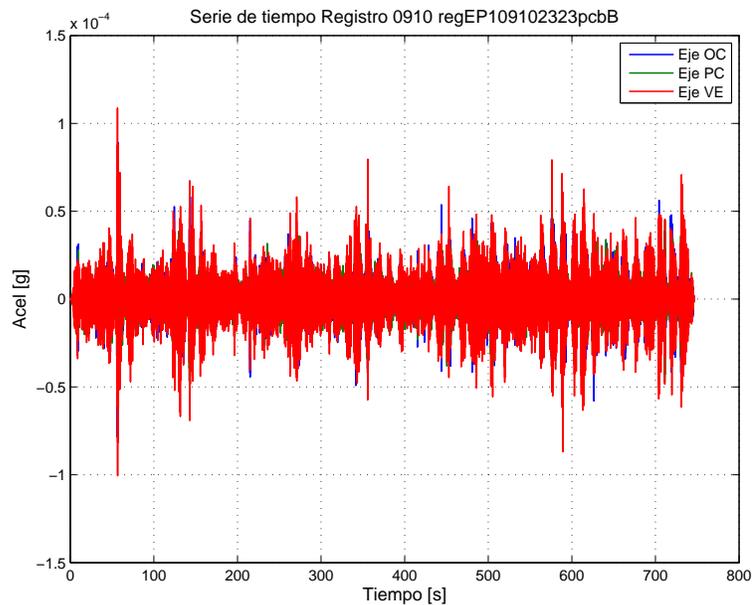


Figura 6.4: Serie de tiempo. F0910 Registro 1 Piso 1

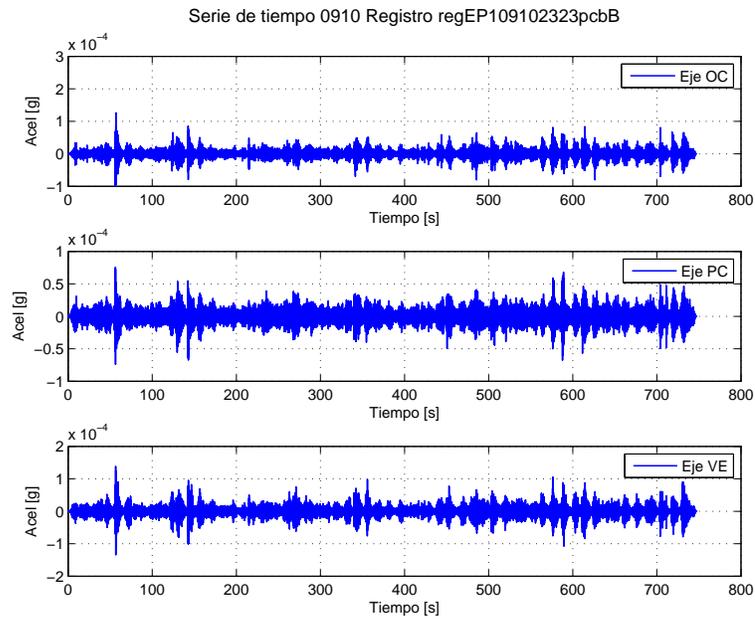


Figura 6.5: Serie de tiempo por ejes. F0910 Registro 1 Piso 1

En esta etapa, los registros también han sido divididos por segmentos de olas. Las magnitudes de aceleración máxima registradas son del orden de $1,5 \times 10^{-4}[g]$.

Tabla 6.2: “Máximas amplitudes de aceleración. Fecha 0910. Edificio Piso 1”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]			
	N° Registro			
	Piso 1A	Piso 1B	Piso 1C	Piso 1D
1	1.09	1.39	1.31	0.84
2	0.45	0.73	0.77	0.53
3	0.44	1.04	0.36	0.39
4	1.96	0.36	0.28	1.83
5	0.00	0.48	0.17	1.19
6	0.43	0.70	0.48	1.02
7	0.37	0.45	0.39	0.88
8	0.50	0.69	0.81	0.50
9	0.49	0.97	0.80	0.30
10	1.05	0.36	0.38	0.37
11	0.68	0.74	0.98	0.73
12	0.73	0.81	1.33	0.40
13	0.86	0.66	1.07	0.75
14	0.70	1.03	0.55	0.94
15	0.35	1.10	0.56	0.47
16	0.38	0.88	0.55	0.92
17	0.46	0.53	0.44	0.91
18	0.95	0.50	0.50	0.42
19	0.56	0.76	0.85	0.50
20	1.41		0.69	0.53
21	0.51		0.87	0.56
22	0.61		0.89	0.62
23	0.70		0.39	1.09
24	0.49		0.32	0.67
25			0.59	
26			0.65	
máx	1.96	1.39	1.33	1.83
\bar{x}	0.67	0.75	0.65	0.72
σ	0.40	0.27	0.30	0.34

6.3. Análisis de aceleraciones en Piso 14

Utilizando la distribución expandida de sensores mencionada en el capítulo XX, las mediciones de aceleraciones en el plano de la superficie del piso 14 del edificio también se realizaron en un intervalo de 60 min, divididos en registros de 15 min.

A continuación se presenta una serie de tiempo de los registros, en los cuales todavía

puede notarse la presencia de las señales debido al oleaje. Estas amplitudes de aceleración son mayores que las del piso 1. Igualmente, se incluye la tabla con las magnitudes de aceleración máximas medidas. Los valores promedios de los máximos de cada ola están en torno a $4 * 10^{-4}[g]$

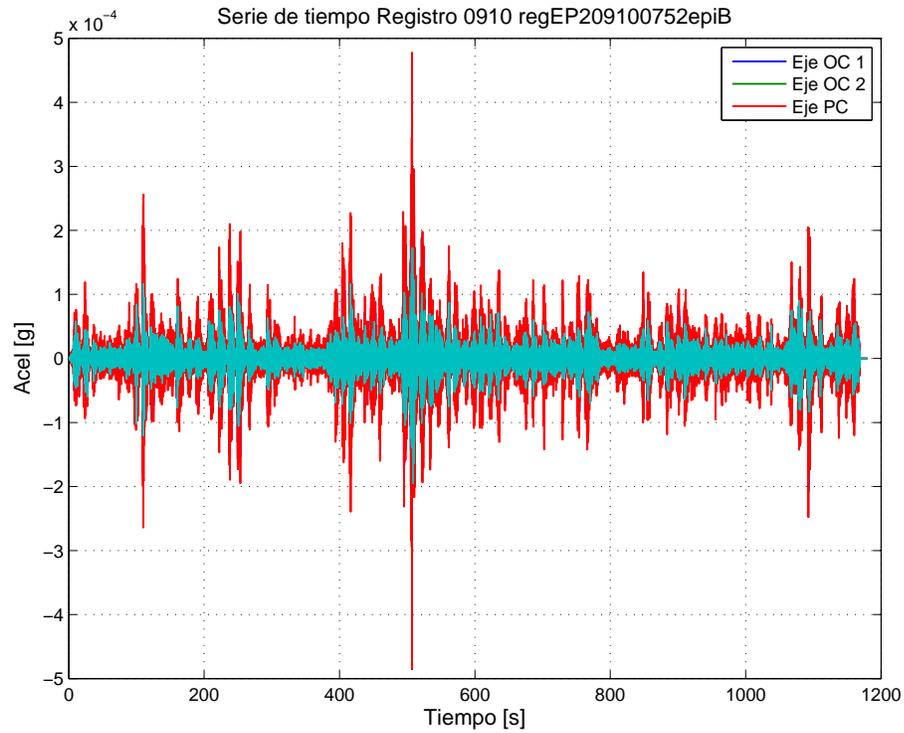


Figura 6.6: Serie de tiempo. F0910 Registro 1 Piso 14

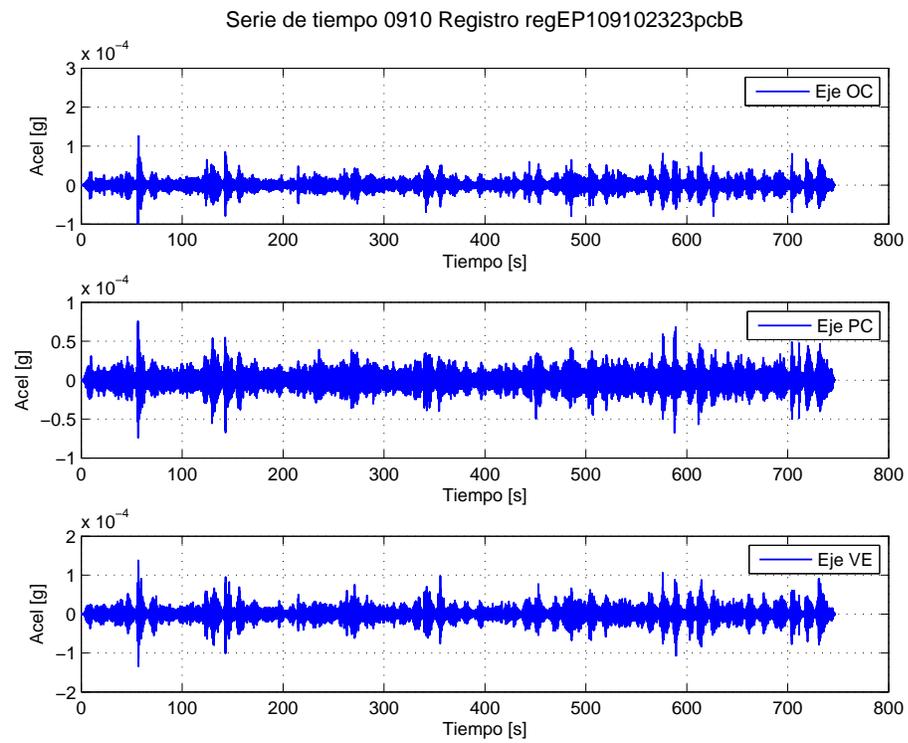


Figura 6.7: Serie de tiempo por ejes. F0910 Registro 1 Piso 14

Tabla 6.3: “Máximas amplitudes de aceleración. Fecha 0910. Edificio Piso 14”

N° Ola	Máxima amplitud de aceleración [$10^{-4} \cdot g$]			
	N° Registro			
	Piso 1A	Piso 1B	Piso 1C	Piso 1D
1	1.40	2.64	1.28	3.08
2	0.96	1.24	1.27	1.44
3	1.51	0.96	1.06	2.26
4	1.51	1.73	0.98	0.95
5	1.91	2.10	1.63	1.70
6	1.60	1.15	3.09	1.23
7	1.18	1.15	2.04	0.94
8	1.19	1.80	1.46	1.72
9	2.43	2.39	0.76	3.98
10	0.93	1.60	1.03	0.90
11	1.92	4.86	1.18	2.38
12	0.92	1.98	3.66	1.12
13	1.88	1.75	1.79	0.90
14	1.12	1.14	1.62	3.85
15	2.04	1.37	3.31	2.07
16	1.36	1.22	1.66	0.00
17	1.41	1.42	0.89	1.38
18	2.41	1.27	2.22	1.12
19	1.63	1.42	1.95	1.25
20	1.30	1.34	1.23	3.19
21	2.43	1.18		3.67
22	1.41	0.96		1.92
23	3.03	0.78		2.49
24	1.39	1.50		2.14
25	2.06	2.48		1.71
26	3.71	1.16		1.60
27	3.34	1.24		
28	1.37			
29	2.33			
30	1.34			
31	1.60			
máx	3.71	4.86	3.66	3.98
\bar{x}	1.76	1.62	1.71	1.88
σ	0.69	0.80	0.82	1.01

6.4. Comparación de registro de aceleraciones en Piso 1 y Piso 14 de edificio.

Conocido los valores de las mediciones en ambos puntos del edificio, se propone el gráfico de la figura 6.8, donde se observan los valores medios de los máximas aceleraciones de los registros de cada piso. Además, se incluyen los resultados de la instrumentación de referencia en la playa.

También, como se puede observar en la figura 6.9. Las máximas aceleraciones registradas en el piso 1, corresponden a un 21 % del valor medio de las máximas aceleraciones medidas en la playa. En piso 14, corresponde a un 53 %. Esto obviamente indica que las aceleraciones se amplifican en los pisos superiores del edificio.

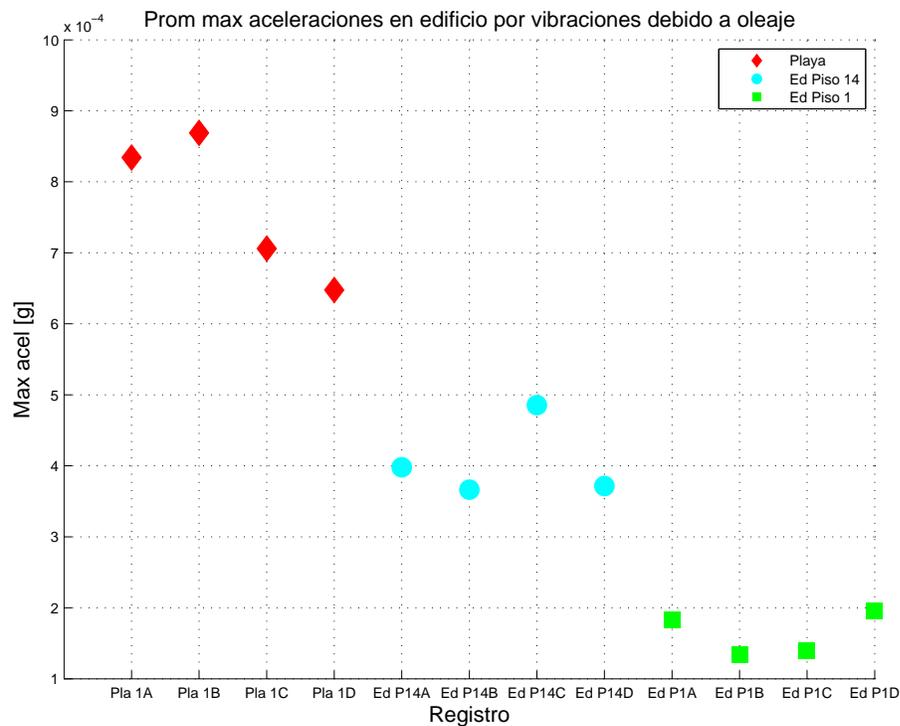


Figura 6.8: Máximas aceleraciones en edificio debido al aporte de oleaje

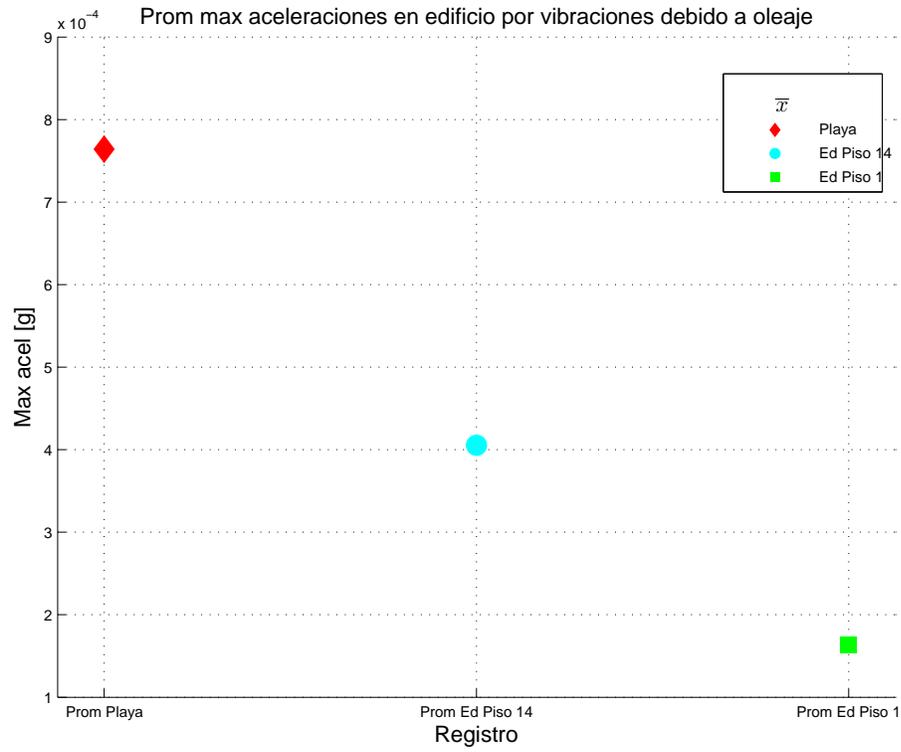


Figura 6.9: Máximas aceleraciones en edificio debido al aporte de oleaje

Capítulo 7

Resultados y conclusiones

Se ha realizado un estudio de vibración de suelo asociado al rompiente de olas en el área de Algarrobo. El comportamiento del oleaje presente en la zona de estudio ha sido caracterizado utilizando registros históricos disponibles para el lugar. Se obtuvo información suficiente para establecer un criterio general acerca de la temporada del año donde se puede encontrar el oleaje que presenta mayores alturas. De acuerdo a los estudios de los tipos de rompiente de olas, se determinó que la clasificación de rompiente tipo plunging está asociado a las mayores demandas de aceleración por impacto de olas en el suelo. Además, este tipo de rompiente de ola se presenta durante todo el año en la zona de medición; por lo tanto el problema estudiado se presenta continuamente, intensificando su magnitud durante la temporada invernal, entre los meses de mayo a septiembre.

Se ha realizado una campaña de medición de aceleraciones entre los meses de junio y septiembre. Las mediciones se han realizado en la superficie de la playa en forma paralela y ortogonal a la costa. De esta mediciones se han obtenido un número importante de registros de rompiente de olas. Se han analizado todos los registros de las campañas efectuadas, con lo que se ha podido establecer una metodología inicial para el estudio del problema de vibraciones debido al impacto de olas en el suelo.

Las máximas magnitudes de aceleración registradas son del orden de $1,9 * 10^{-3}g$.

Para todos los casos estudiados, la dirección Ortogonal a la costa (Eje OC) presenta las mayores sollicitaciones, en concordancia con la dirección principal de transmisión de las vibraciones.

Para el registro de máximas demandas obtenidas, para el eje de medición ortogonal a la costa, se estimó una curva de ajuste para la atenuación de las aceleraciones en el suelo en función de la distancia a la zona de rompiente de olas. La expresión propuesta alcanza un 94 % de valor de aproximación.

Para edificaciones ubicadas aproximadamente a 200 [m] de la zona de rompiente, las máximas solicitaciones registradas para esa distancia (Campana F0829) son $4 * 10^{-4}g$.

La amplificación de las aceleraciones en pisos superiores de edificio monitoreados es evidente, alcanzando una relación de hasta 21 % de los valores máximos de la zona de rompiente.

Se estimaron las frecuencias predominantes del suelo debido al efecto del oleaje. Para los registros con grandes solicitaciones de oleaje las frecuencias se encuentran en un rango de valores ubicado entre 7 y 15 Hz. En el área estudiada la estimación del periodo predominante de vibración, utilizando el método de Nakamura para un registro con baja intensidad de oleaje, está entre 12 y 17 Hz.

En función de las demandas registradas de los impacto de olas registrados en cada serie de tiempo, se construyeron espectros de aceleraciones, para el rango de periodos entre [0,1] s.

De acuerdo a lo observado en estos espectros, las mayores demandas se esperan para estructuras rígidas, con periodo fundamental entre [0.05, 0.4] s. Para estructuras con amortiguamiento de 2 o 5 %, el valor de periodo para el 90 % de la demanda acumulada corresponde a 0.35[s], en promedio. Para estructuras con amortiguamiento de 10 o 20 % se alcanza el 90 % de la demanda acumulada para 0.4[s], en promedio.

Las bandas de periodos son similares para los tres ejes de referencia, siendo en el eje OC el que contiene magnitudes de solicitación levemente superiores a los otros ejes.

Los mayores valores de aceleración espectral corresponden a $1,2 * 10^{-2}g$, para un amortiguamiento de $\beta = 0,02$. Estas magnitudes corresponden hasta 6 veces el valor del PGA de ese registro.

Se realizó un ajuste de las curvas de espectros de aceleraciones comparando con el factor de amplificación α de la norma NCh433. A pesar de las similitudes de los parámetros encontrados para la función definida, en estos estudios solo se puede concluir que es posible construir una curva de demanda de aceleraciones en estructura considerando una expresión racional con parámetros conocidos.

Para una mejor calibración de esta curva sería recomendable conocer con mayor detalle el tipo de suelo en que se instrumenta y sus propiedades dinámicas.

Se ha desarrollado las comparaciones de las razones de cambio de espectro según nivel de amortiguamiento con la expresión análoga del espectro de diseño de la norma NCh2369. La diferencias entre ambas son menores. Las mayores diferencias se presentan en el caso con $\beta = 0,02$, en el eje OC, con una separación de las líneas de tendencia de aproximadamente 4 %. Para los restantes casos de amortiguamiento, las diferencias entre las líneas de comparación

están en torno a 1%. Estas diferencias son menores; por lo tanto, la expresión para la razón de cambio de amortiguamiento de la norma NCh2369 es válida.

Si bien las demandas de aceleraciones en el suelo debido al impacto de olas que fueron registradas, pueden ser mucho menores en comparación a otros sucesos (Sismos, por ejemplo), se encuentra la necesidad de considerar la periodicidad del problema, el cual afecta durante largas temporadas del año, con la percepción negativa de vibraciones por parte de los usuarios de los edificios.

Finalmente, para estudios posteriores asociados al tema, se sugieren las siguientes prácticas y metodologías:

- Para una mejor interpretación de los resultados de atenuación de aceleraciones en función de la distancia a la zona de rompiente, se sugiere considerar los valores registrados en función de la altura de ola que impacta. Esto permite controlar las diferencias que se presentan entre registros debido a las diferencias de oleaje que se producen. Para esto, es necesario realizar un registro de las alturas para las olas estudiadas.

- Diseñar un procedimiento de medición en un mismo tiempo para distintos puntos definidos. Con esto se pretende reducir el error asociado en los valores de solicitaciones debido al efecto de variación de oleaje en el transcurso del día.

- Realizar mediciones de vibraciones para cuantificar el efecto estudiado en elementos no estructurales del edificio donde éstas son percibidas; por sobre todo en días de alto oleaje, y así mejorar el reconocimiento a los estados más desfavorables para las estructuras solicitadas.

Bibliografía

- [1] U.S. Army Corps of Engineers Coastal Engineering Manual Part II. 2006.
- [2] U.S. Army Corps of Engineers. Shore protection manual. 1984.
- [3] Y. NAKAMURA. *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly report of Railway Technical Res. Inst. (RTRI), Vol 30., 1989.
- [4] P. VALDES. *Identificación paramétrica en sistemas estructurales utilizando el método del Subespacio estocástico*. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile. Santiago, Chile., 2004.
- [5] A. CHOPRA. *Dynamic of Structures*. Prentice Hall, 1996.
- [6] R.W y PENZIEN J. CLOUGH. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill, 1993.
- [7] A. FRENCH. *Vibrations and waves*. The M.I.T. Introductory Physics Series. New York, Estados Unidos: W. W. Norton & Company, 1971.
- [8] L. HOLTHUIJSEN. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge, 2007.
- [9] E. NEWMARK, N; ROSENBLUETH. *Fundamentals Of Earthquake Engineering*. Prentice Hall, 1971.
- [10] Society for Earthquake and Civil Engineering Dynamics (SECED). Earthquake, blast and impact: Measurement and effects of vibration. *Elsevier Applied Science*, 1991.
- [11] Instituto Nacional de Normalización. NCh433.Of 2009 Diseño sísmico de edificios. 2009.
- [12] Instituto Nacional de Normalización. NCh2369.Of 2003 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales. 2003.

ANEXO FIGURAS DE REGISTROS

Apéndice A

Anexo Figuras de registros

A.1. Series de tiempo

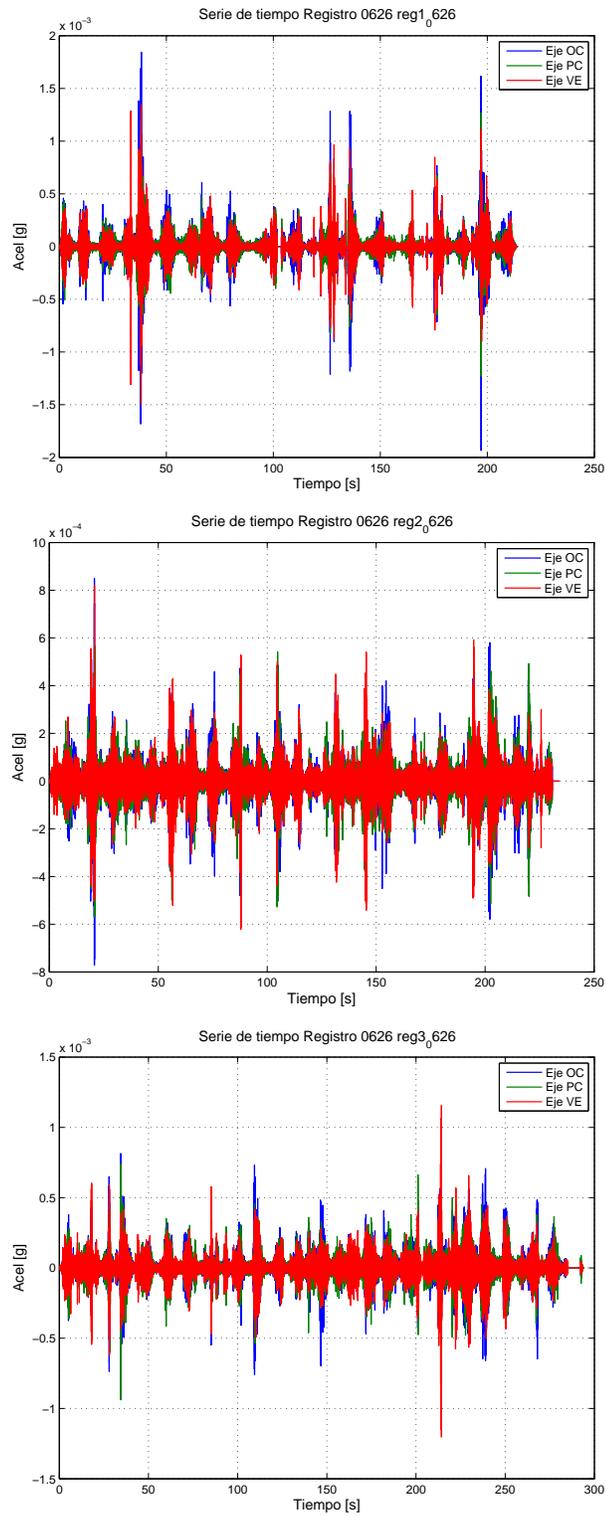


Figura A.1: Series de tiempo F0626

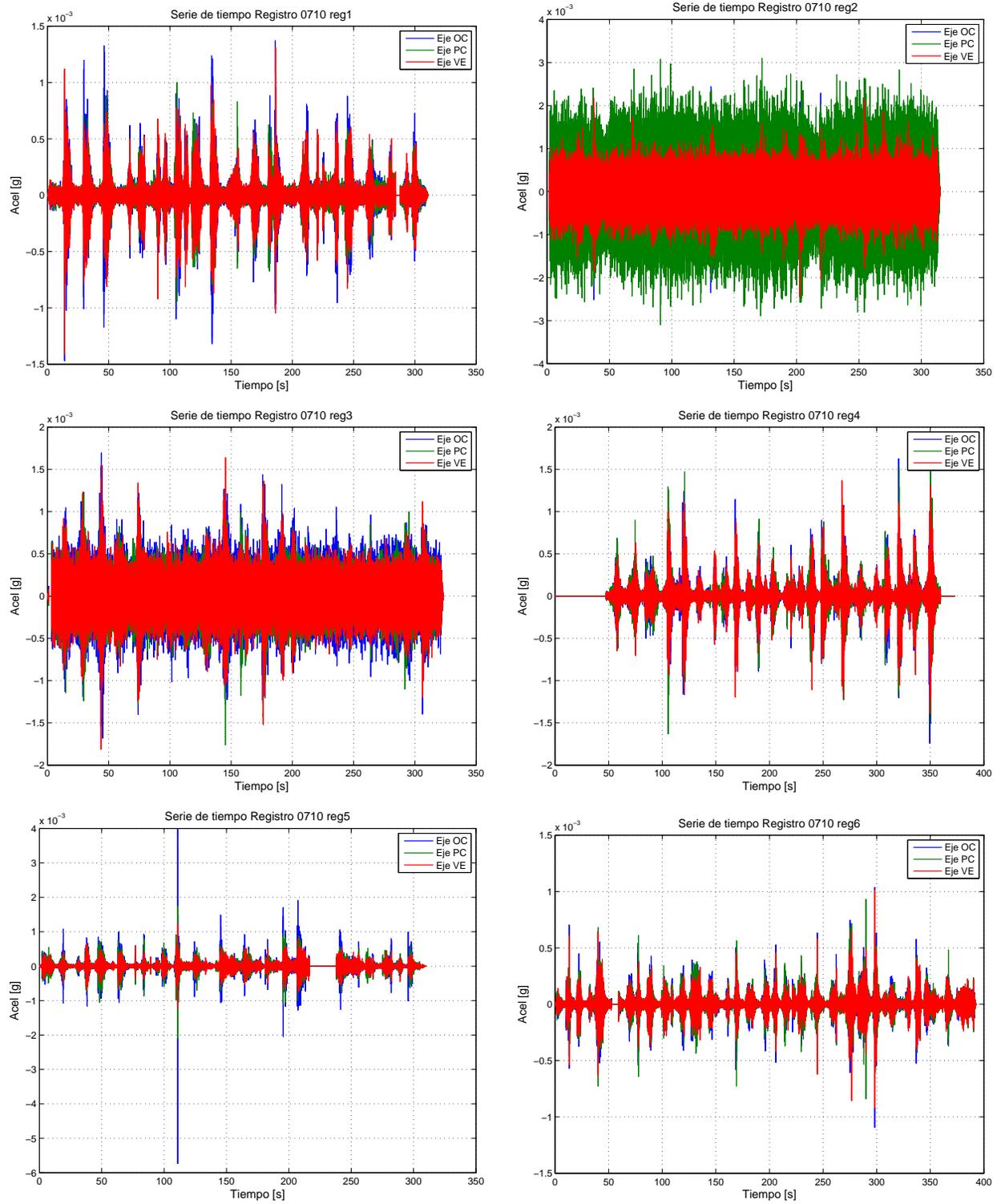


Figura A.2: Series de tiempo F0710

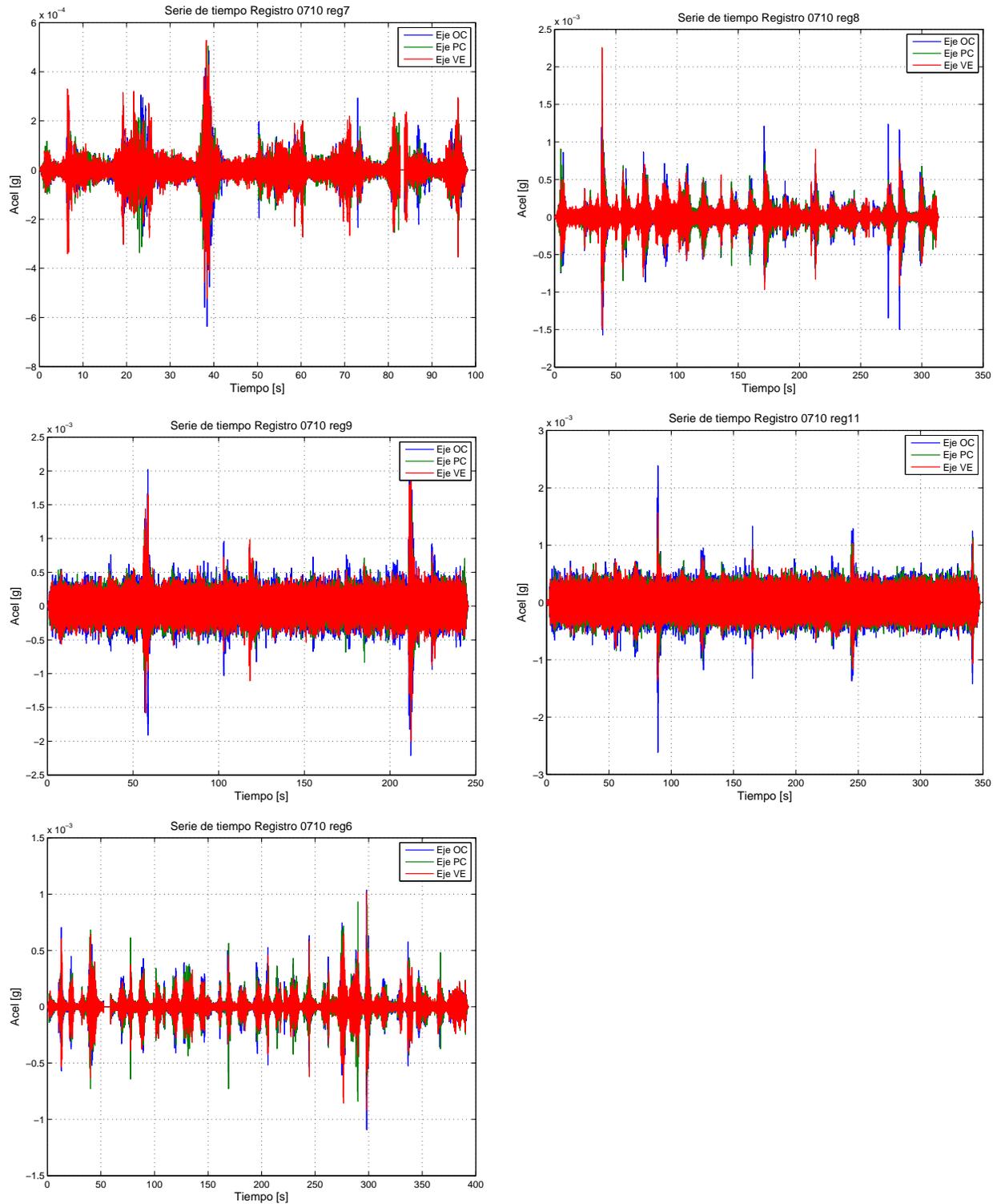


Figura A.3: Series de tiempo F0710

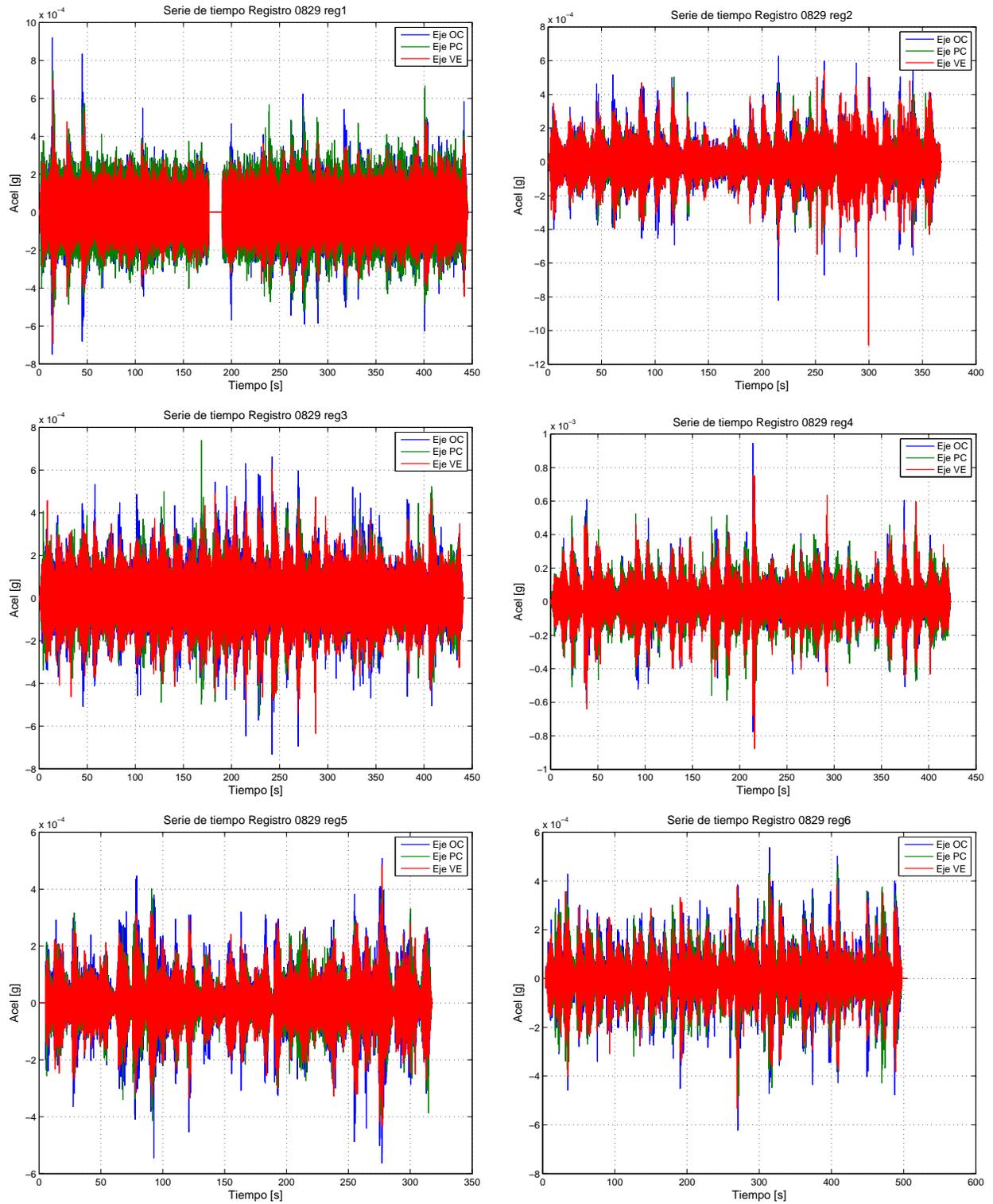


Figura A.4: Series de tiempo F0829

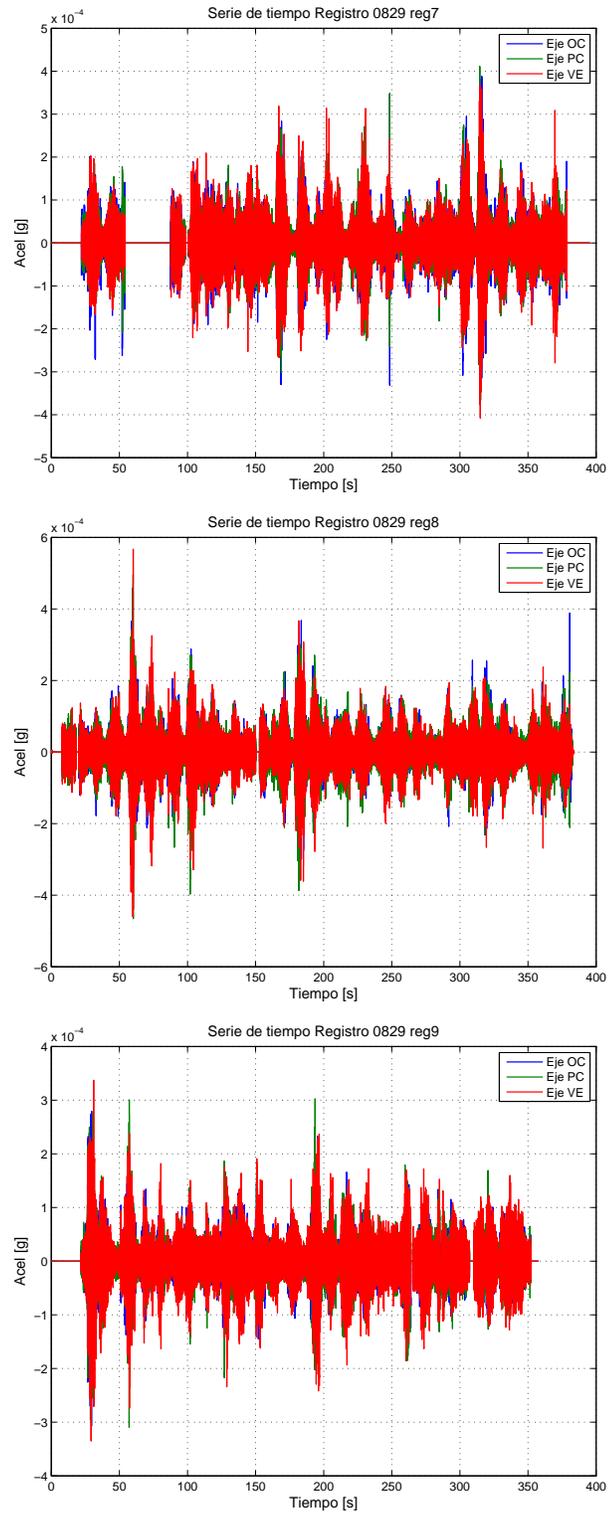


Figura A.5: Series de tiempo F0829

A.2. Transformada de Fourier

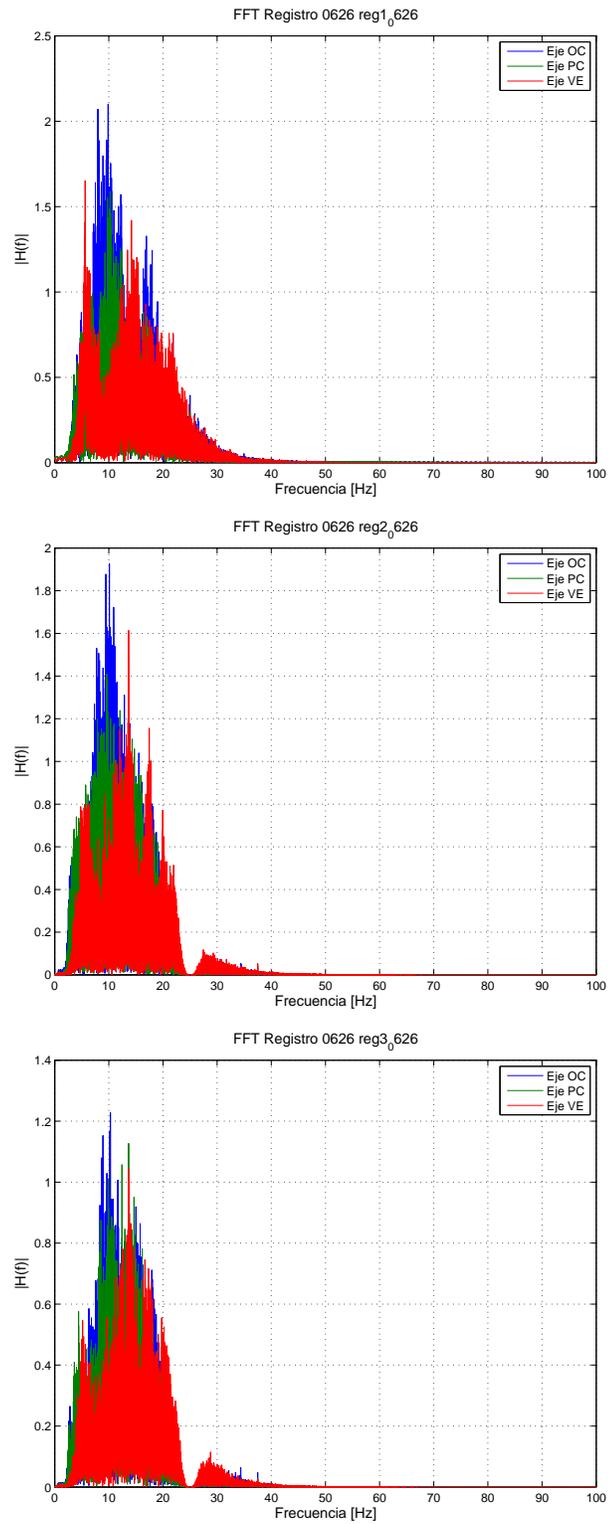


Figura A.6: Series de tiempo F0626

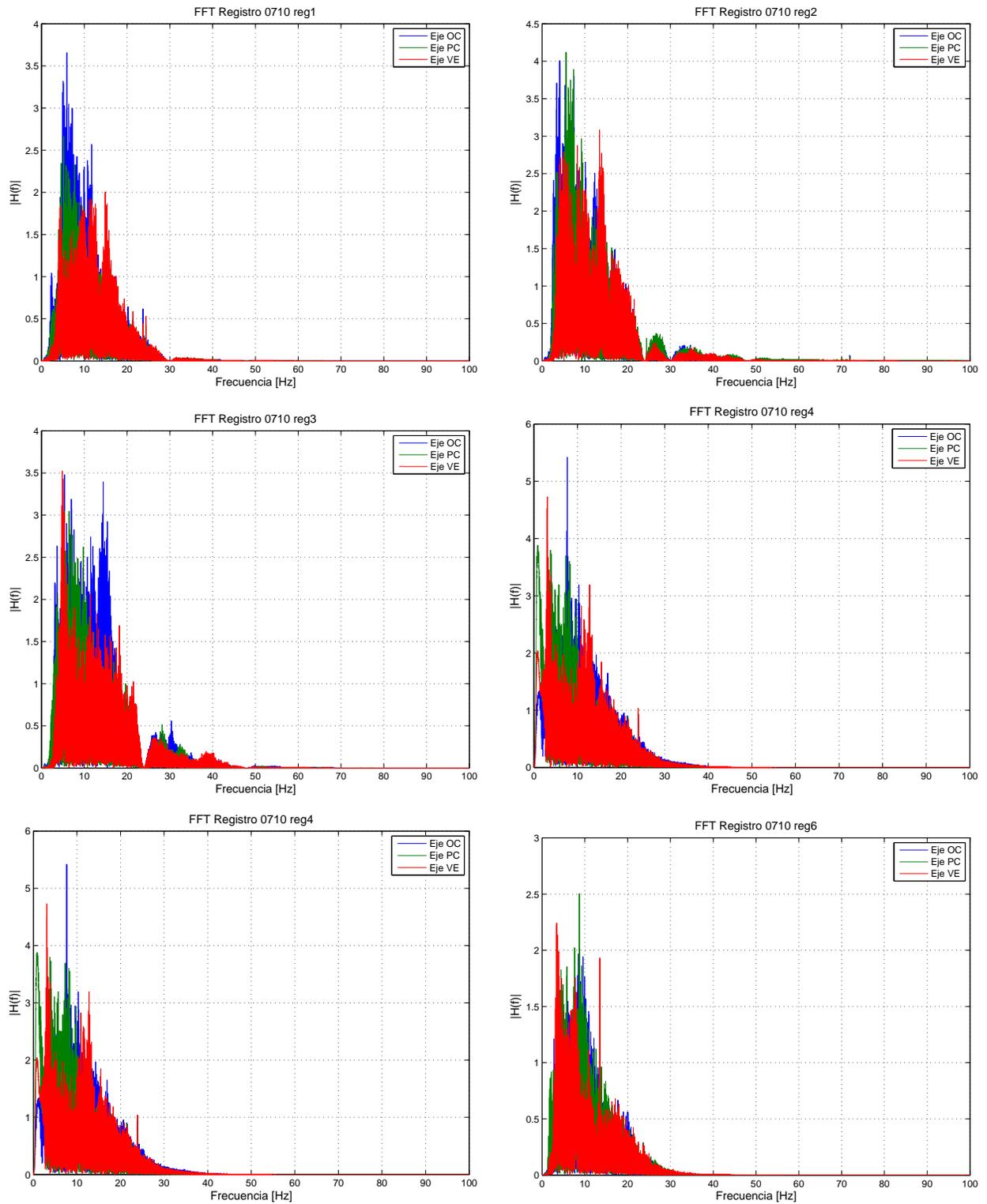


Figura A.7: Series de tiempo F0626

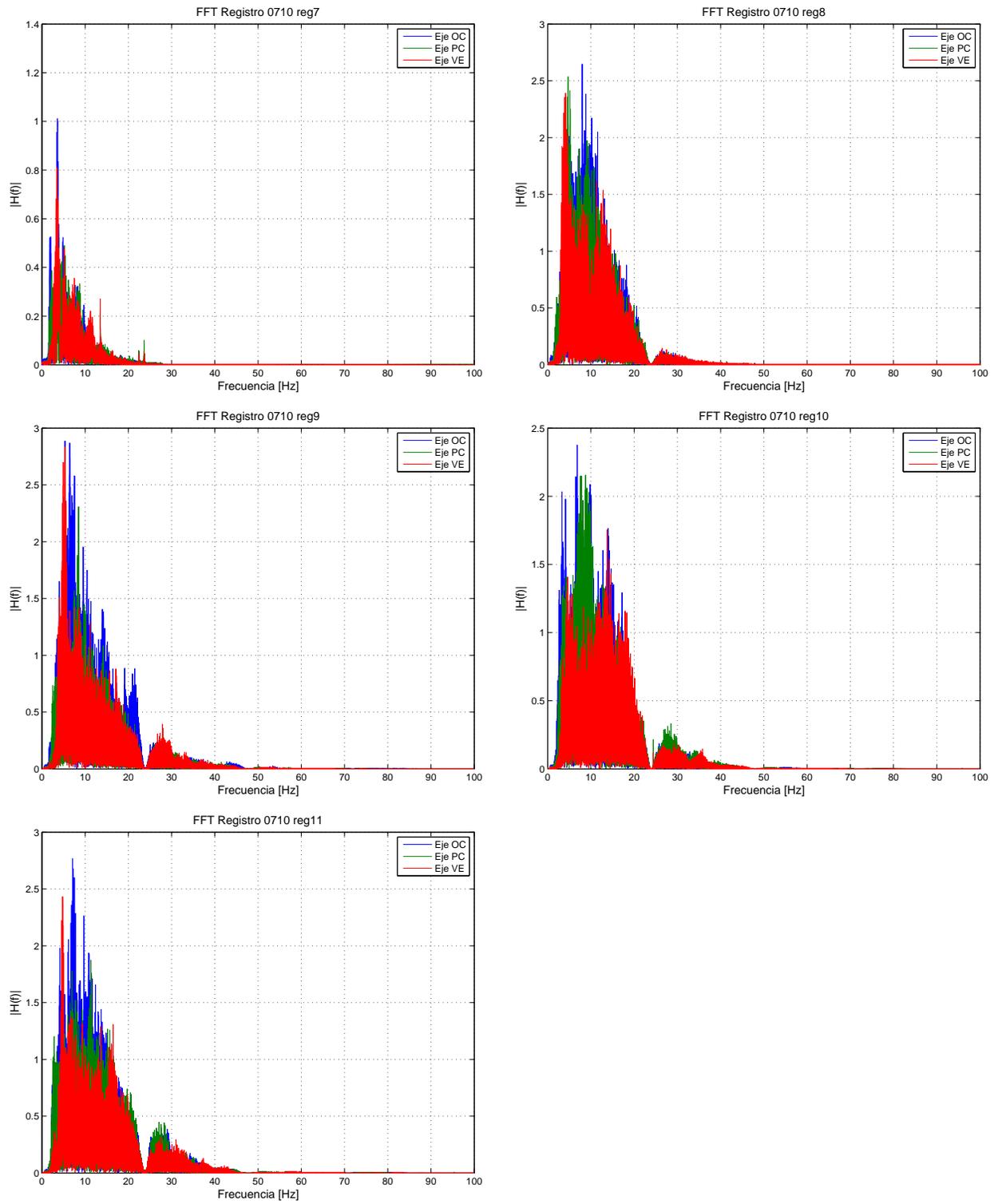


Figura A.8: Series de tiempo F0626

A.3. Espectros de potencia (PSD)

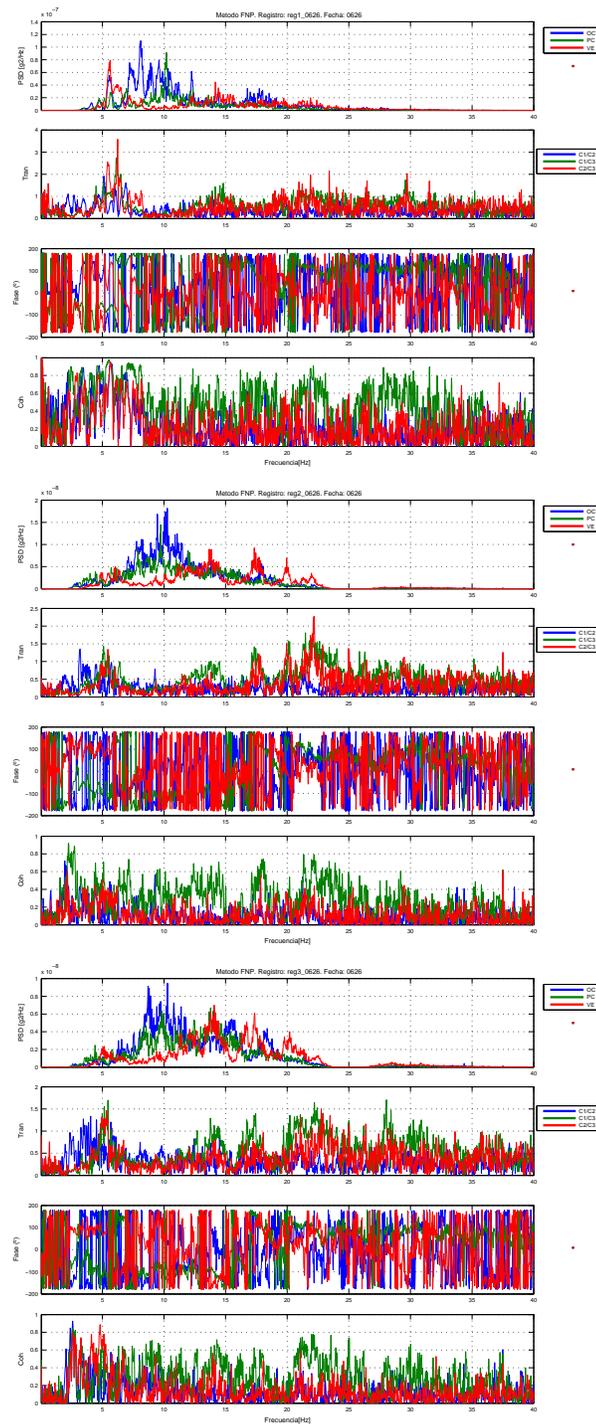


Figura A.9: Series de tiempo F0626

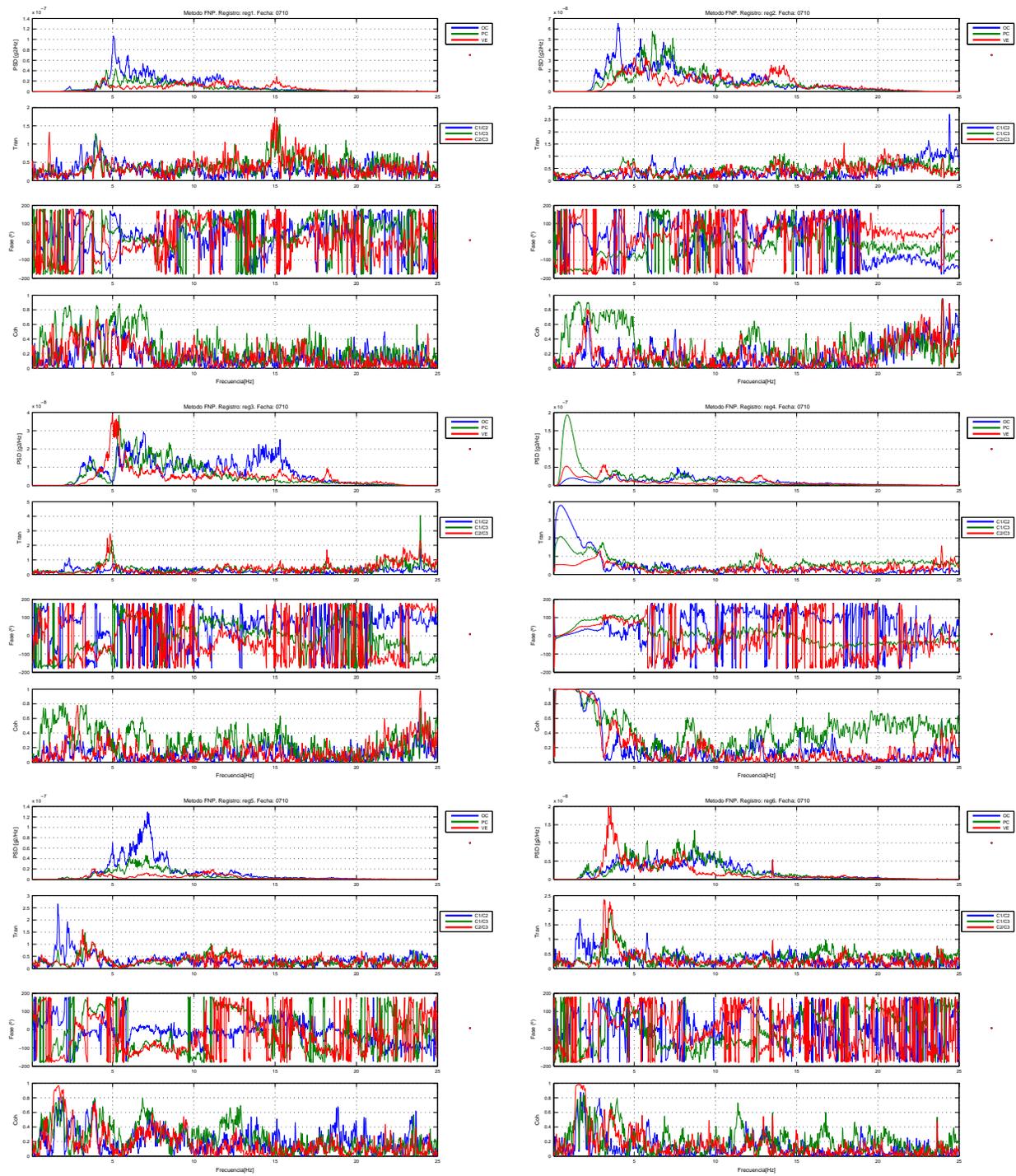


Figura A.10: Series de tiempo F0710

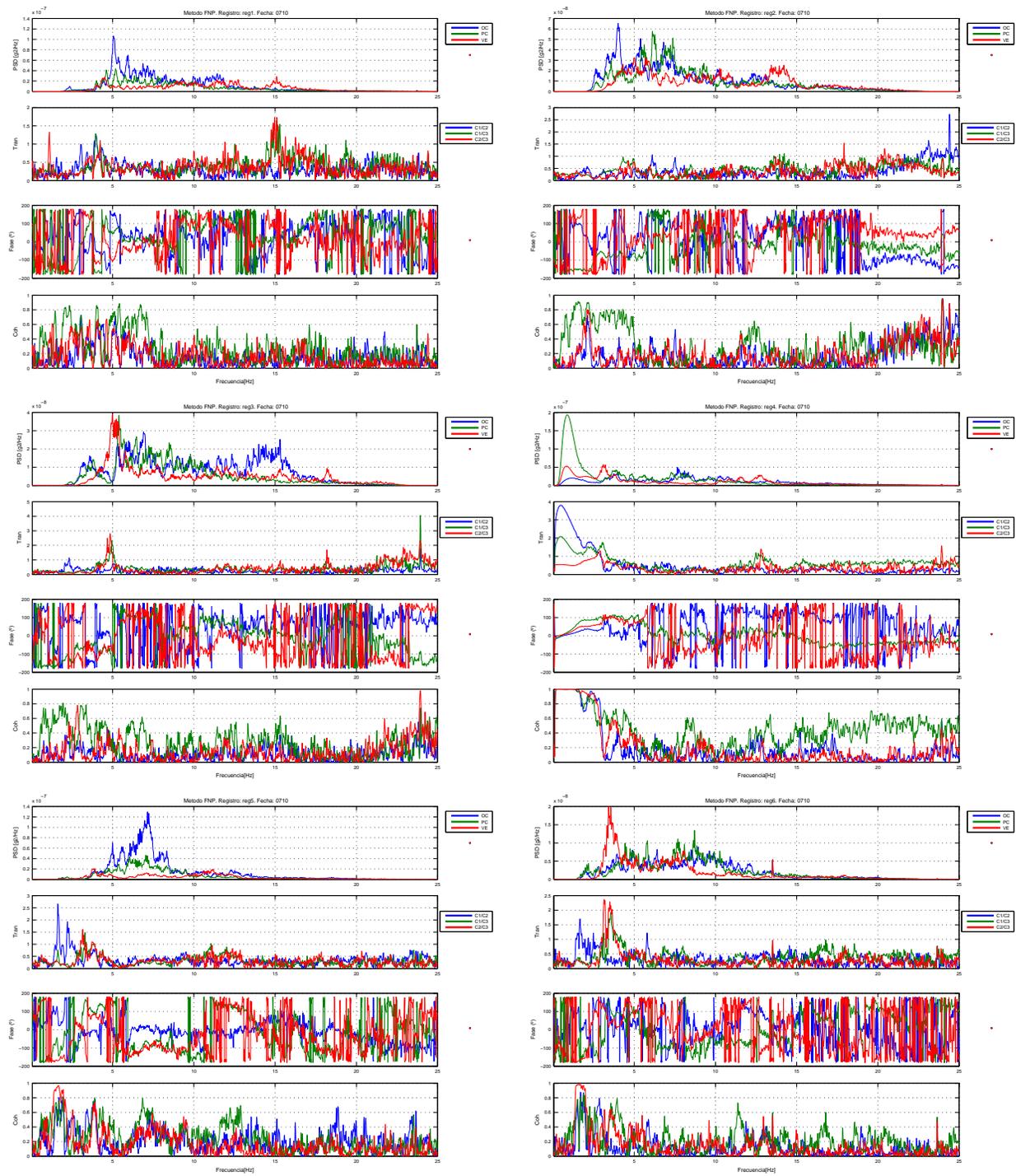


Figura A.11: Series de tiempo F0710

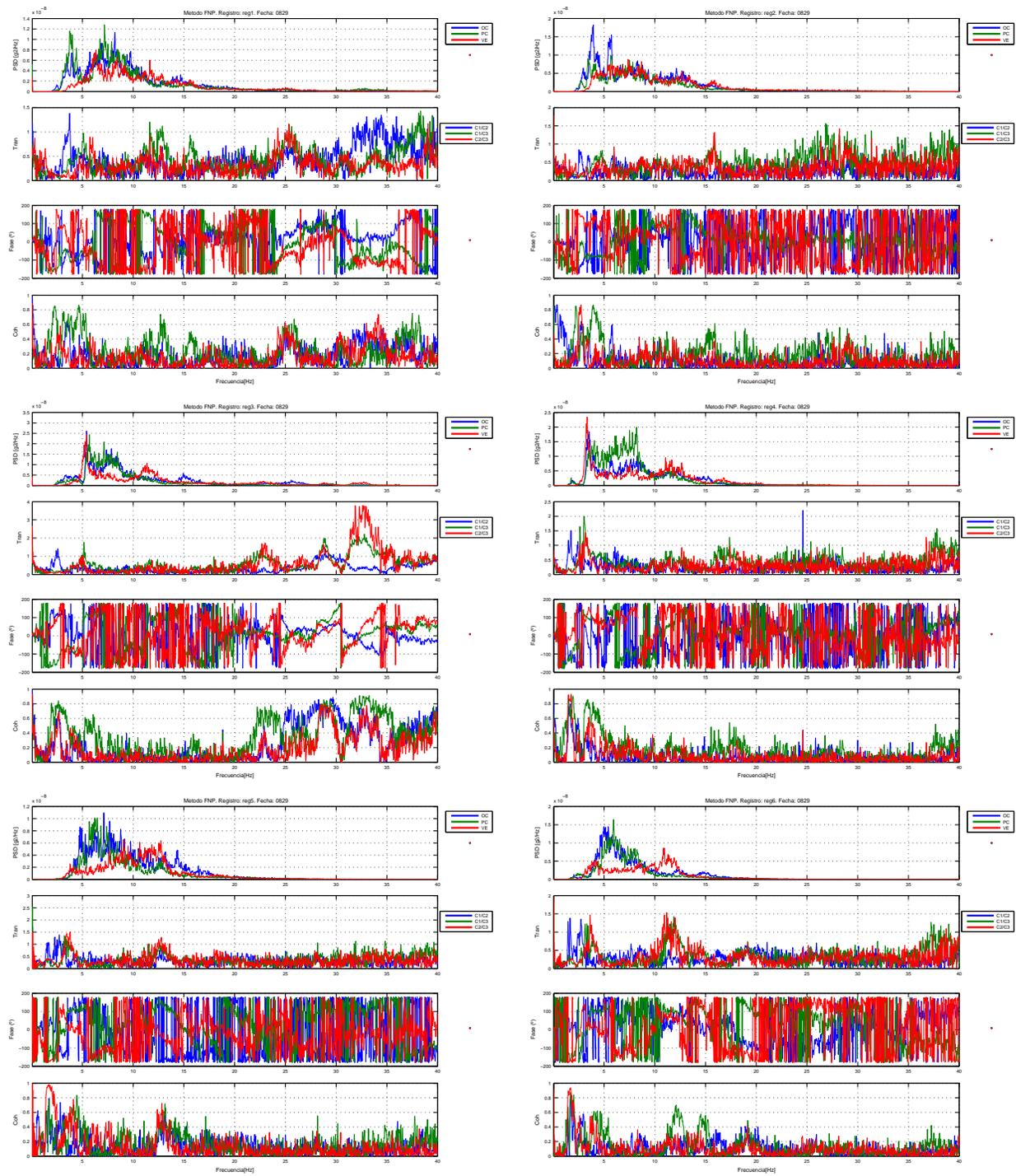


Figura A.12: Series de tiempo F0710

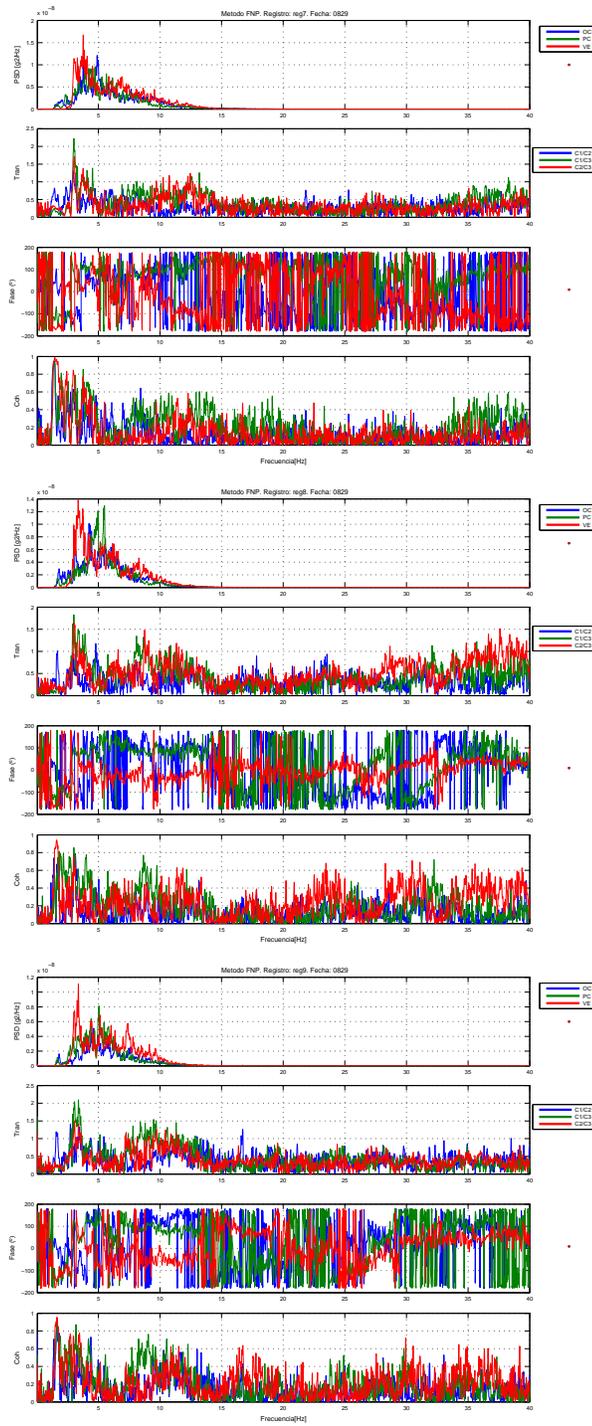


Figura A.13: Series de tiempo F0710

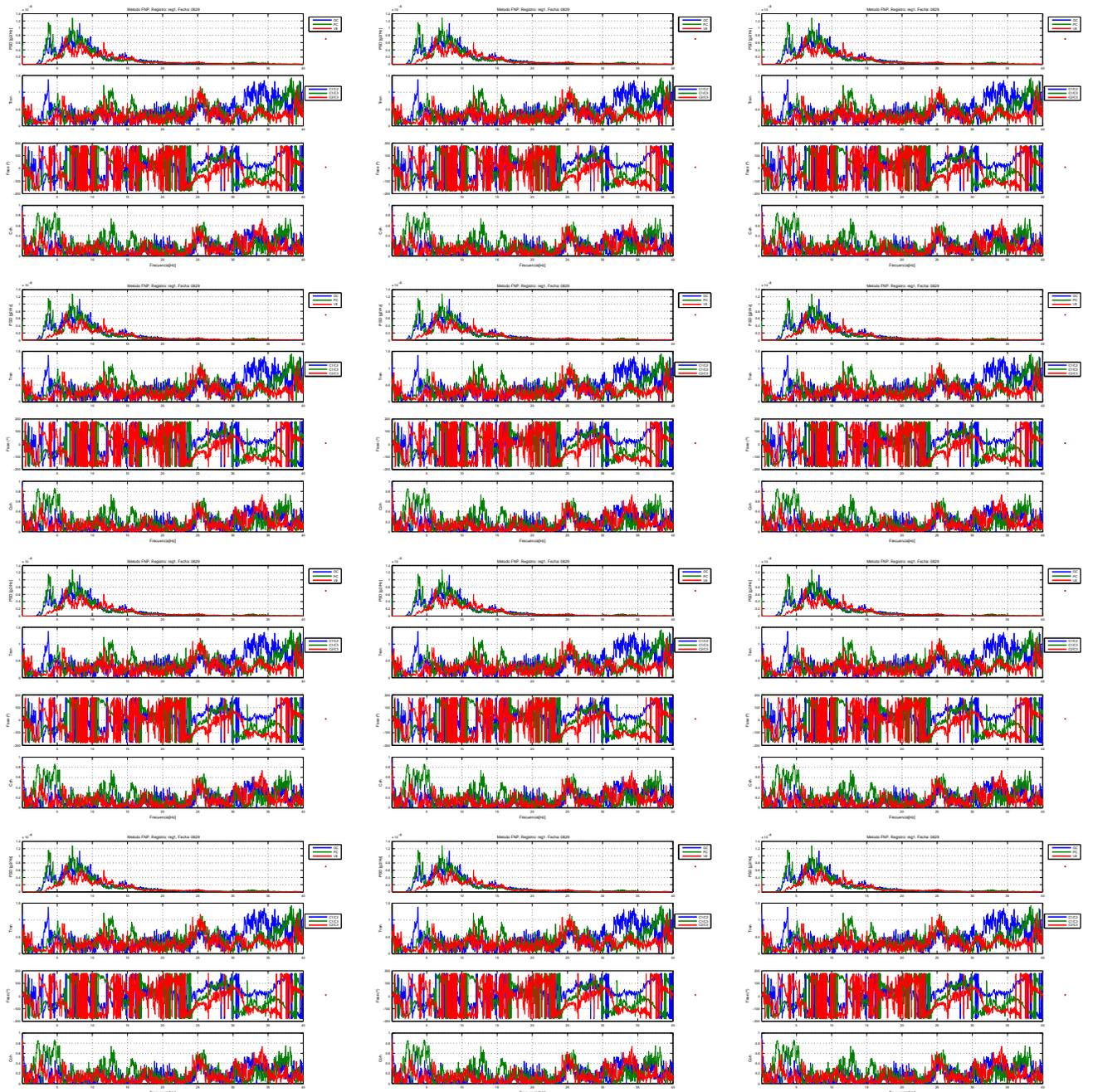


Figura A.14: Series de tiempo F0710

Apéndice B

Anexo Series de tiempo por ola F0626

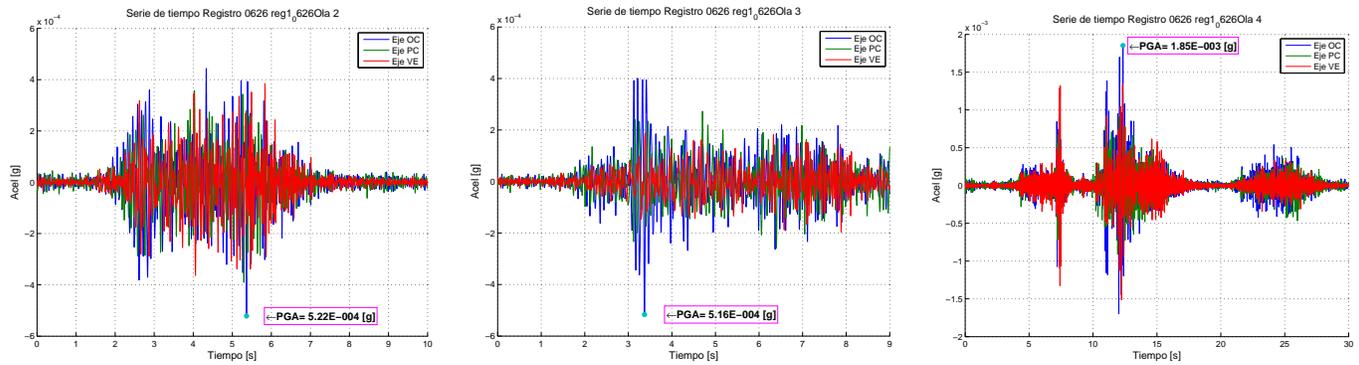


Figura B.1: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4

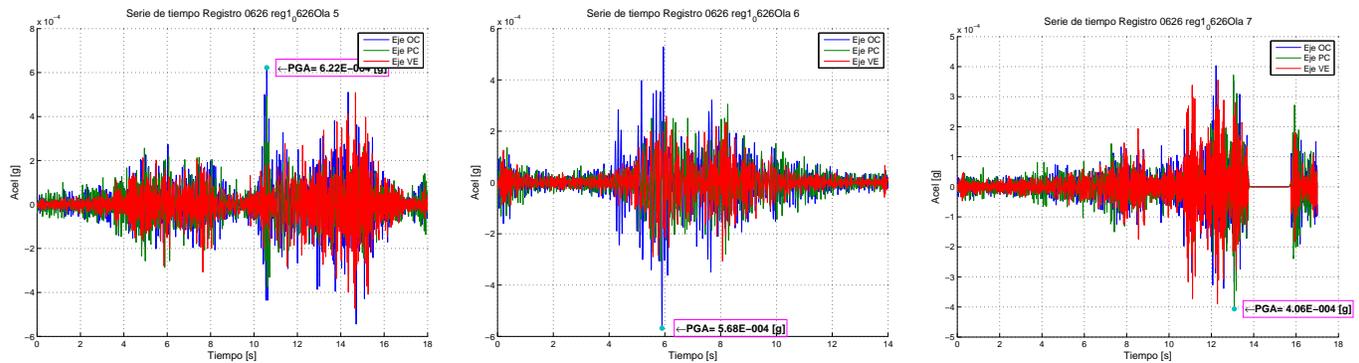


Figura B.2: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7

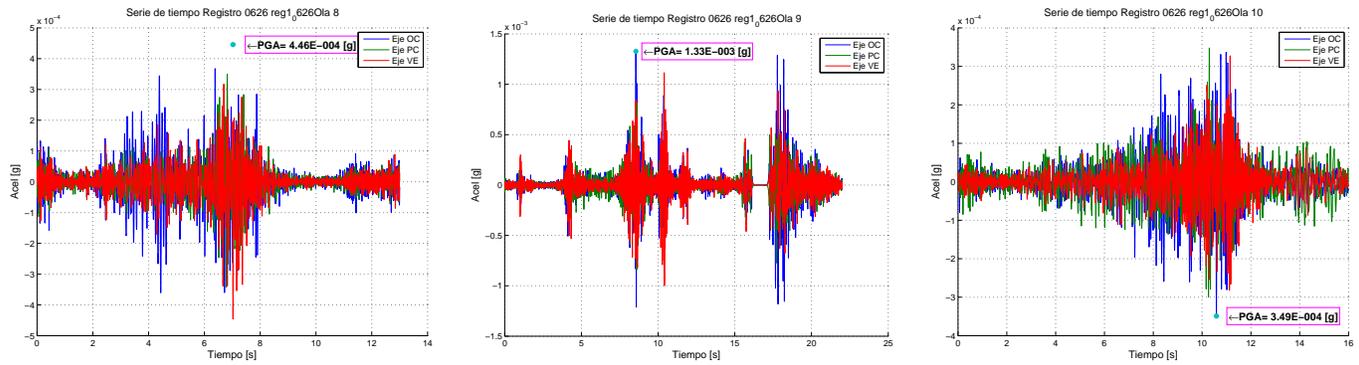


Figura B.3: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10

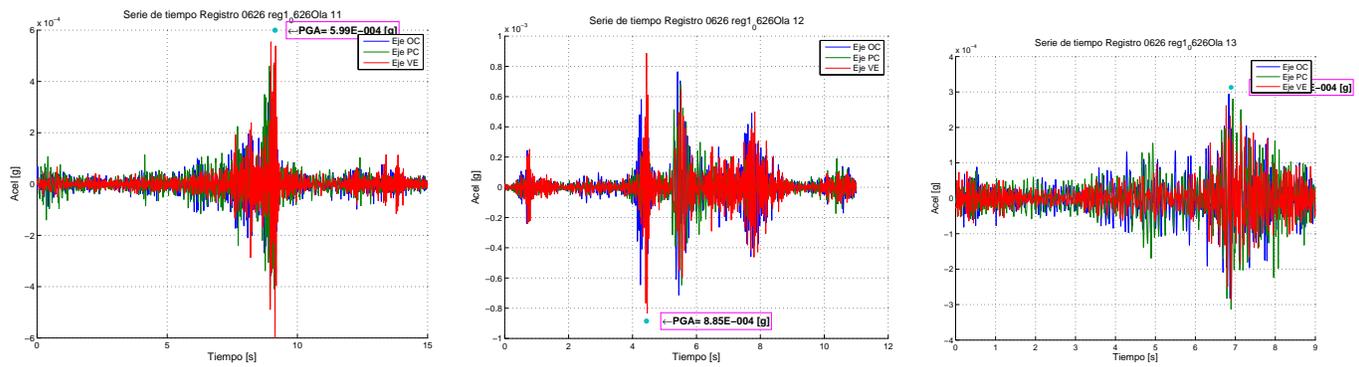


Figura B.4: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN11 a OlaN13

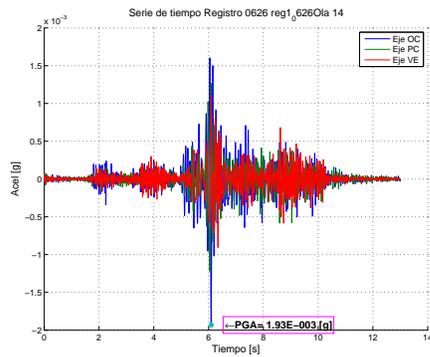


Figura B.5: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg1 OlaN14

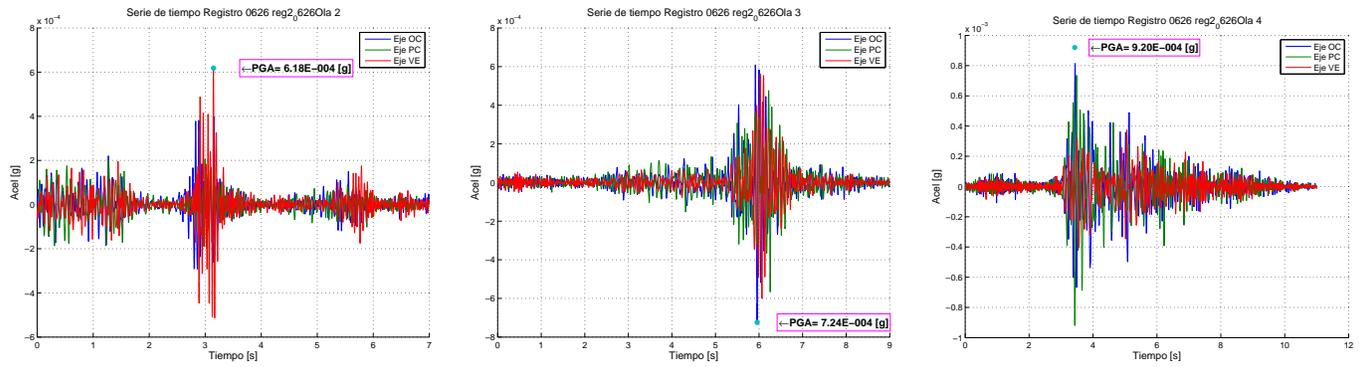


Figura B.6: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN2 a OlaN4

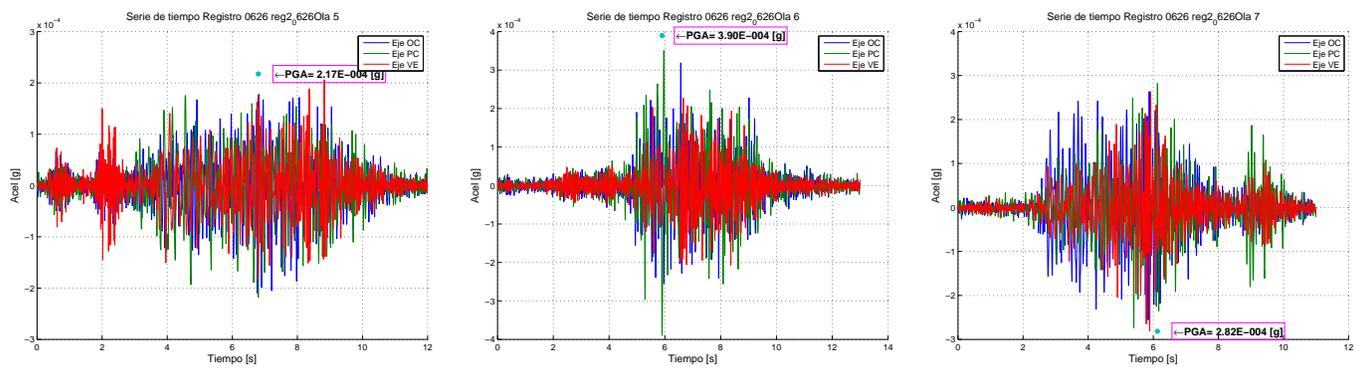


Figura B.7: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN5 a OlaN7

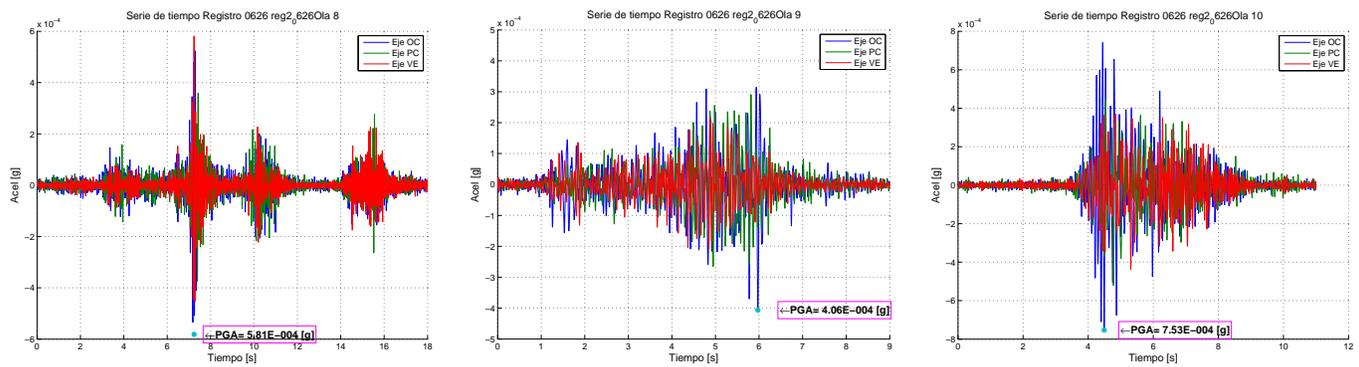


Figura B.8: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN8 a OlaN10

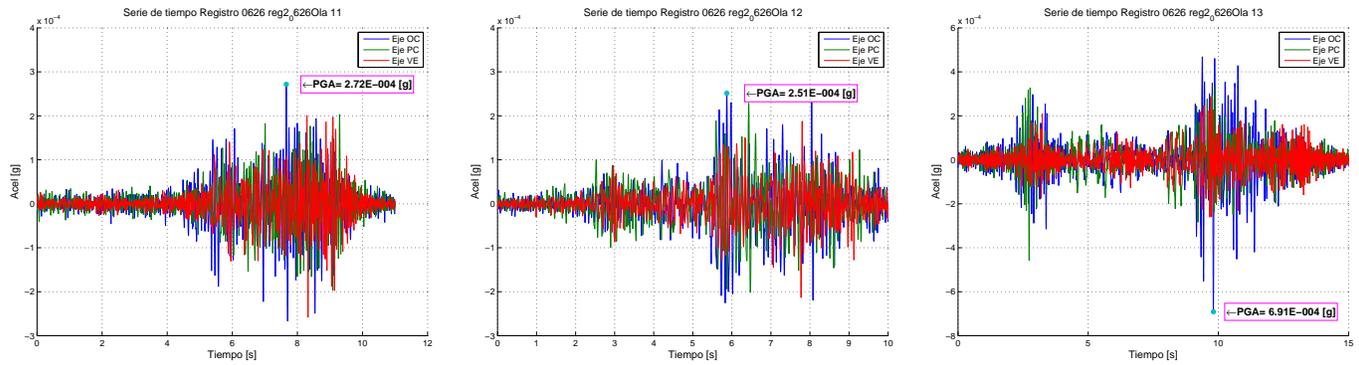


Figura B.9: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN11 a OlaN13

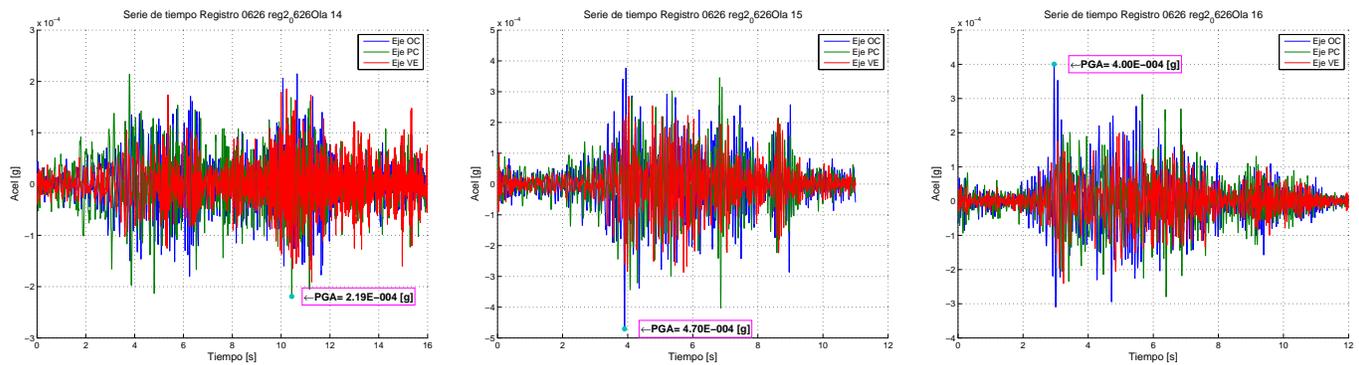


Figura B.10: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN14 a OlaN16

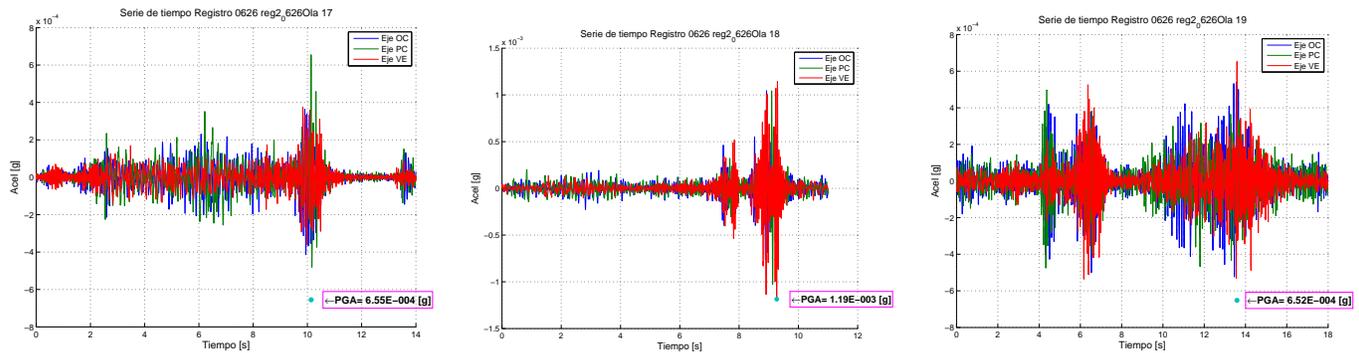


Figura B.11: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN17 a OlaN19

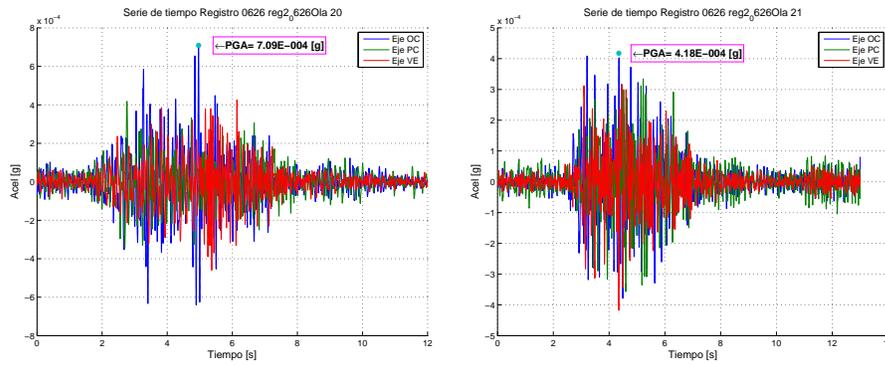


Figura B.12: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN20 a OlaN21

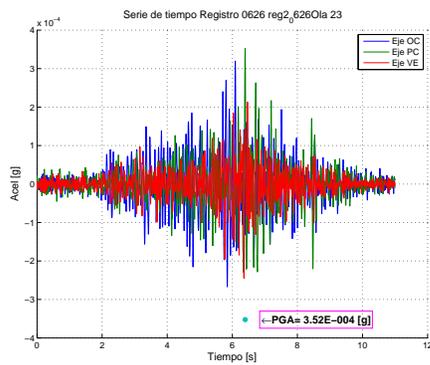


Figura B.13: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg2 OlaN23

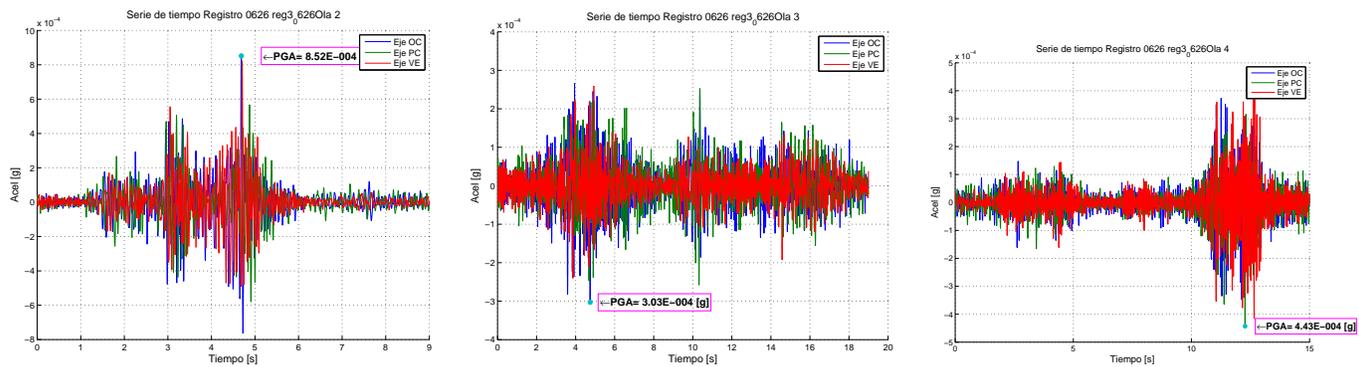


Figura B.14: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4

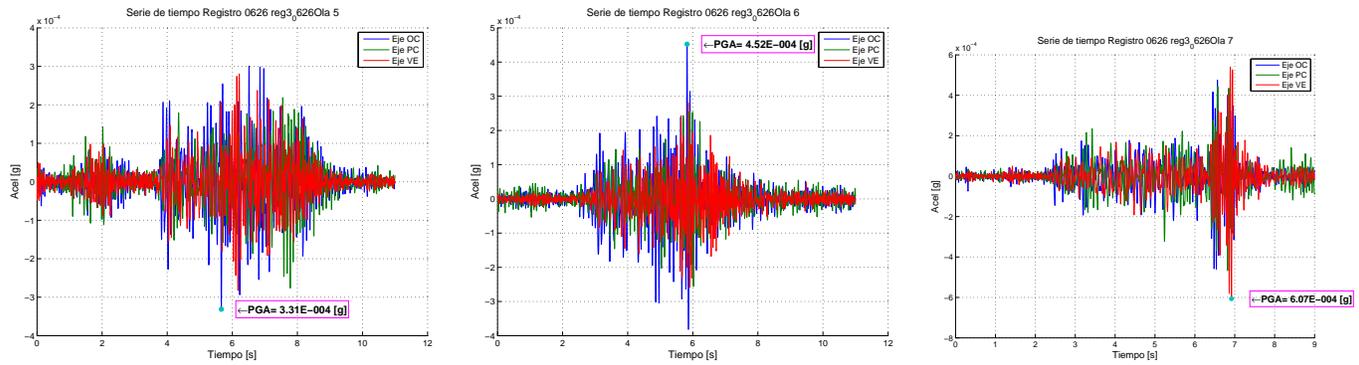


Figura B.15: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7

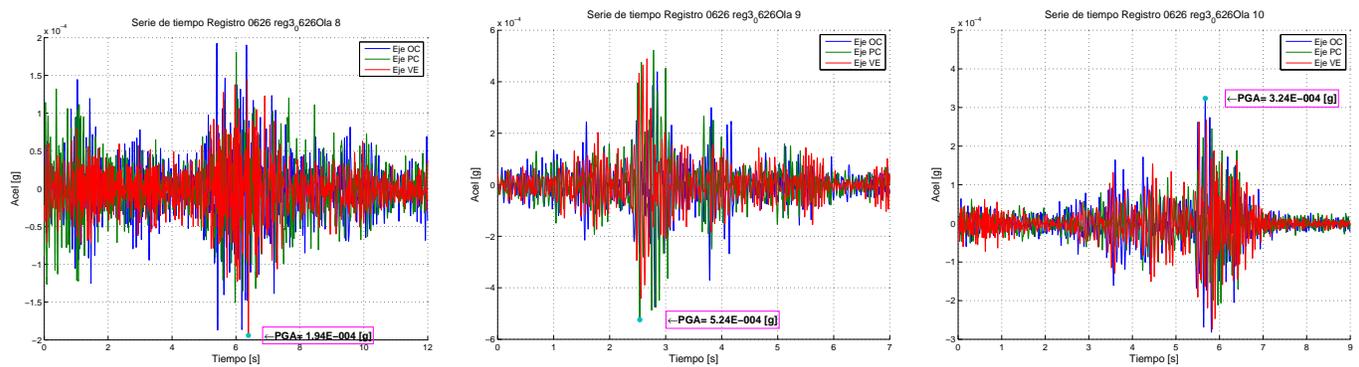


Figura B.16: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10

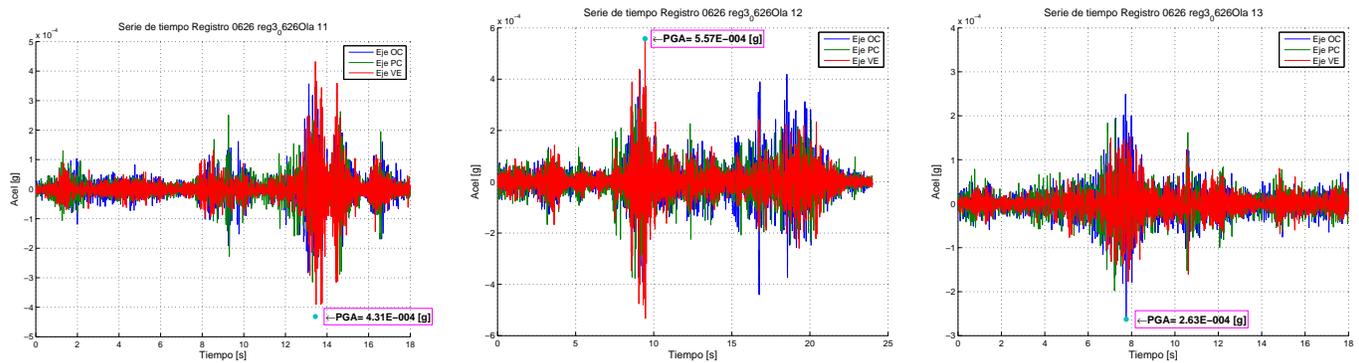


Figura B.17: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13

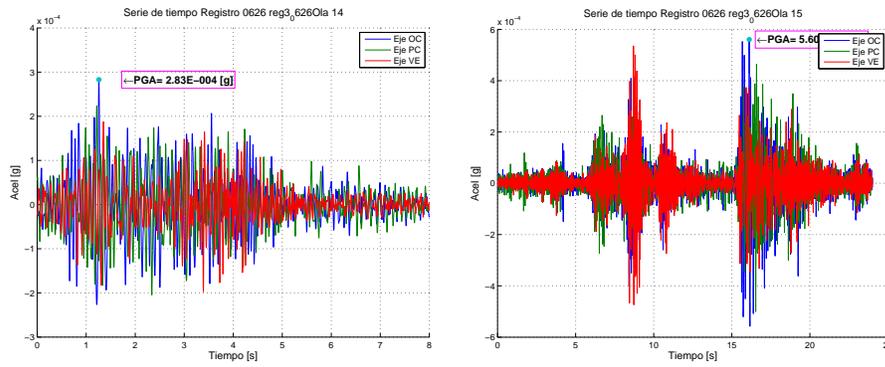


Figura B.18: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN14 a OlaN15

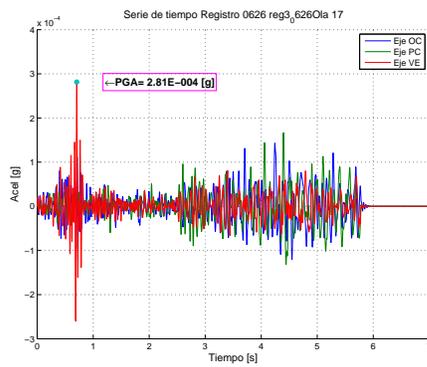


Figura B.19: Series de tiempo de olas F0626 Registro reg3 OlaN17

Apéndice C

Anexo Series de tiempo por ola F0710

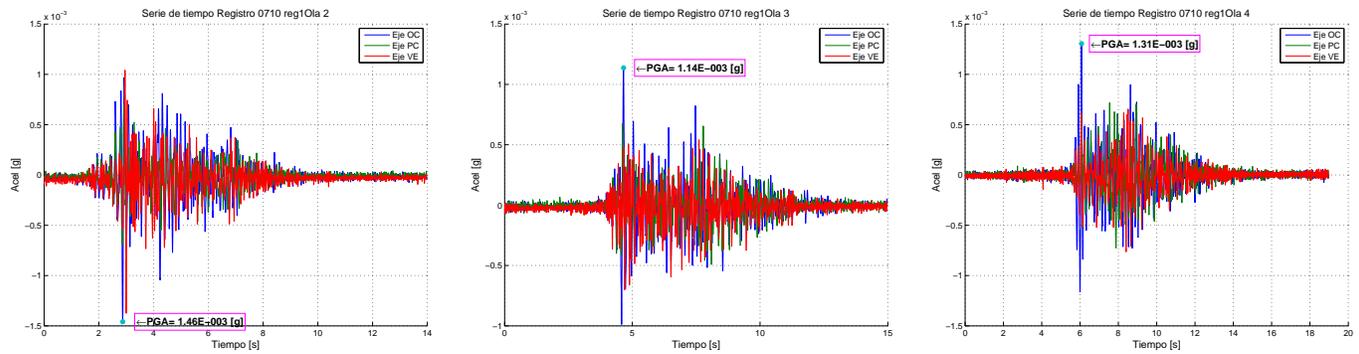


Figura C.1: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4

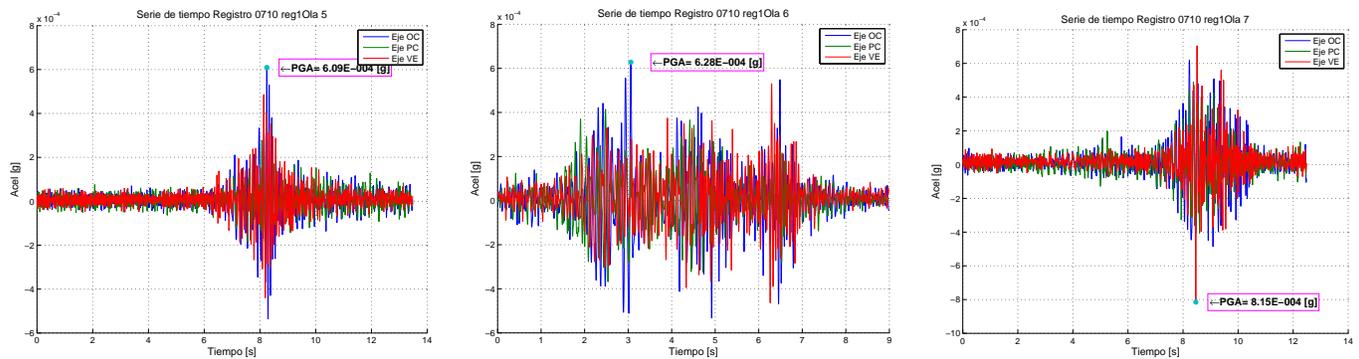


Figura C.2: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7

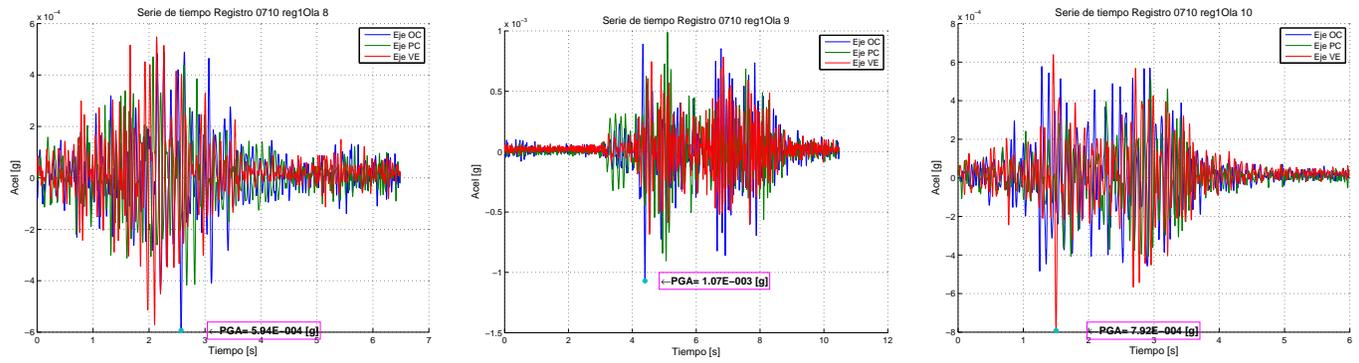


Figura C.3: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10

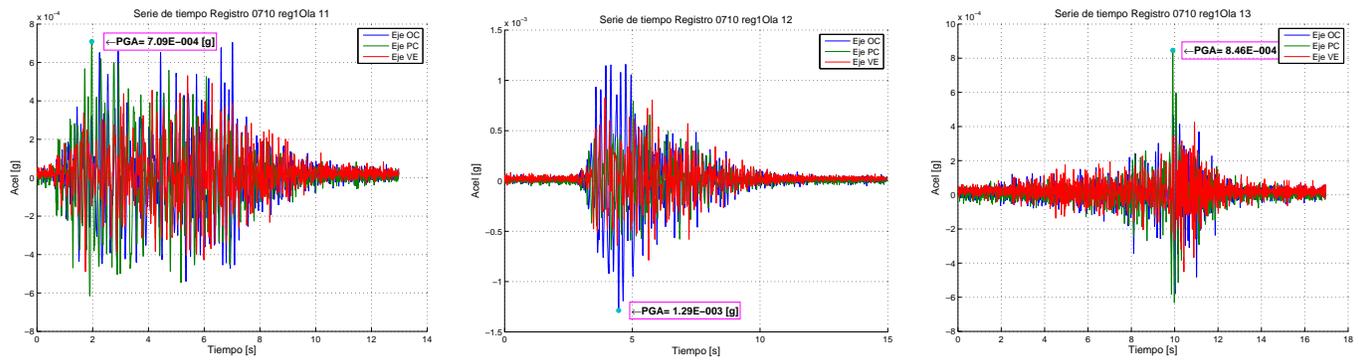


Figura C.4: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN11 a OlaN13

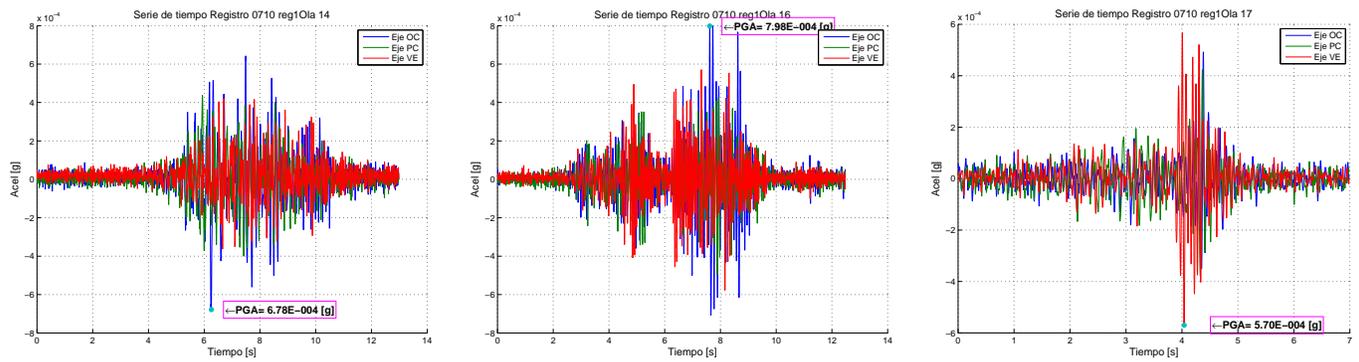


Figura C.5: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN14 a OlaN17

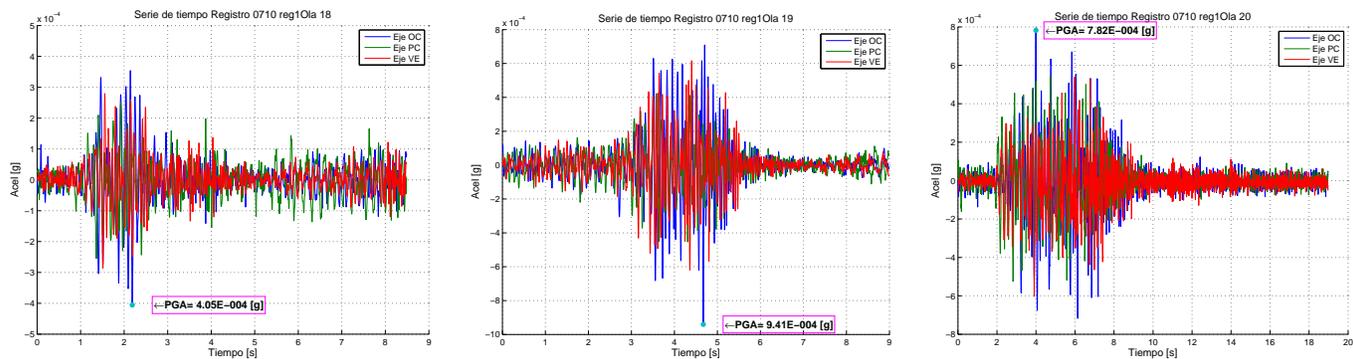


Figura C.6: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN18 a OlaN20

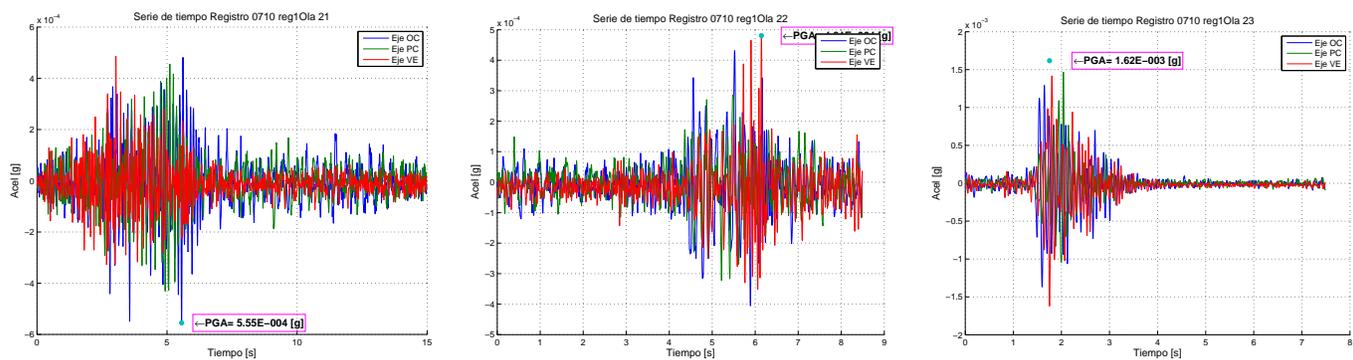


Figura C.7: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN21 a OlaN23

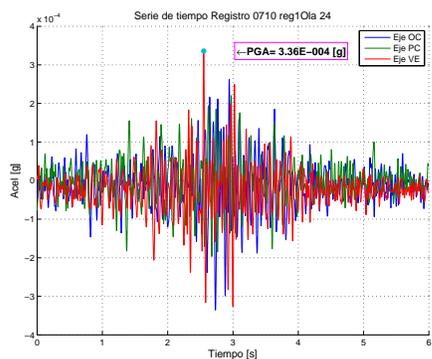


Figura C.8: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg1 OlaN24

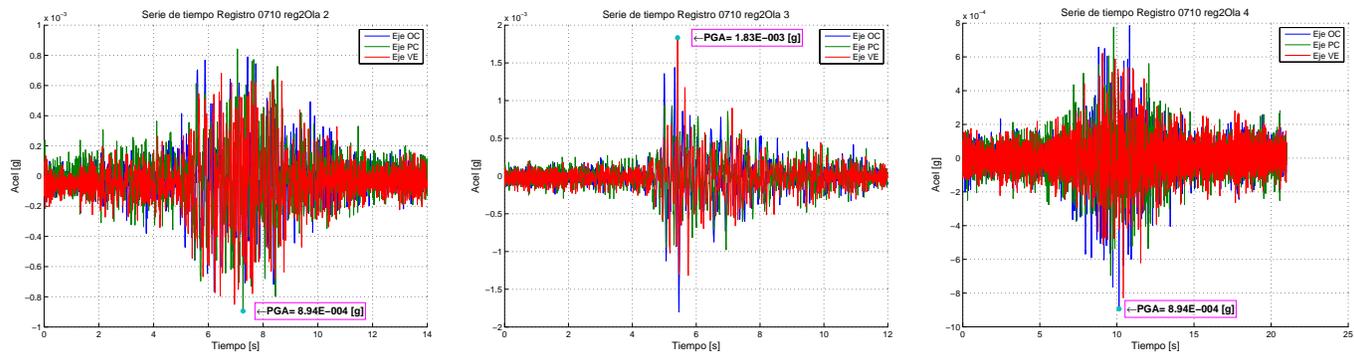


Figura C.9: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN2 a OlaN4

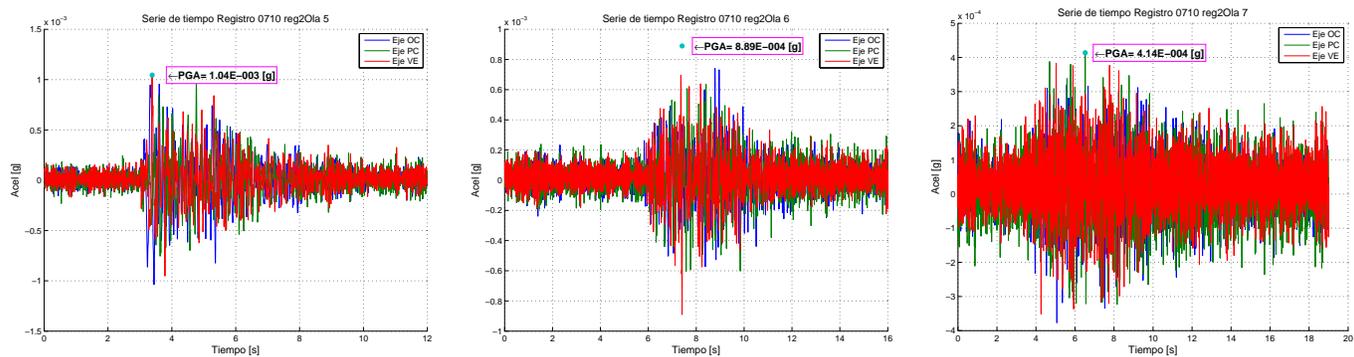


Figura C.10: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN5 a OlaN7

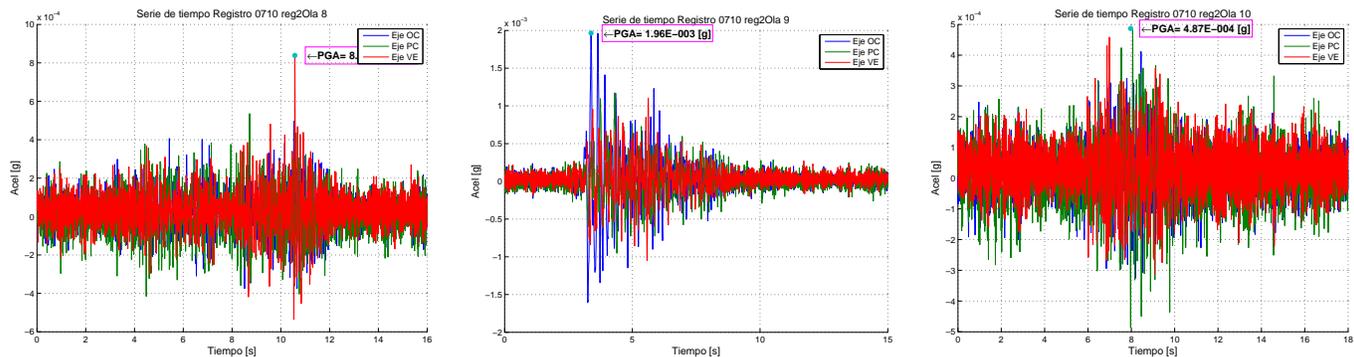


Figura C.11: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN8 a OlaN10

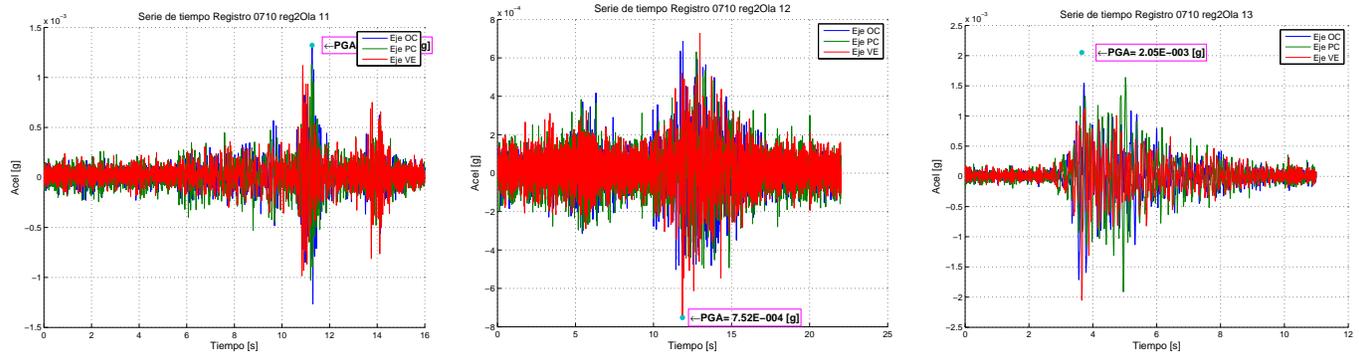


Figura C.12: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN11 a OlaN13

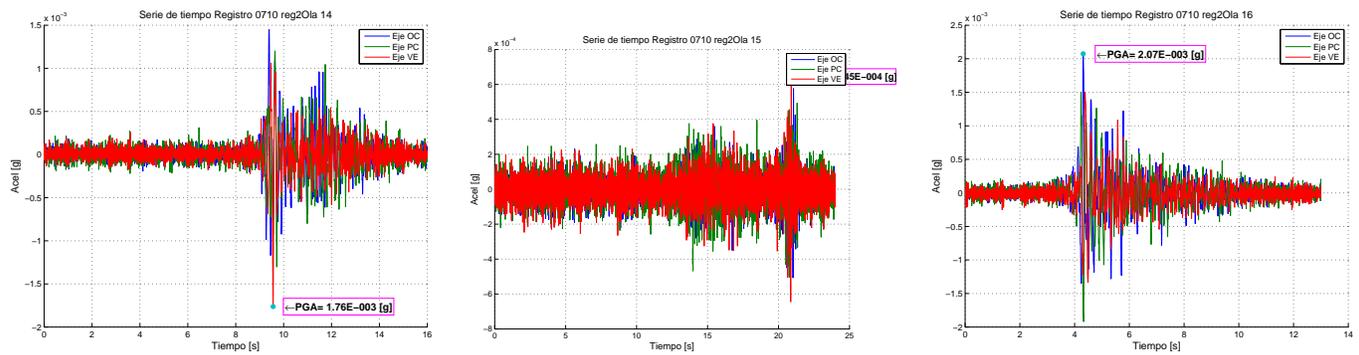


Figura C.13: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN14 a OlaN16

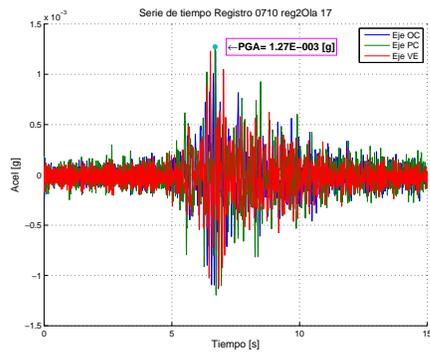


Figura C.14: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg2 OlaN17

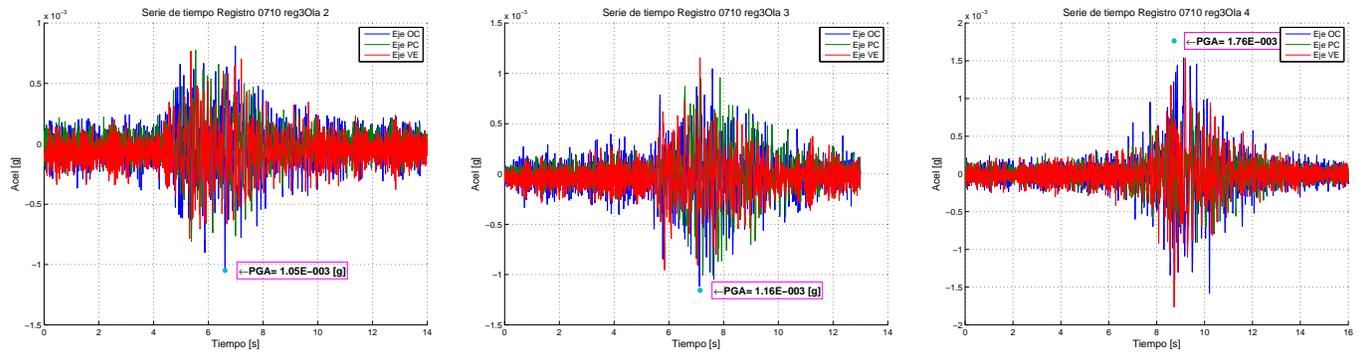


Figura C.15: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4

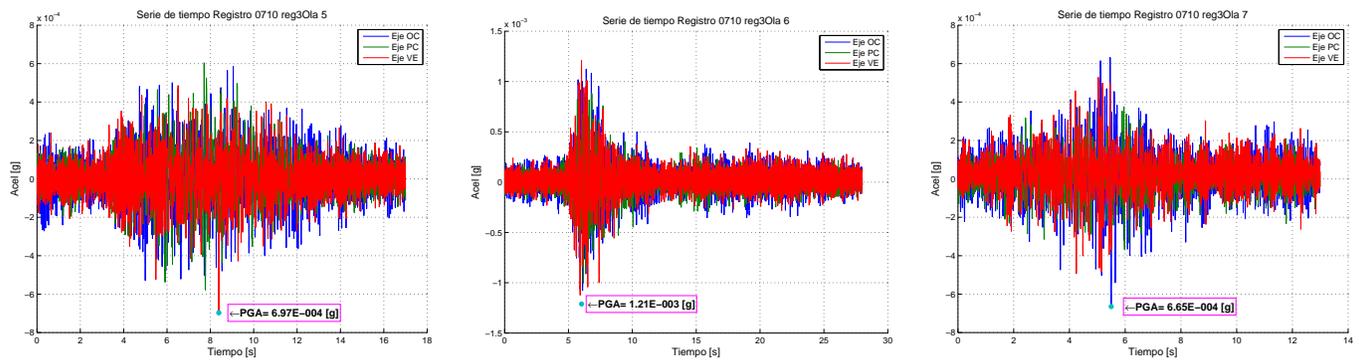


Figura C.16: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7

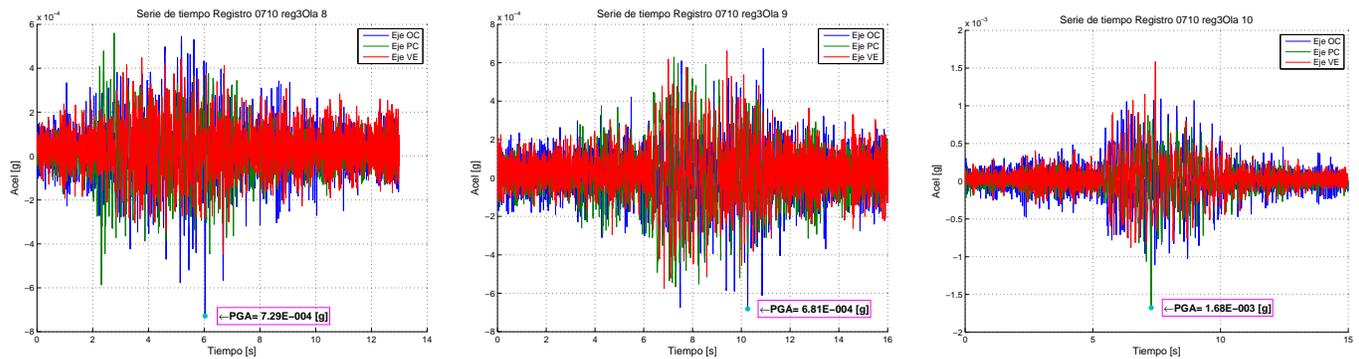


Figura C.17: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10

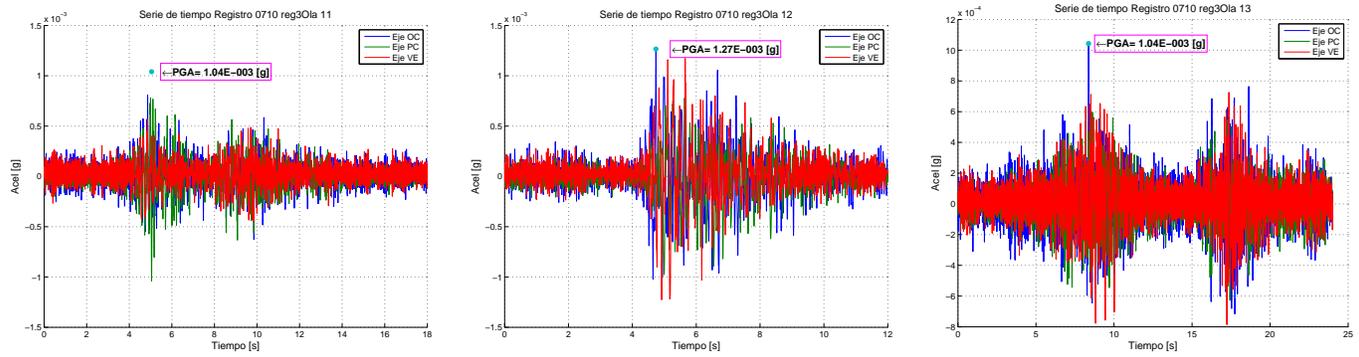


Figura C.18: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13

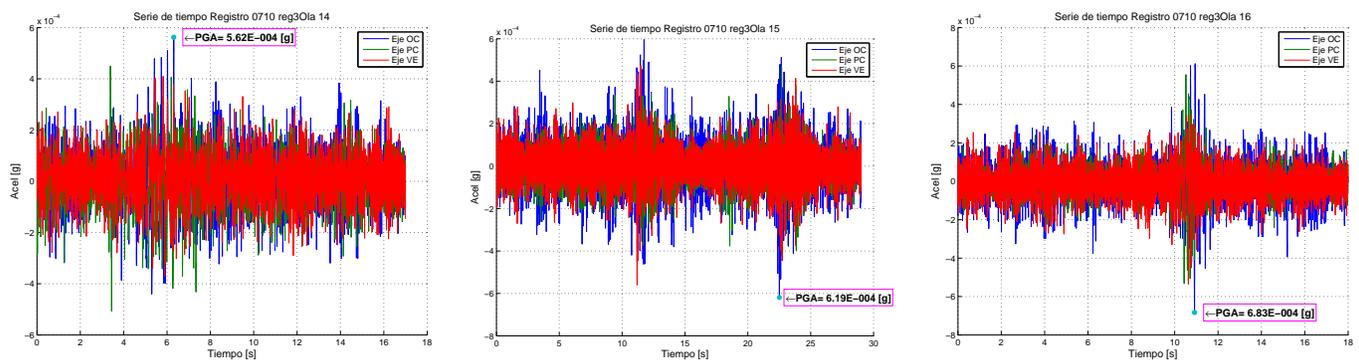


Figura C.19: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN14 a OlaN16

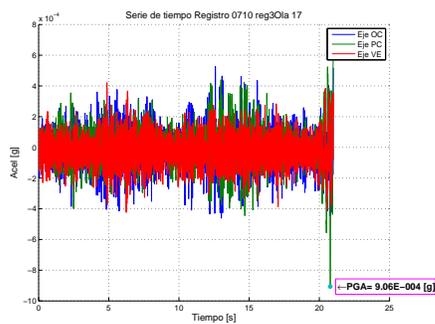


Figura C.20: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg3 OlaN17

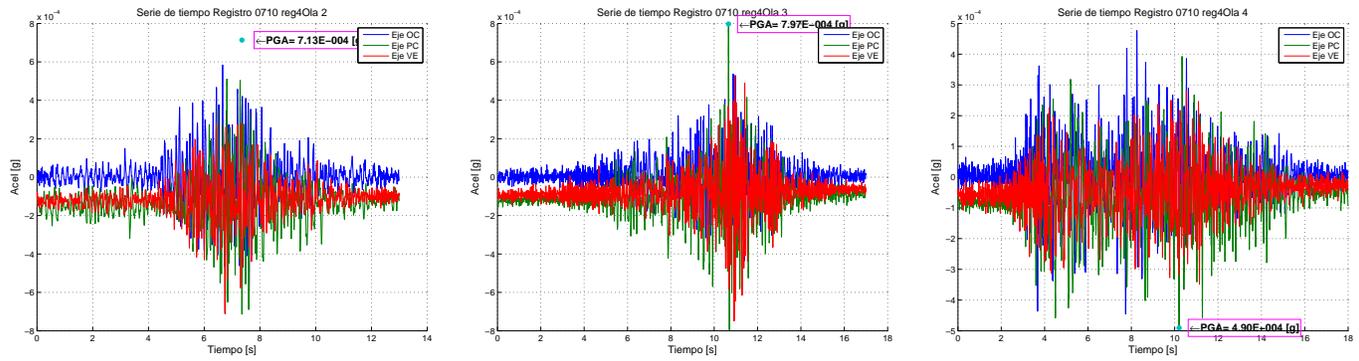


Figura C.21: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN2 a OlaN4

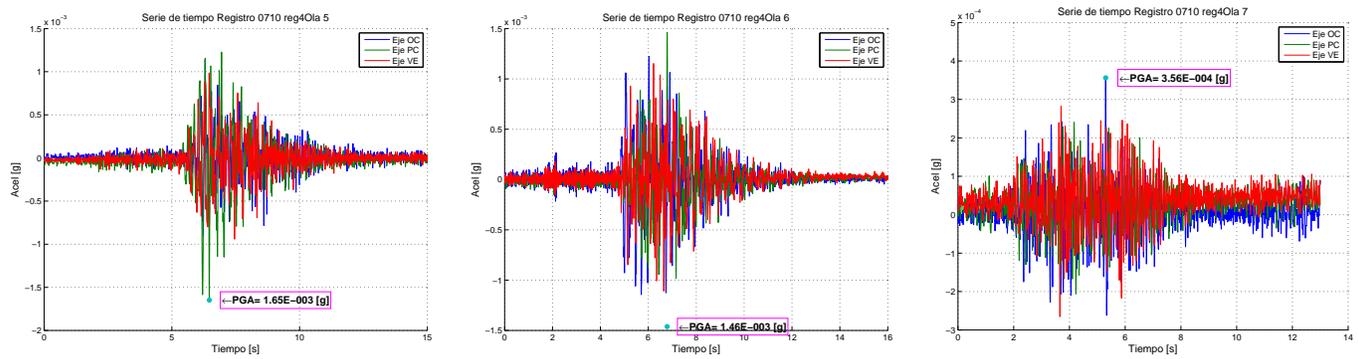


Figura C.22: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN5 a OlaN7

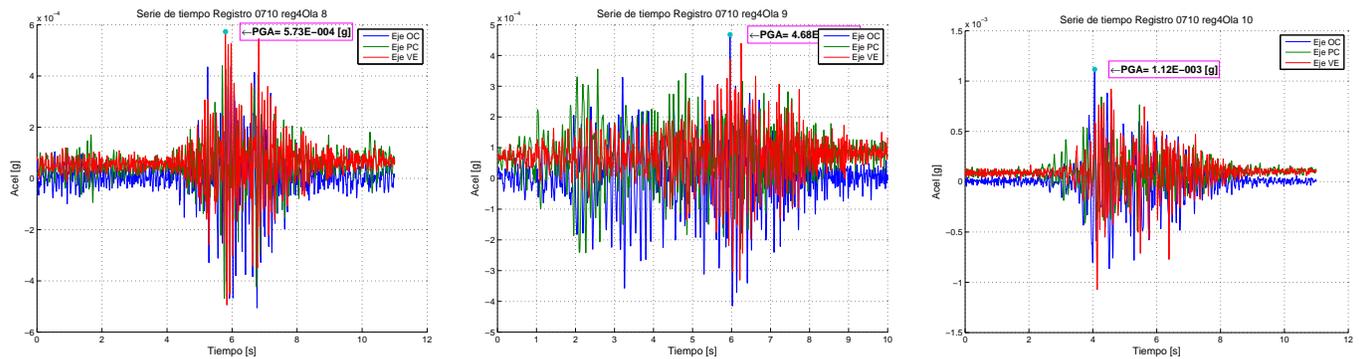


Figura C.23: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN8 a OlaN10

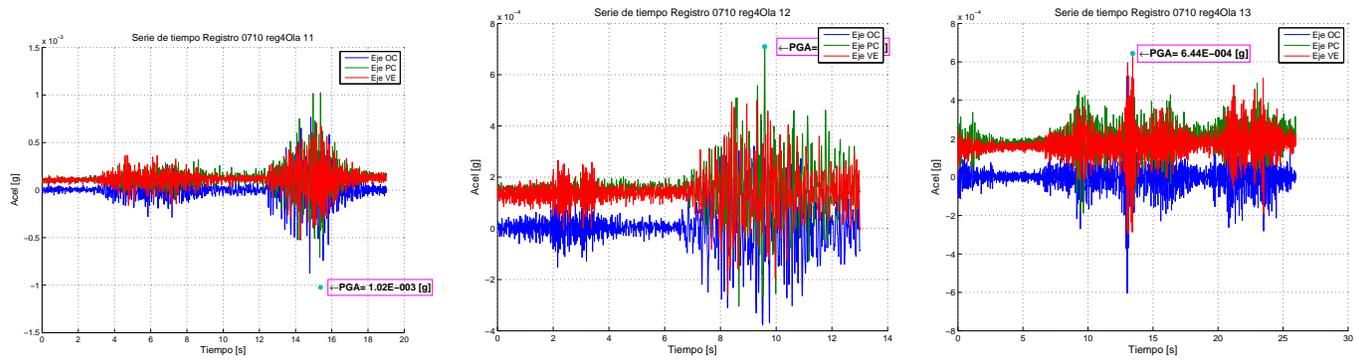


Figura C.24: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN11 a OlaN13

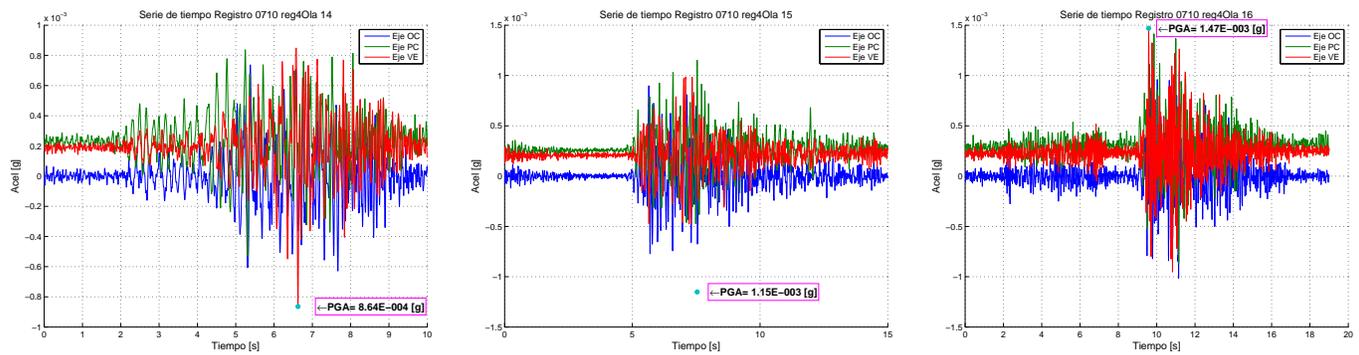


Figura C.25: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN14 a OlaN16

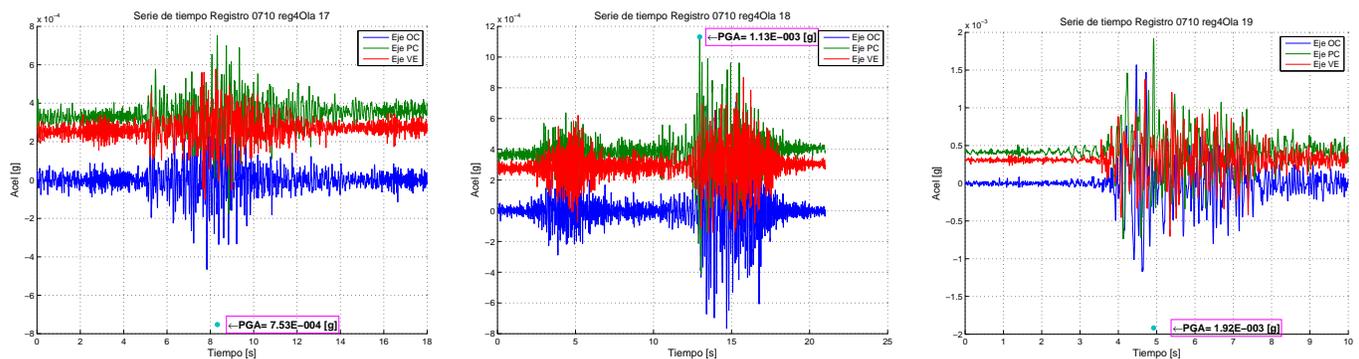


Figura C.26: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN17 a OlaN19

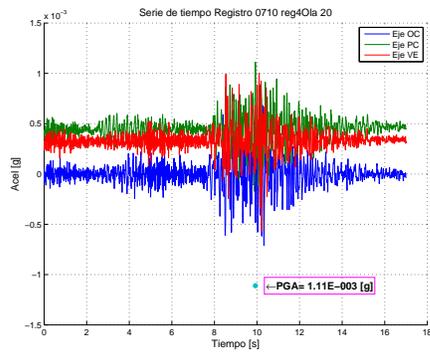


Figura C.27: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg4 OlaN20

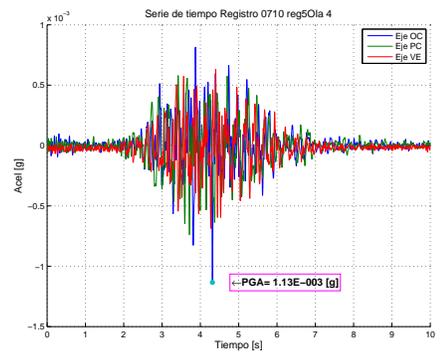
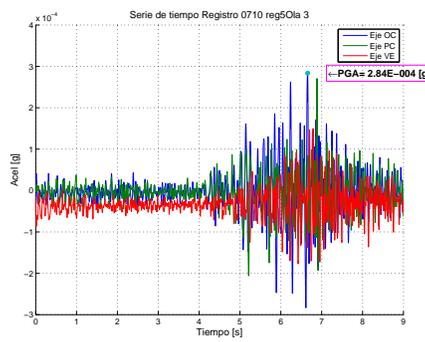
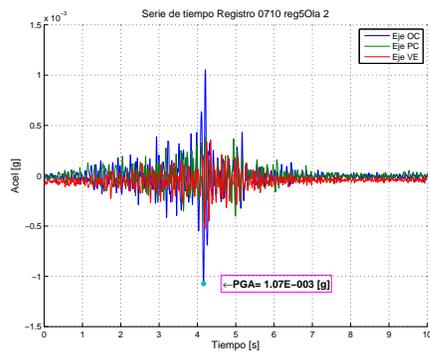


Figura C.28: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN2 a OlaN4

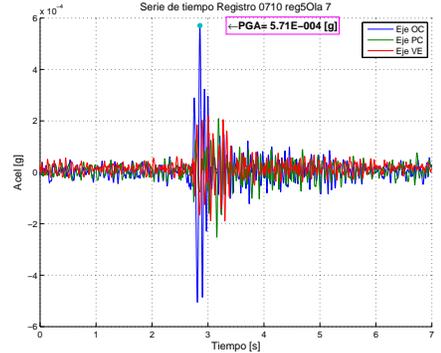
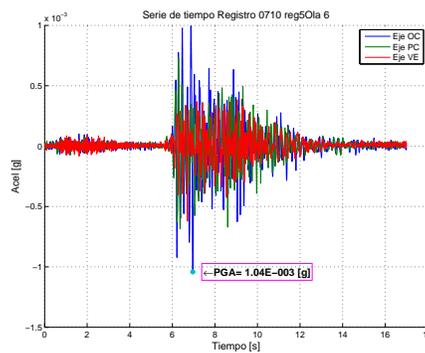
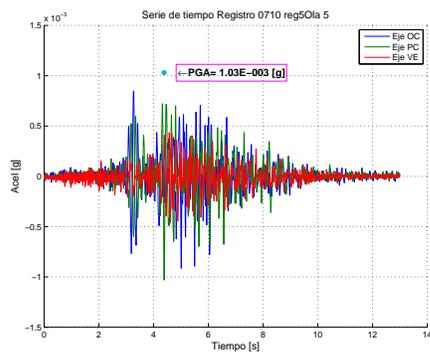


Figura C.29: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN5 a OlaN7

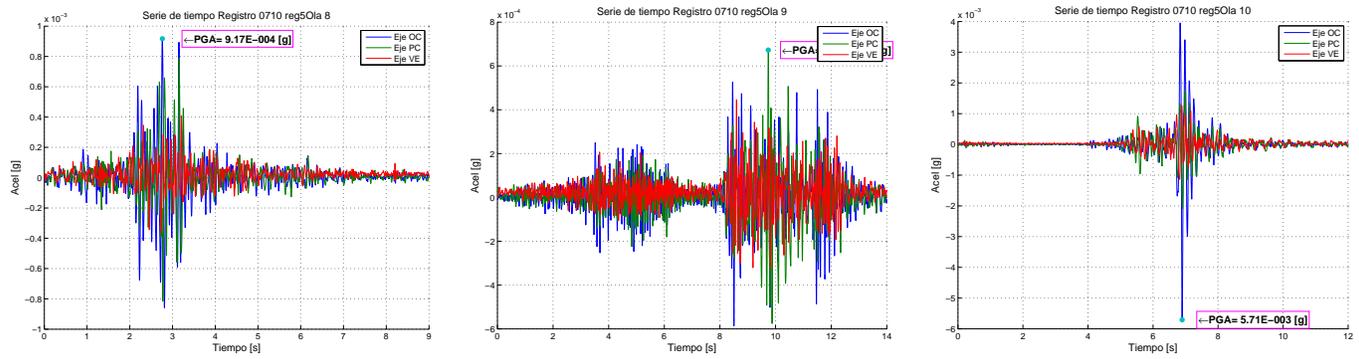


Figura C.30: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN8 a OlaN10

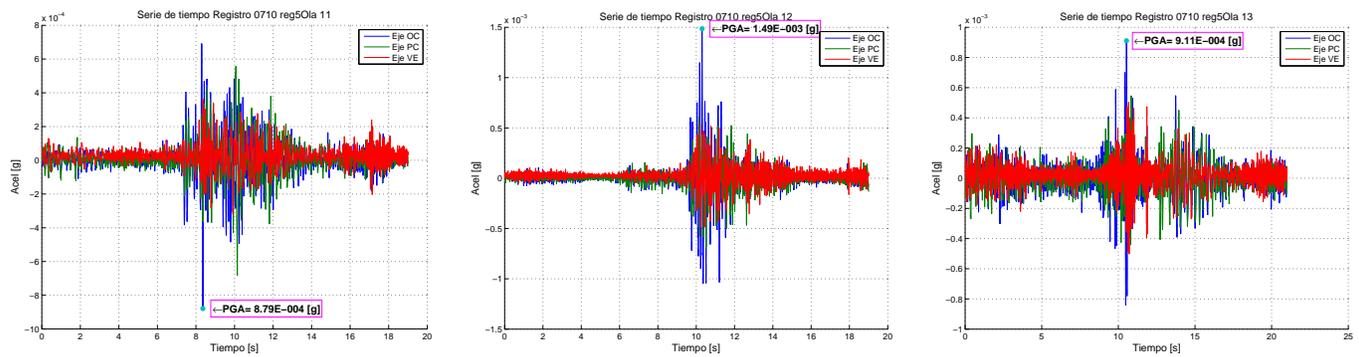


Figura C.31: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN11 a OlaN13

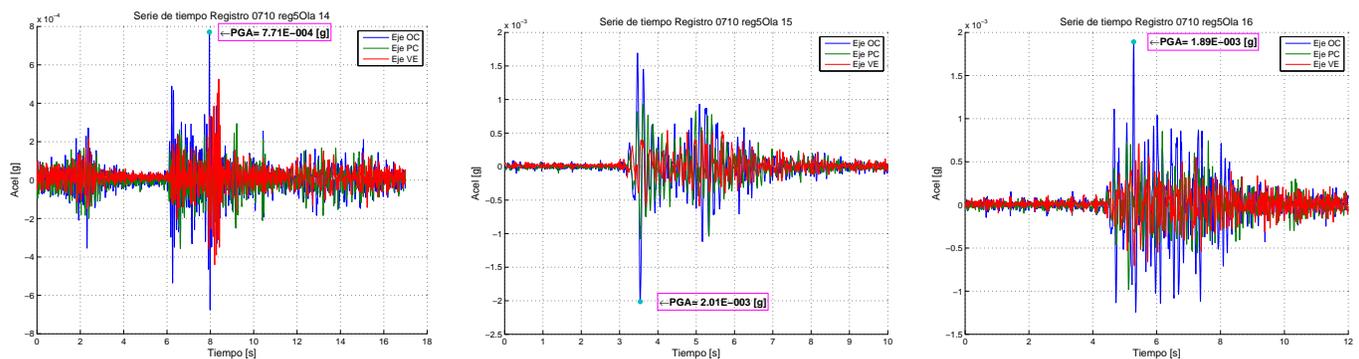


Figura C.32: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN14 a OlaN16

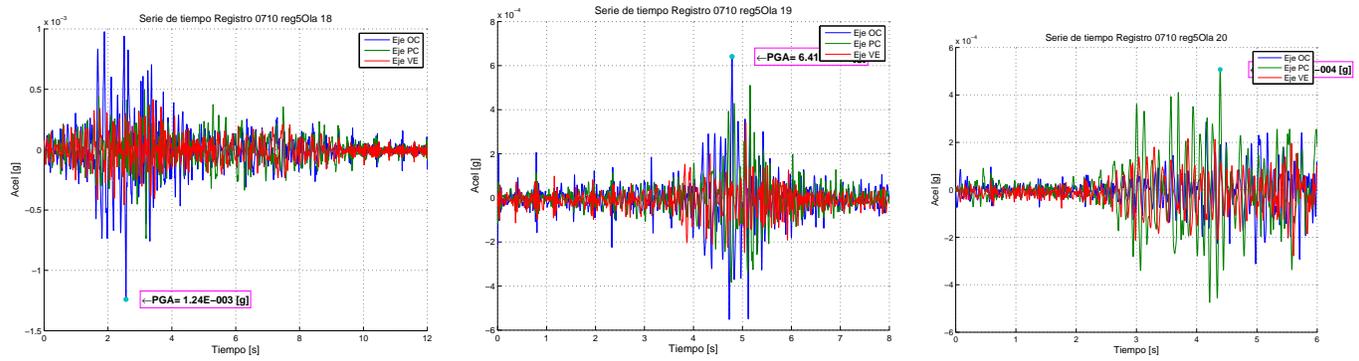


Figura C.33: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN18 a OlaN20

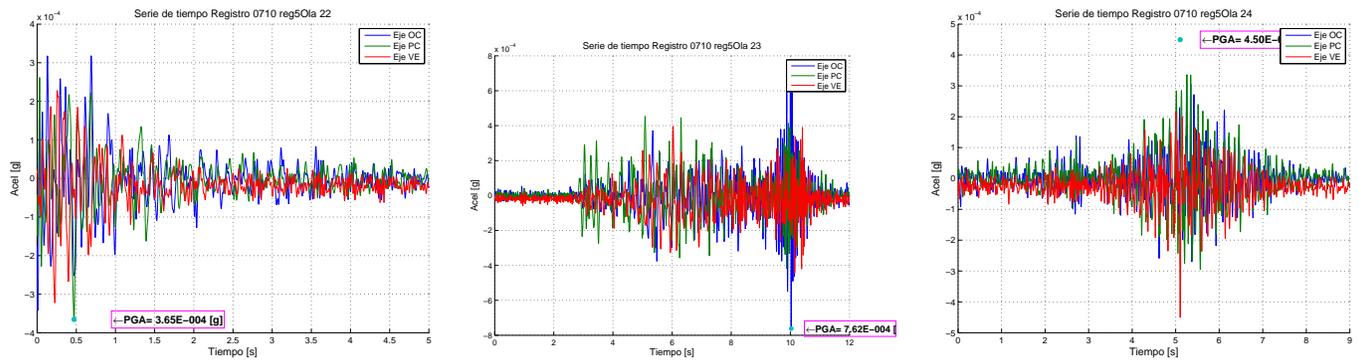


Figura C.34: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN22 a OlaN24

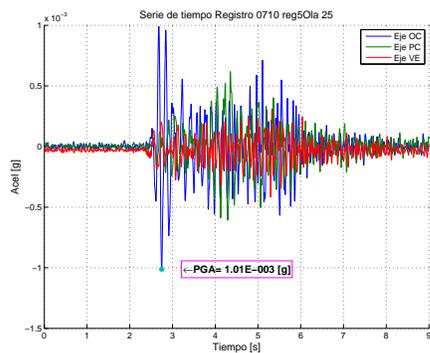


Figura C.35: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg5 OlaN25

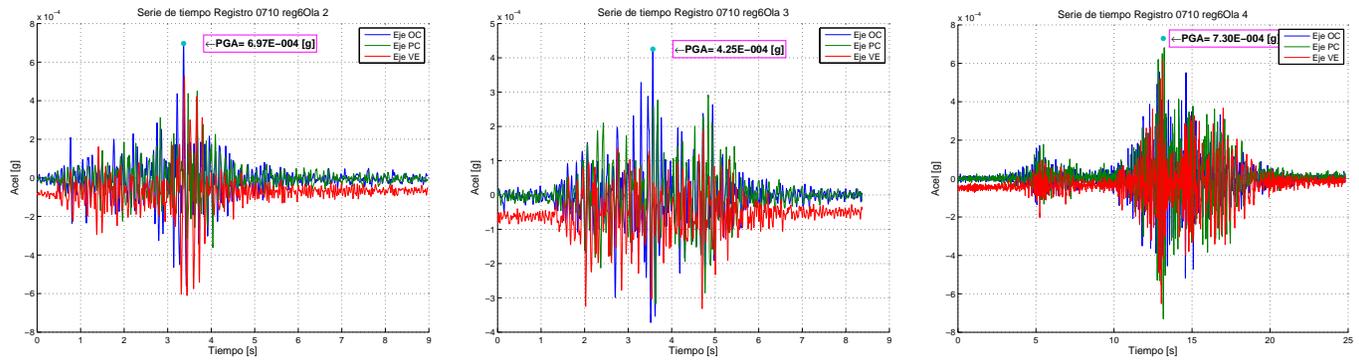


Figura C.36: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN2 a OlaN4

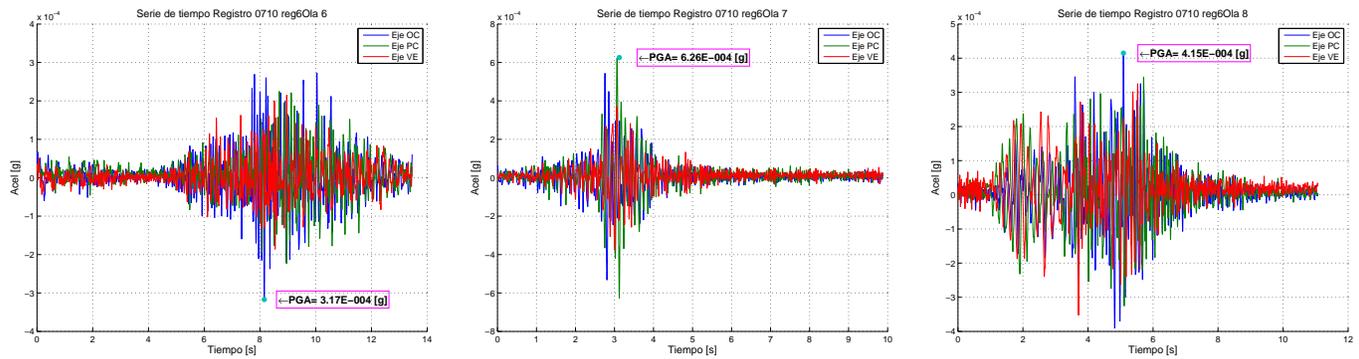


Figura C.37: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN6 a OlaN8

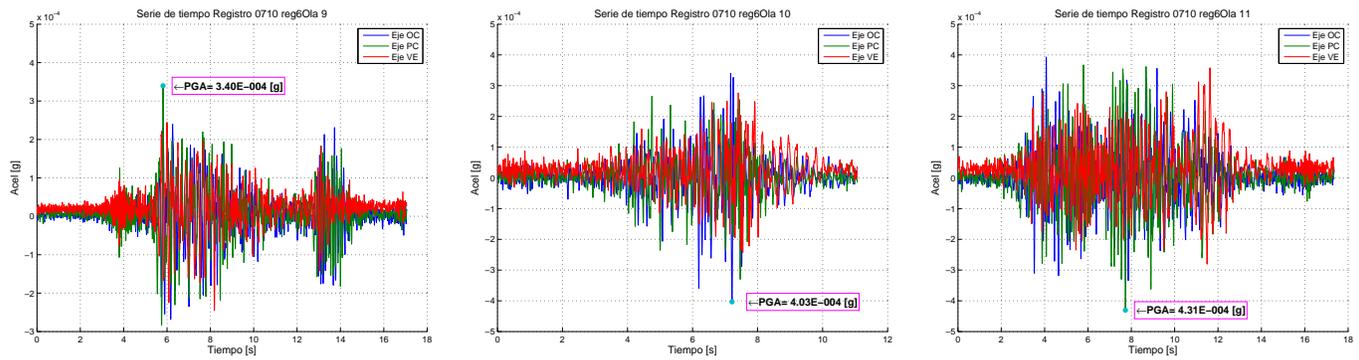


Figura C.38: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN9 a OlaN11

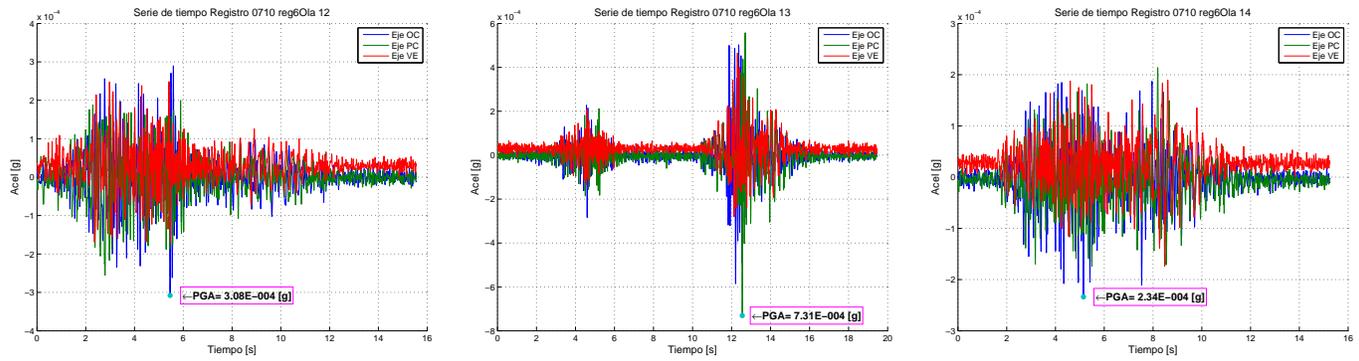


Figura C.39: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN12 a OlaN14

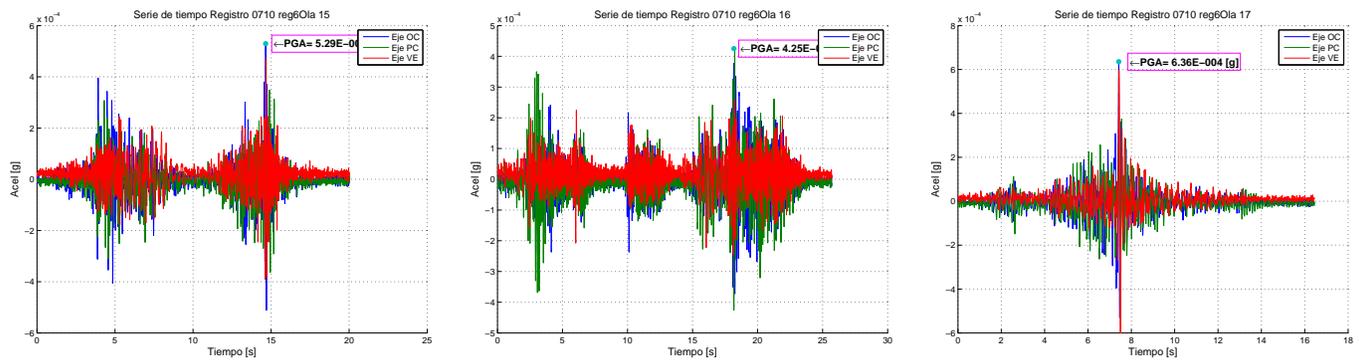


Figura C.40: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN15 a OlaN17

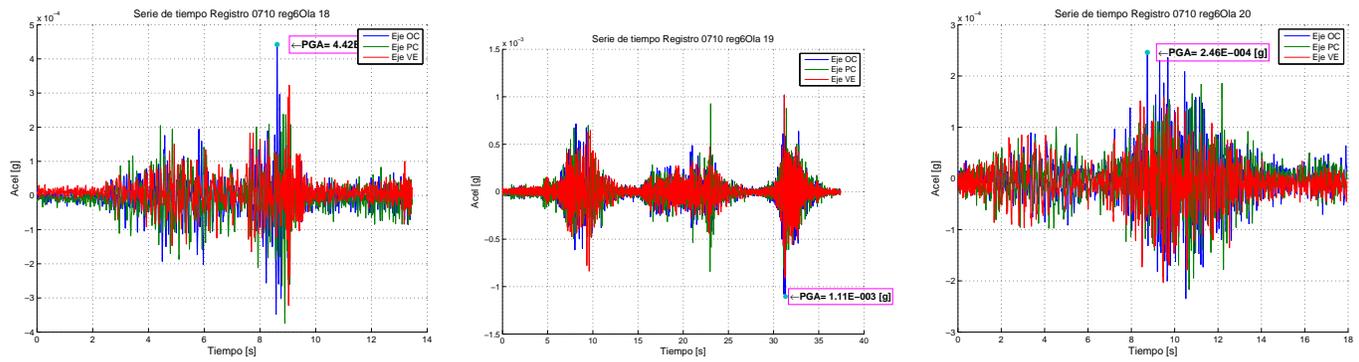


Figura C.41: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN18 a OlaN20

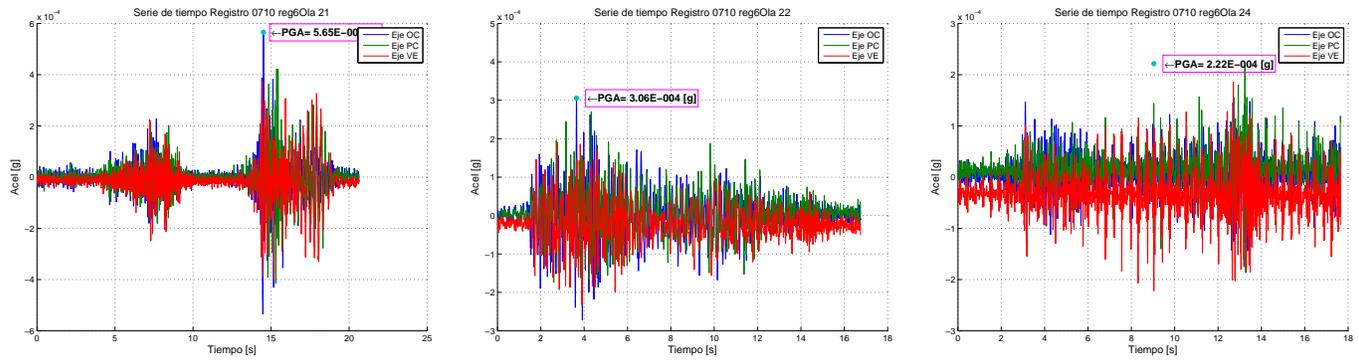


Figura C.42: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg6 OlaN21 a OlaN24

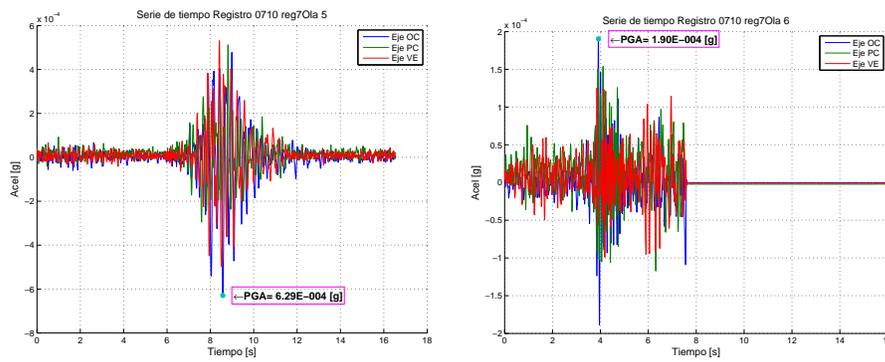


Figura C.43: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg7 OlaN5 a OlaN6

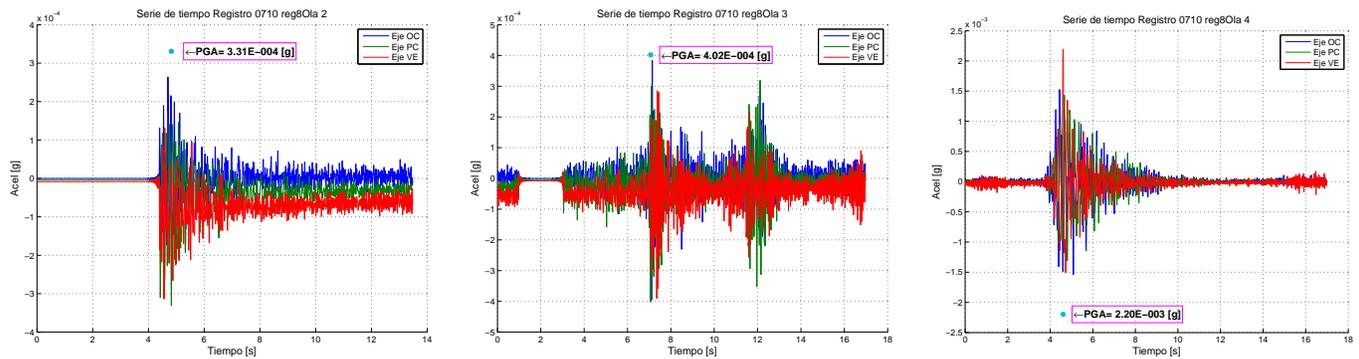


Figura C.44: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN2 a OlaN4

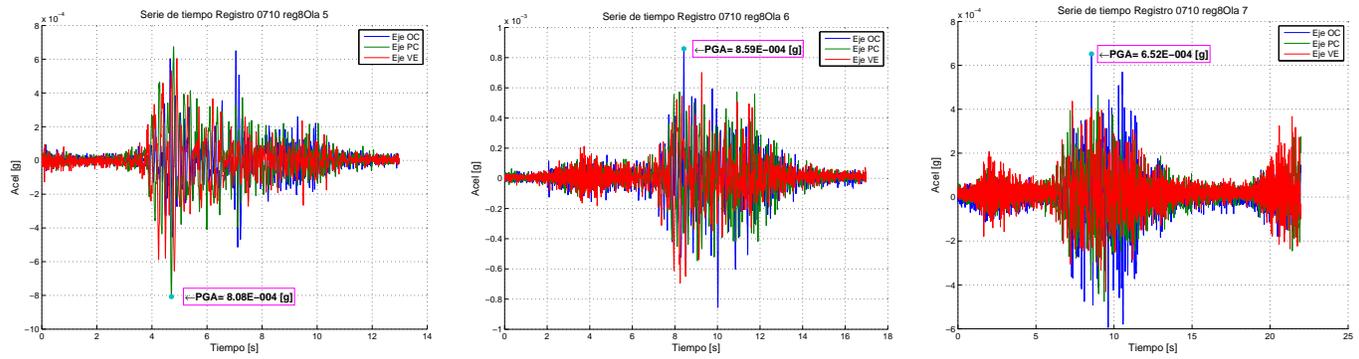


Figura C.45: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN5 a OlaN7

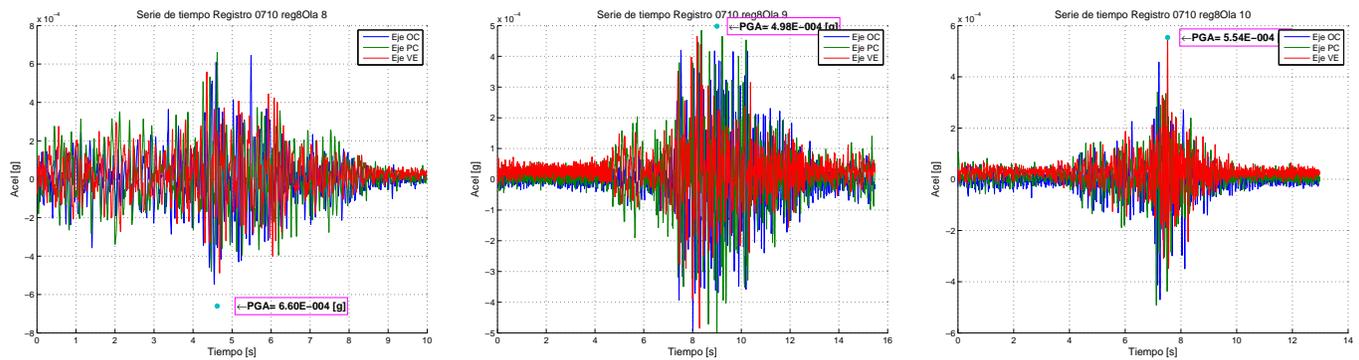


Figura C.46: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN8 a OlaN10

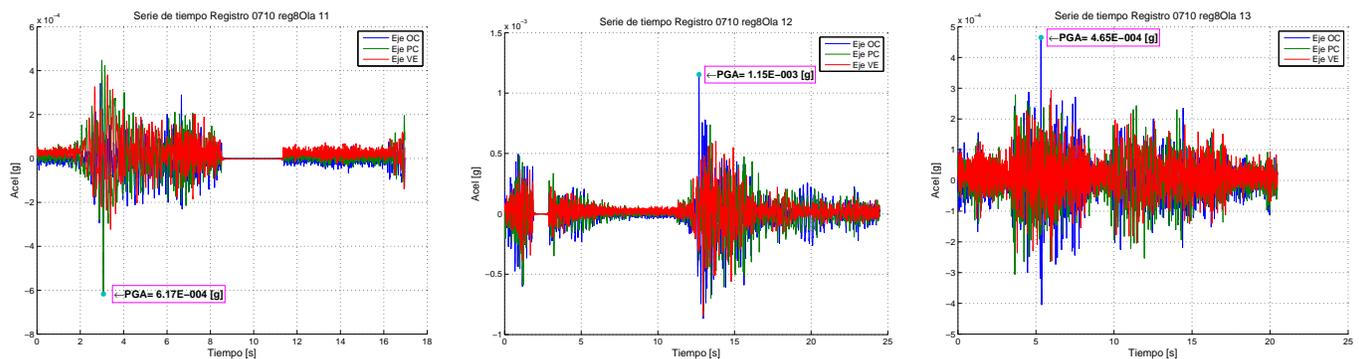


Figura C.47: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN11 a OlaN13

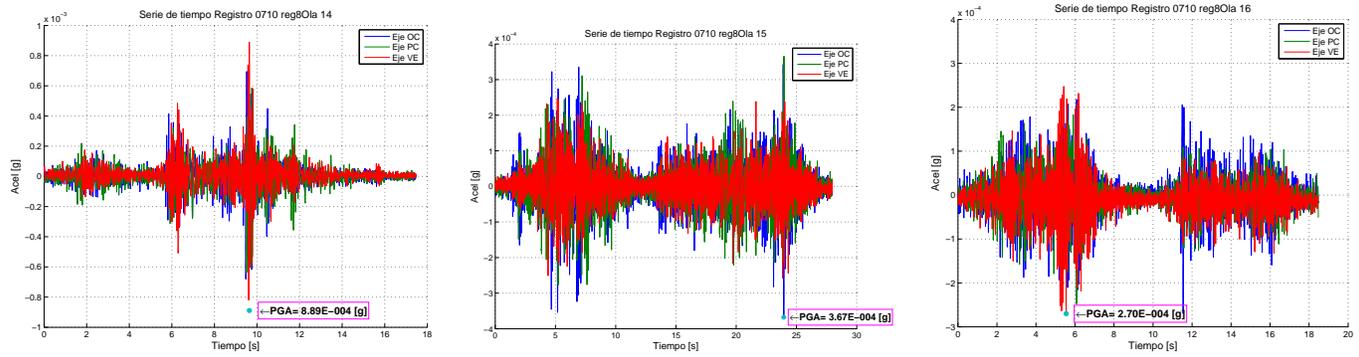


Figura C.48: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN14 a OlaN16

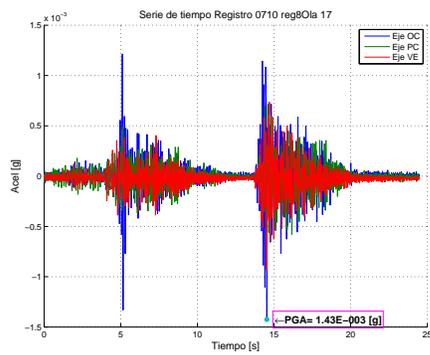


Figura C.49: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg8 OlaN17

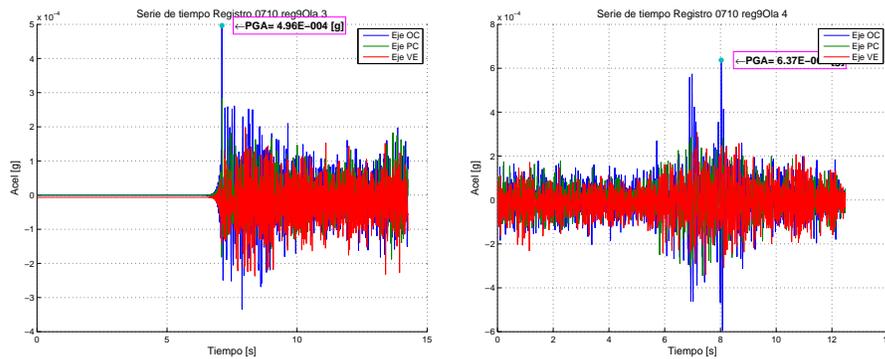


Figura C.50: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN3 a OlaN4

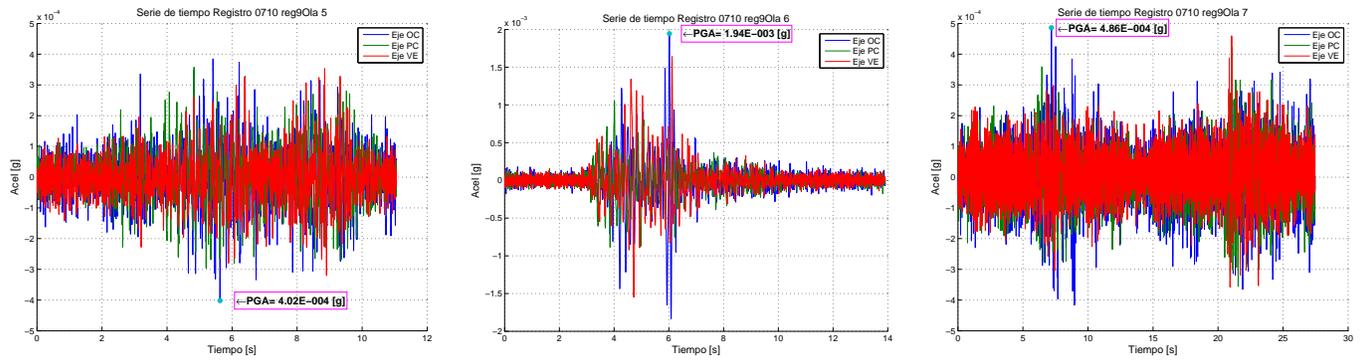


Figura C.51: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN5 a OlaN7

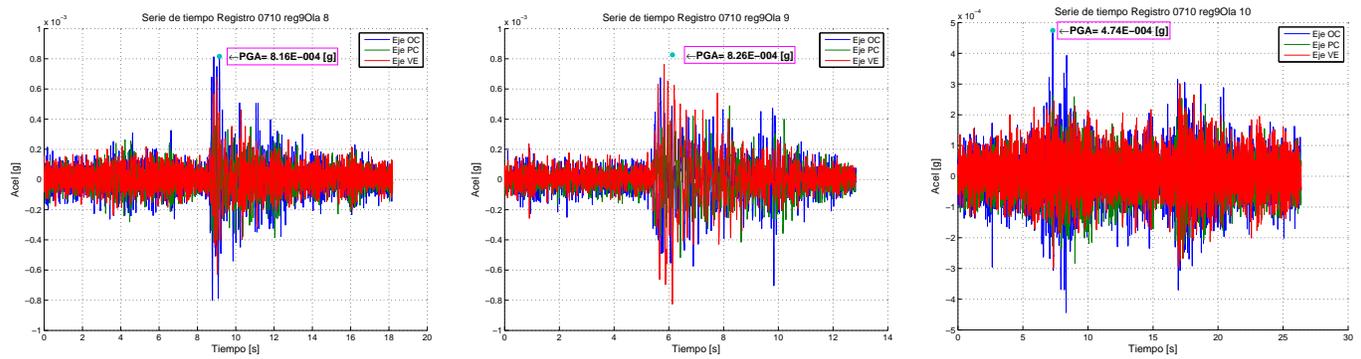


Figura C.52: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN8 a OlaN10

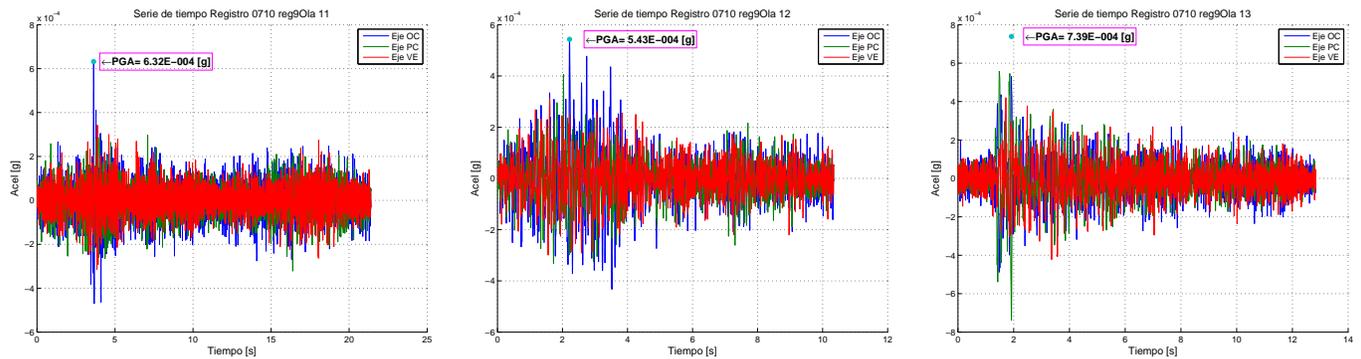


Figura C.53: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN11 a OlaN13

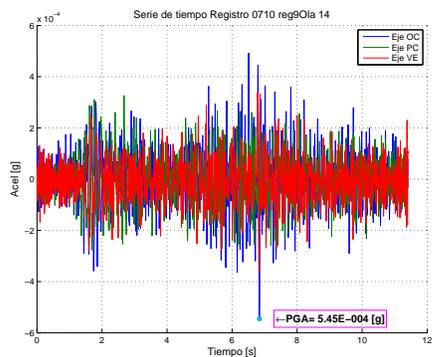


Figura C.54: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg9 OlaN14

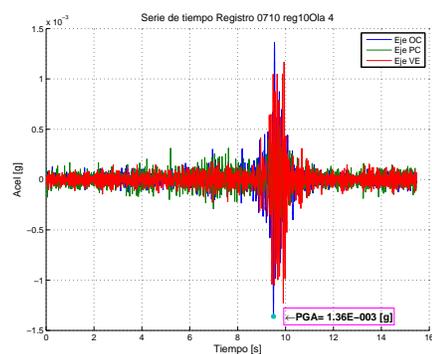
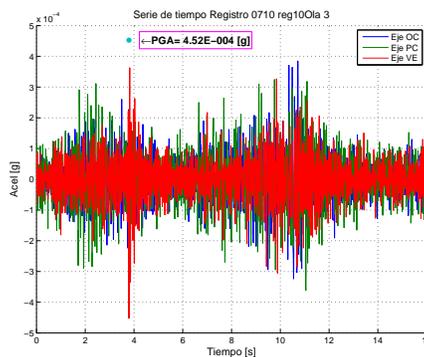
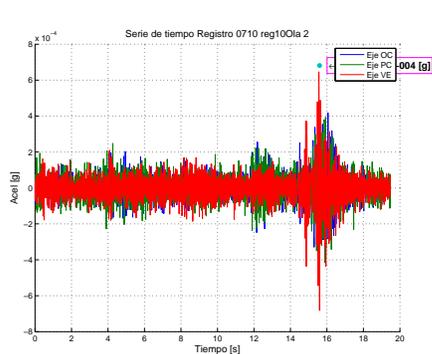


Figura C.55: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN2 a OlaN4

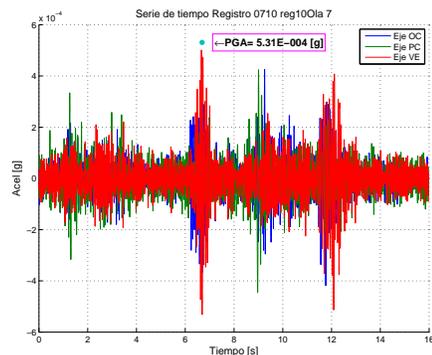
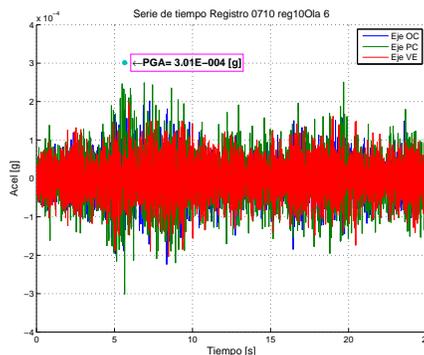
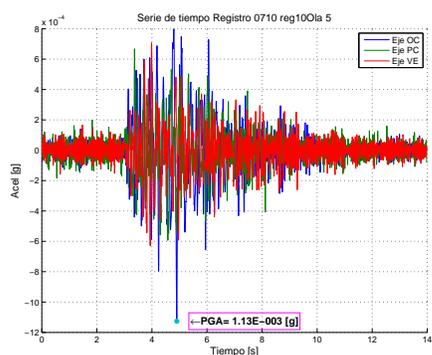


Figura C.56: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN5 a OlaN7

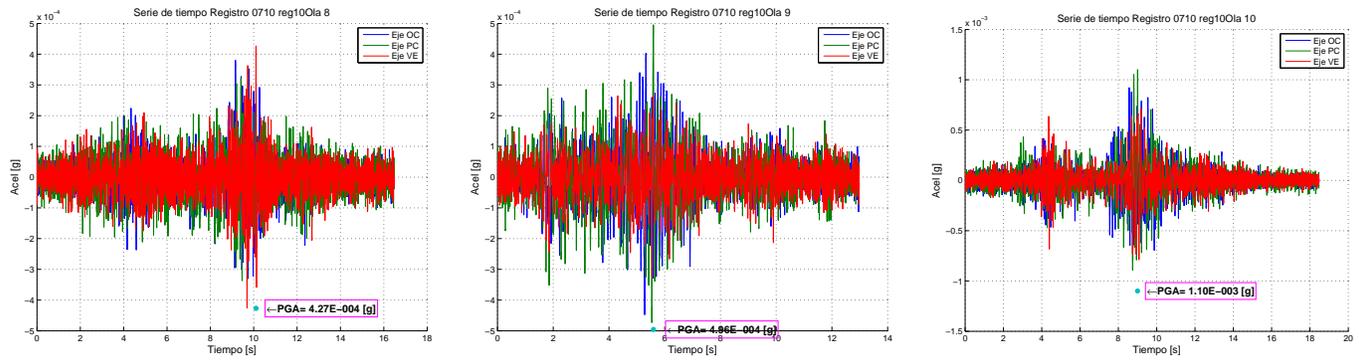


Figura C.57: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN8 a OlaN10

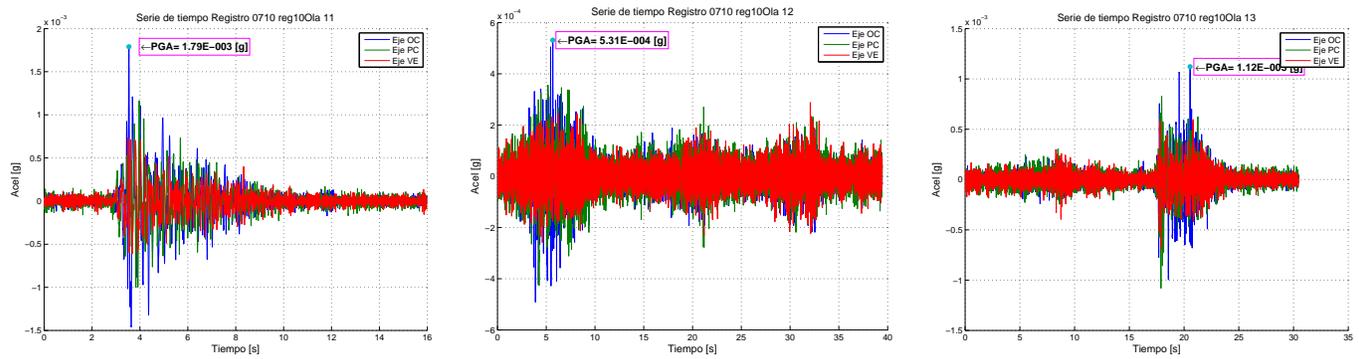


Figura C.58: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN11 a OlaN13

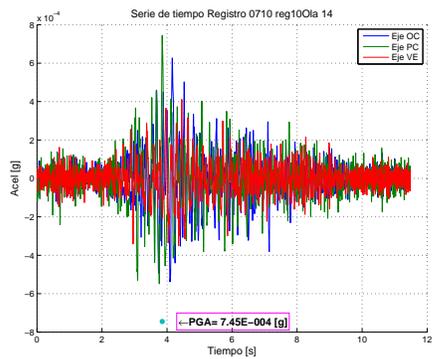


Figura C.59: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg10 OlaN14

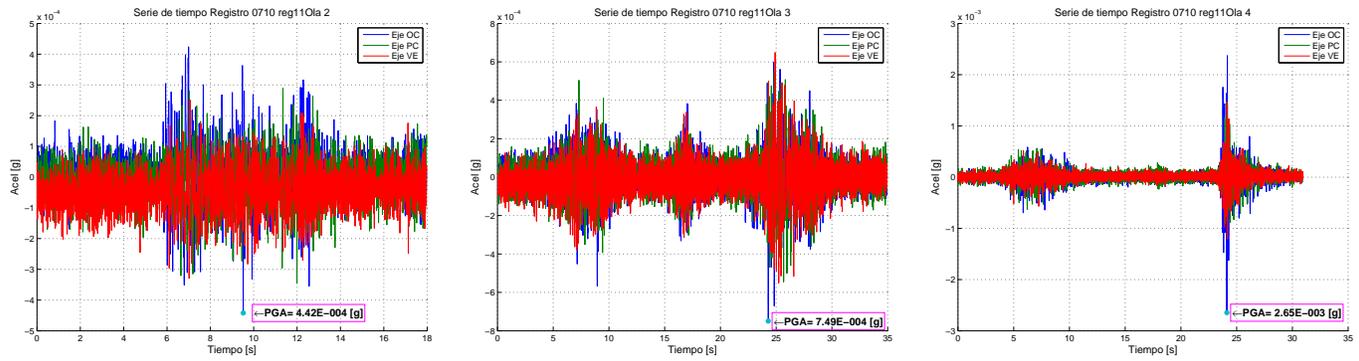


Figura C.60: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN2 a OlaN4

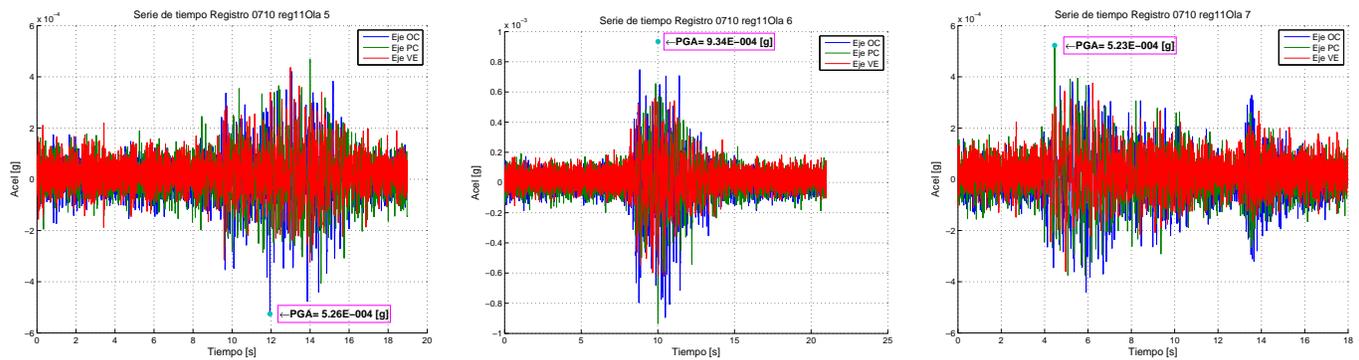


Figura C.61: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN5 a OlaN7

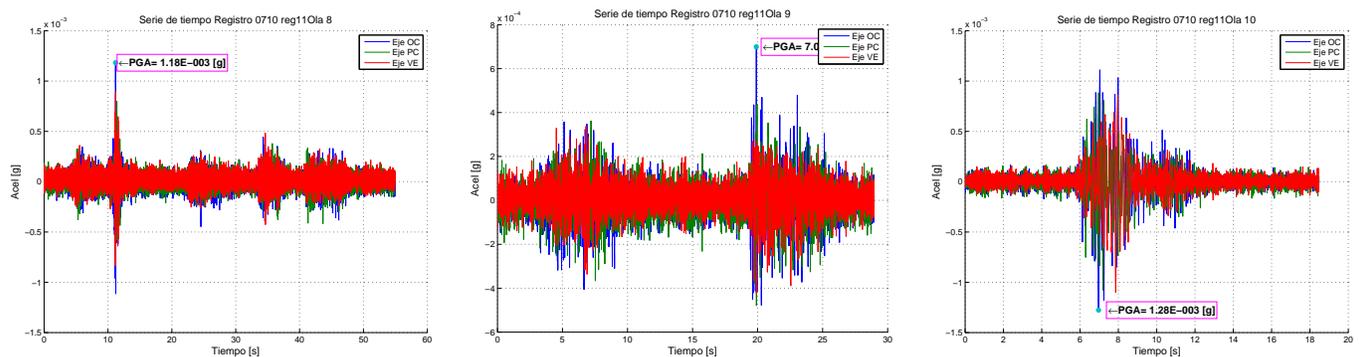


Figura C.62: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN8 a OlaN10

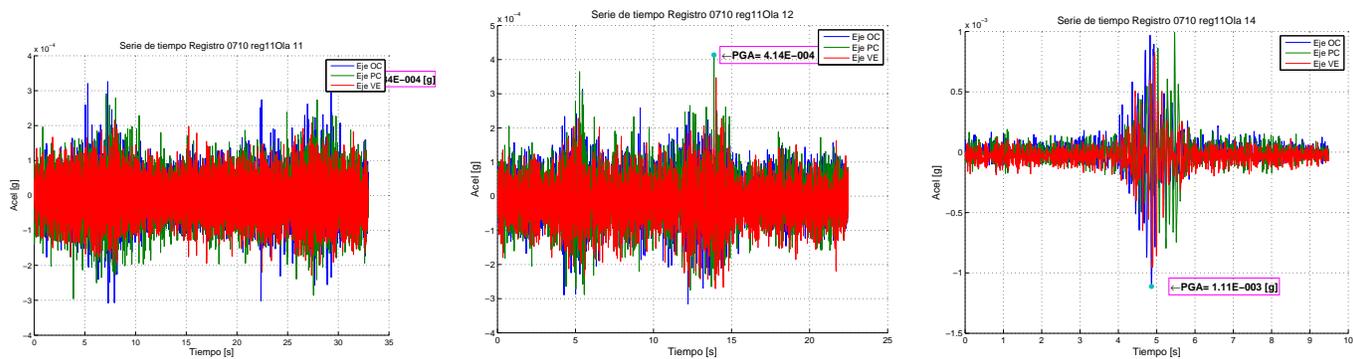


Figura C.63: Series de tiempo de olas F0710 Registro reg11 OlaN11 a OlaN14

Apéndice D

Anexo Series de tiempo por ola F0829

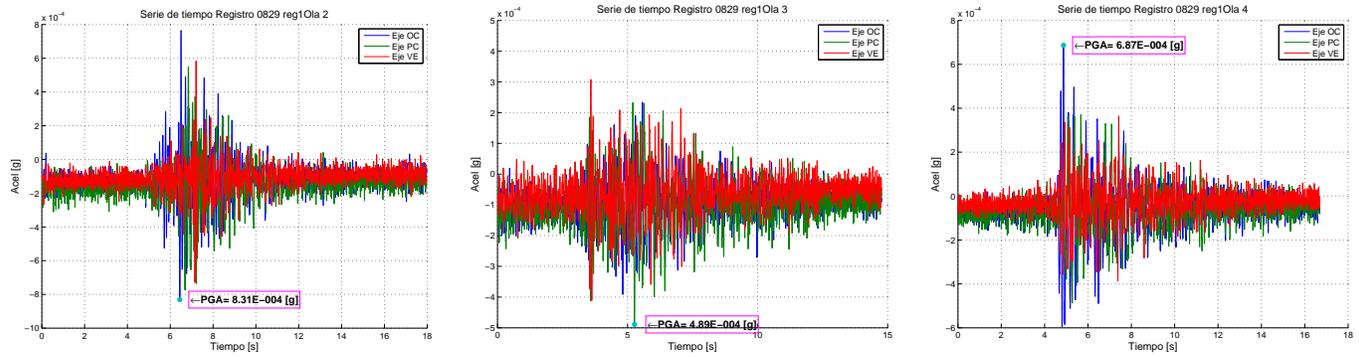


Figura D.1: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN2 a OlaN4

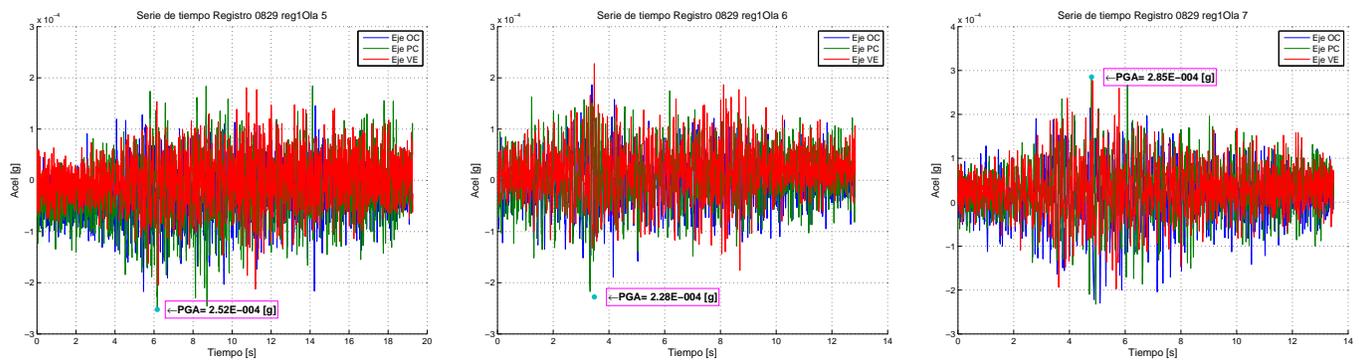


Figura D.2: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN5 a OlaN7

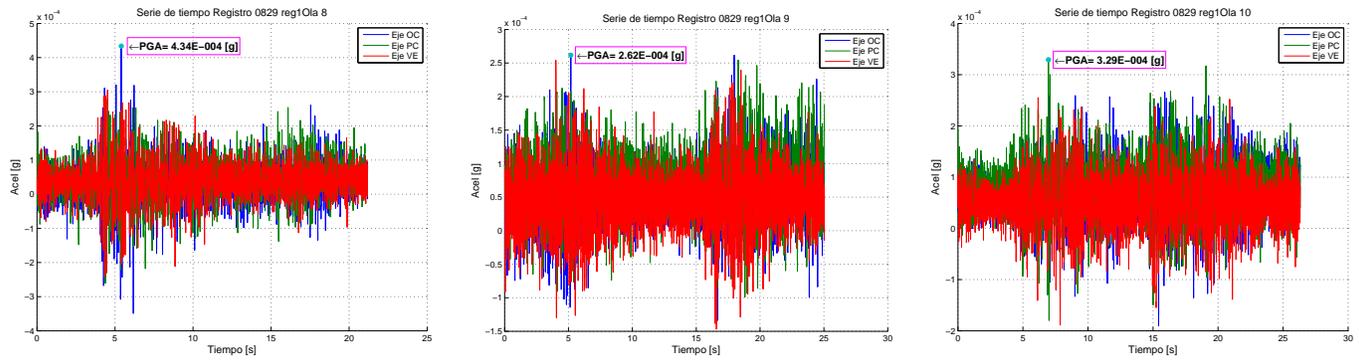


Figura D.3: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN8 a OlaN10

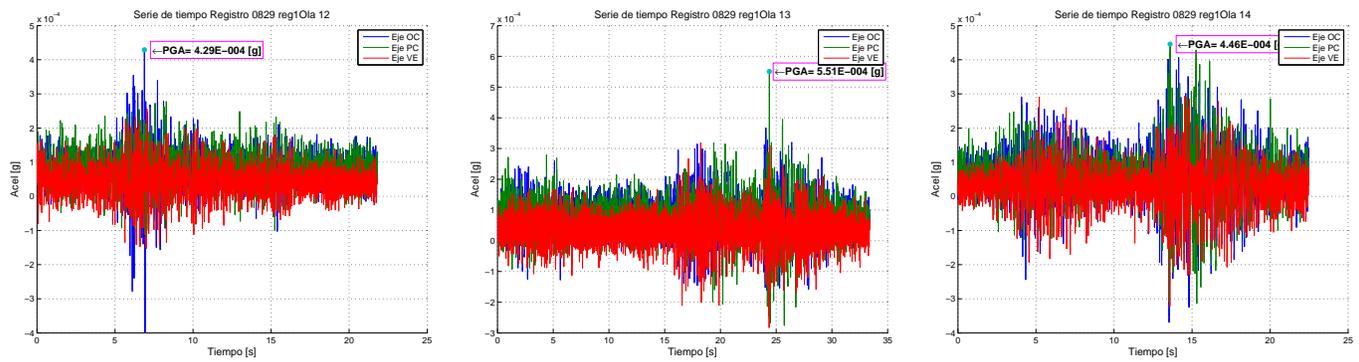


Figura D.4: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN12 a OlaN14

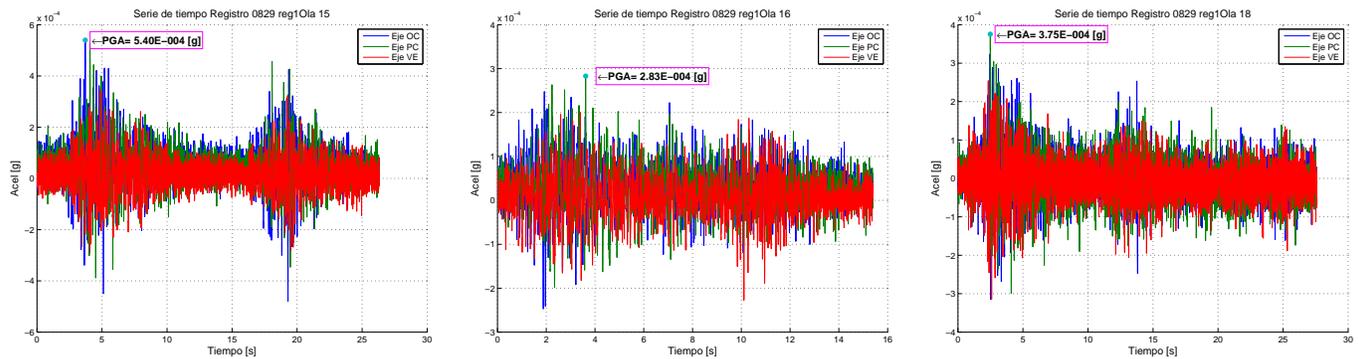


Figura D.5: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN15 a OlaN18

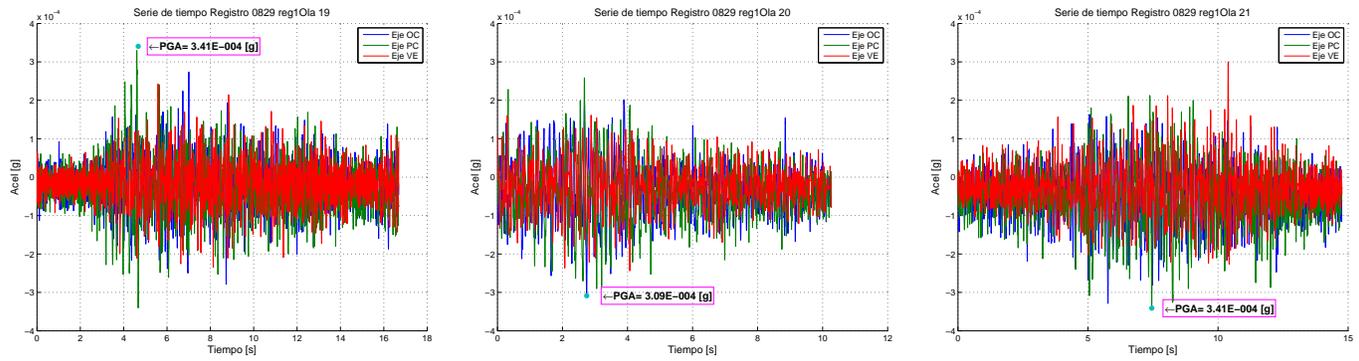


Figura D.6: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN19 a OlaN21

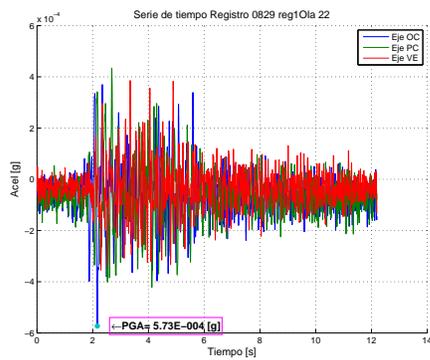


Figura D.7: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg1 OlaN22

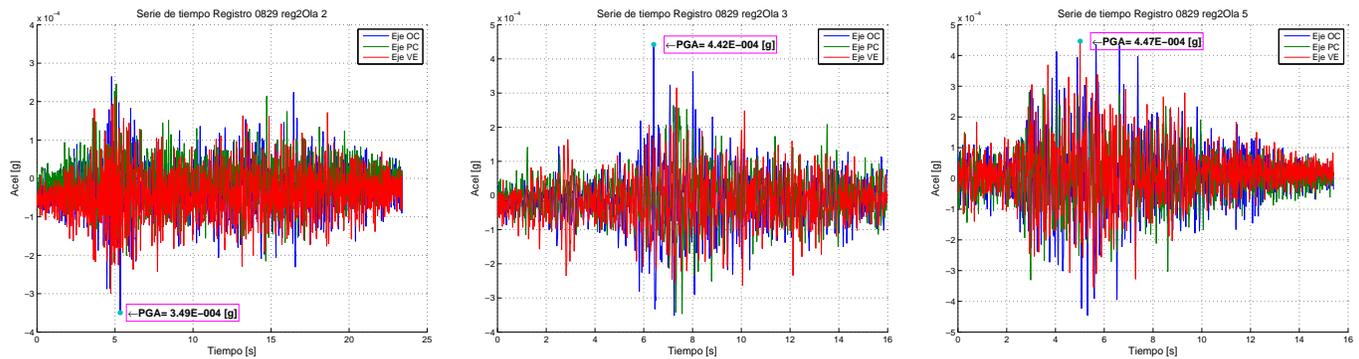


Figura D.8: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN2 a OlaN5

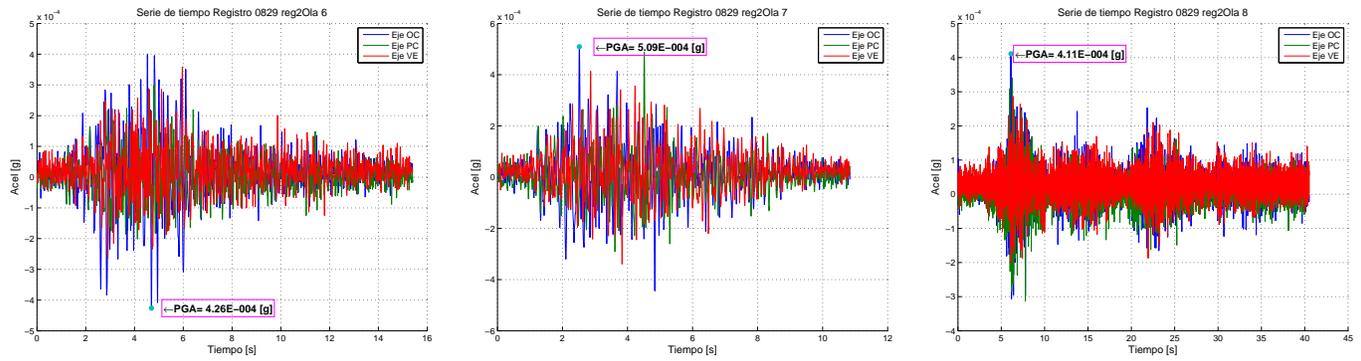


Figura D.9: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN6 a OlaN8

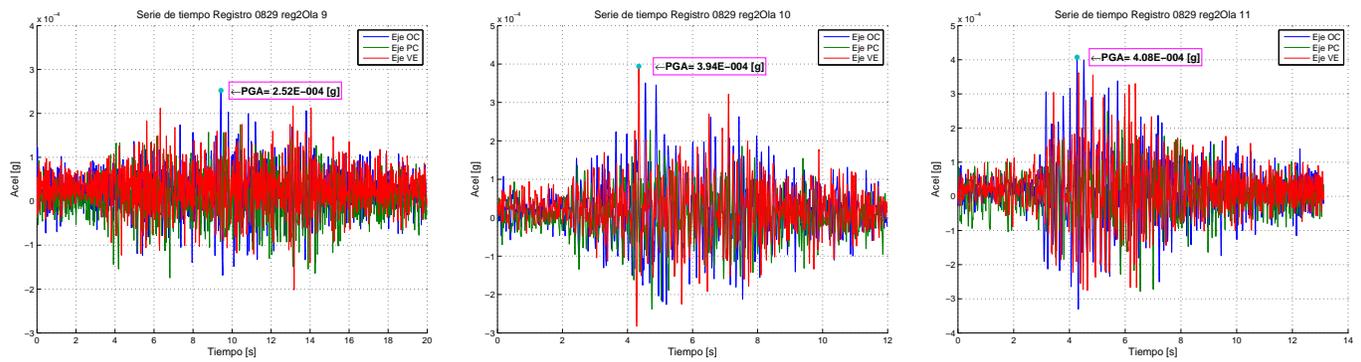


Figura D.10: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN9 a OlaN11

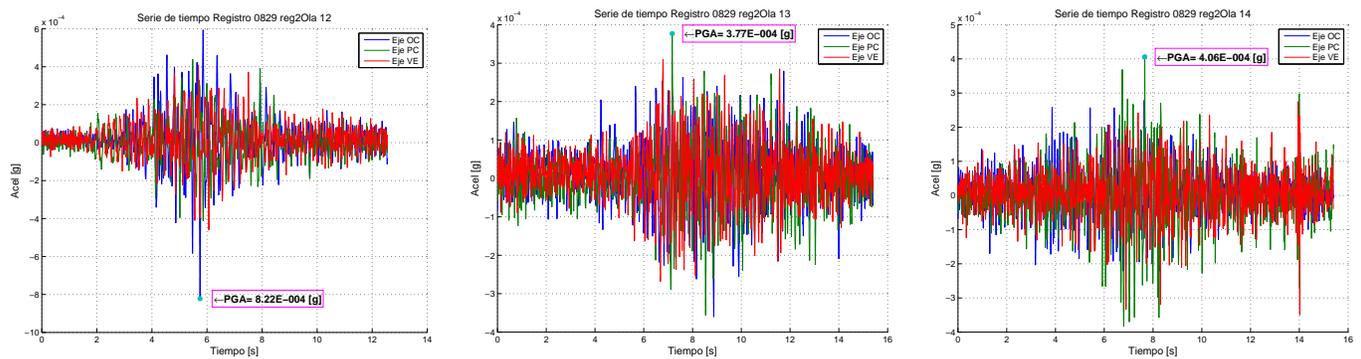


Figura D.11: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN12 a OlaN14

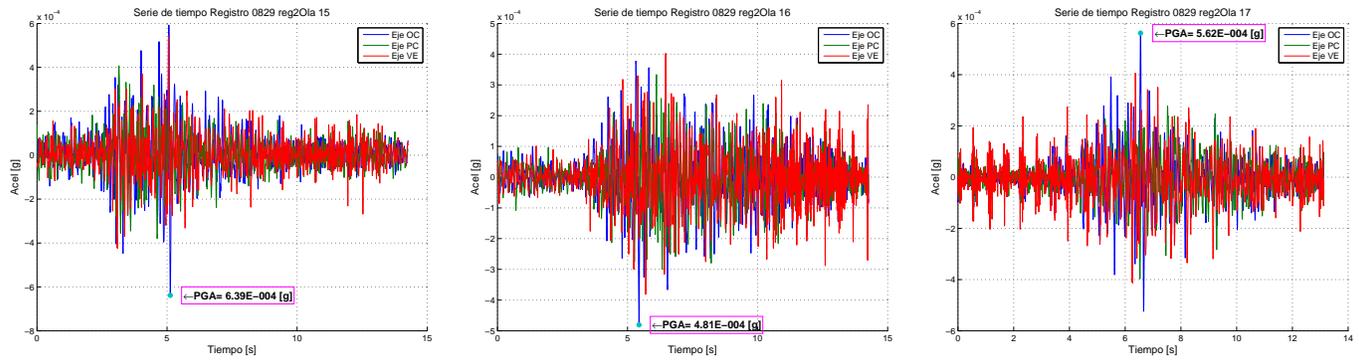


Figura D.12: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN15 a OlaN17

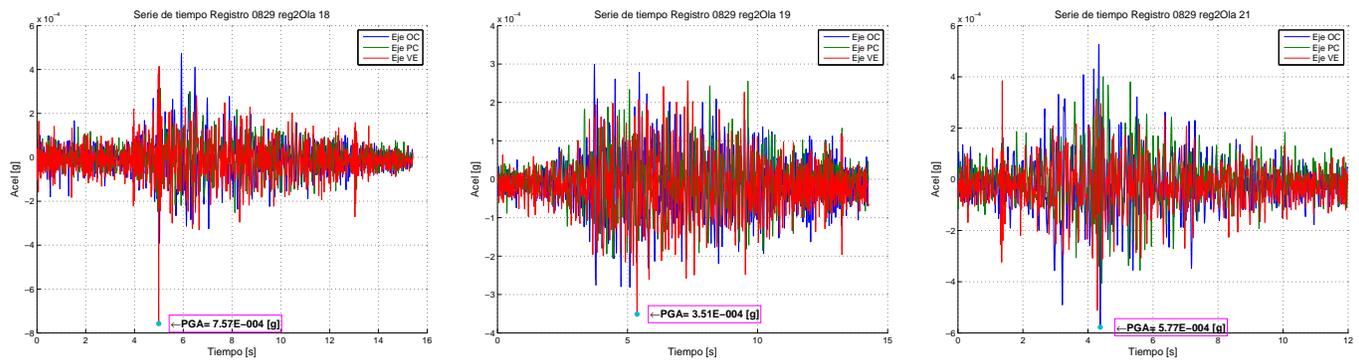


Figura D.13: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg2 OlaN18 a OlaN21

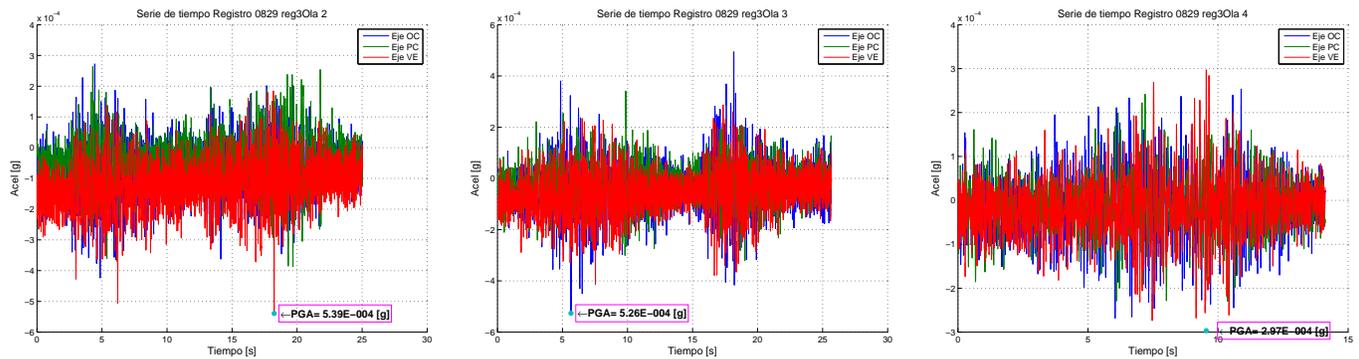


Figura D.14: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN2 a OlaN4

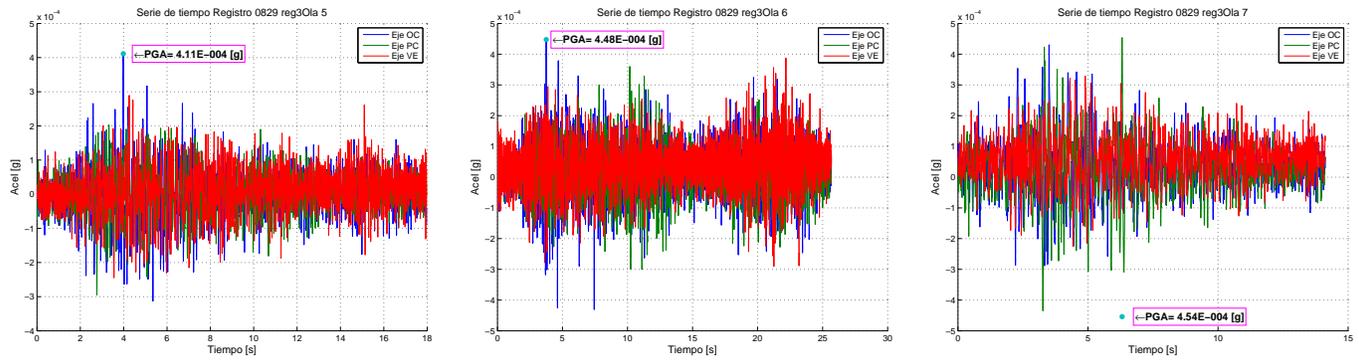


Figura D.15: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN5 a OlaN7

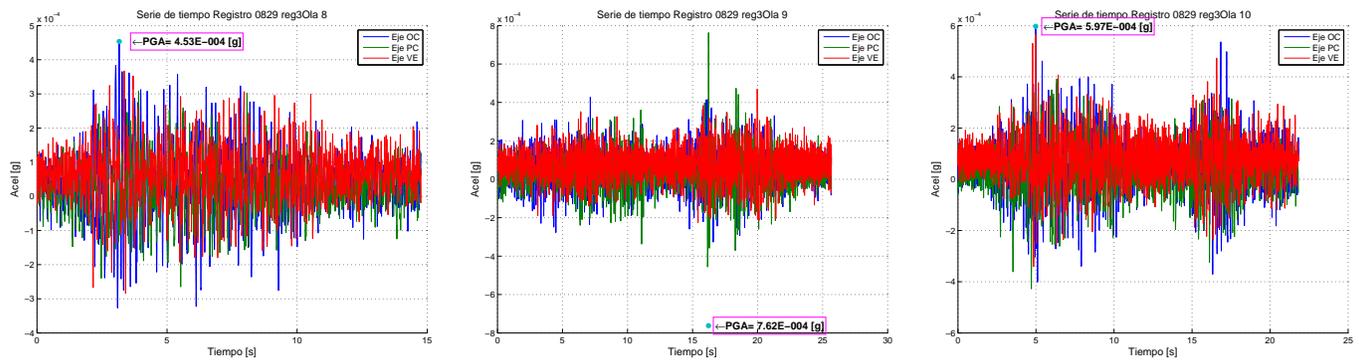


Figura D.16: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN8 a OlaN10

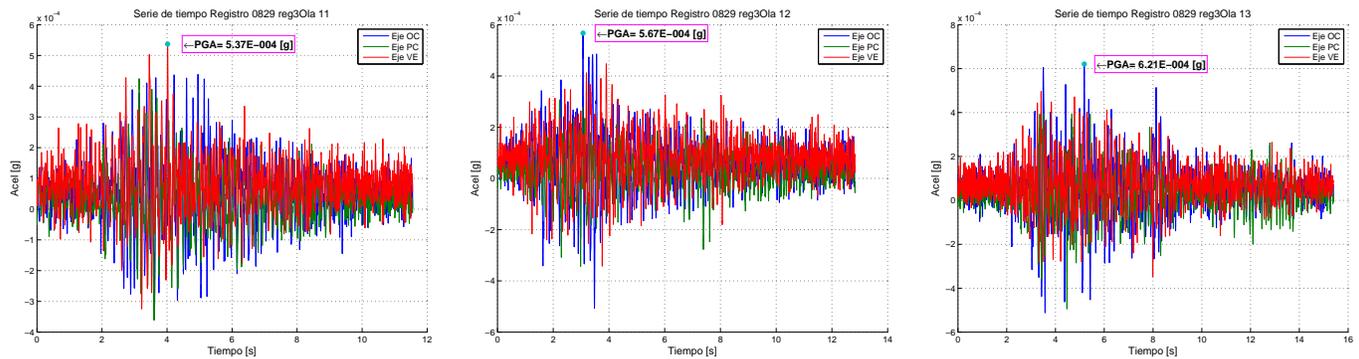


Figura D.17: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN11 a OlaN13

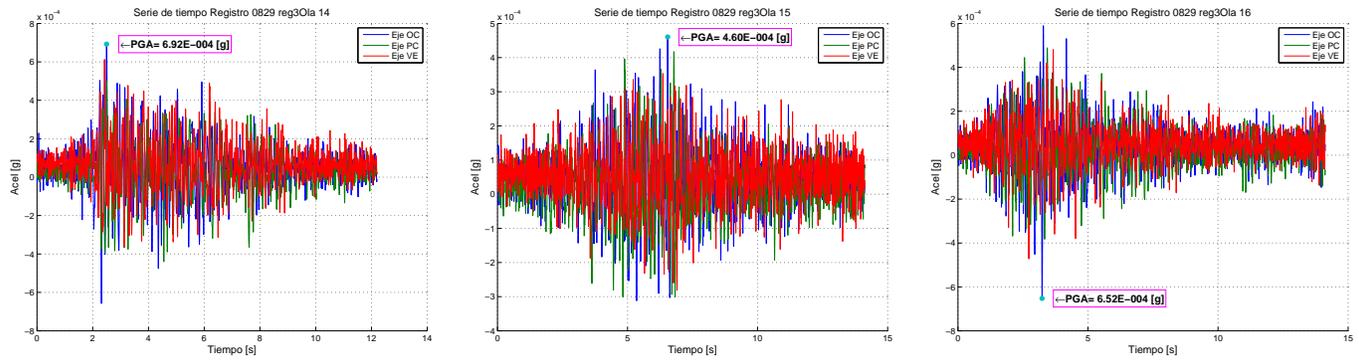


Figura D.18: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN14 a OlaN16

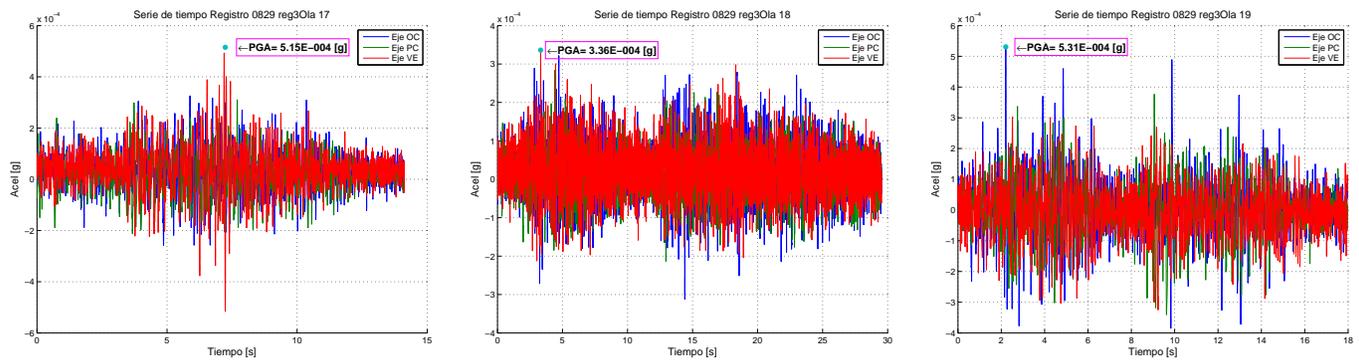


Figura D.19: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN17 a OlaN19

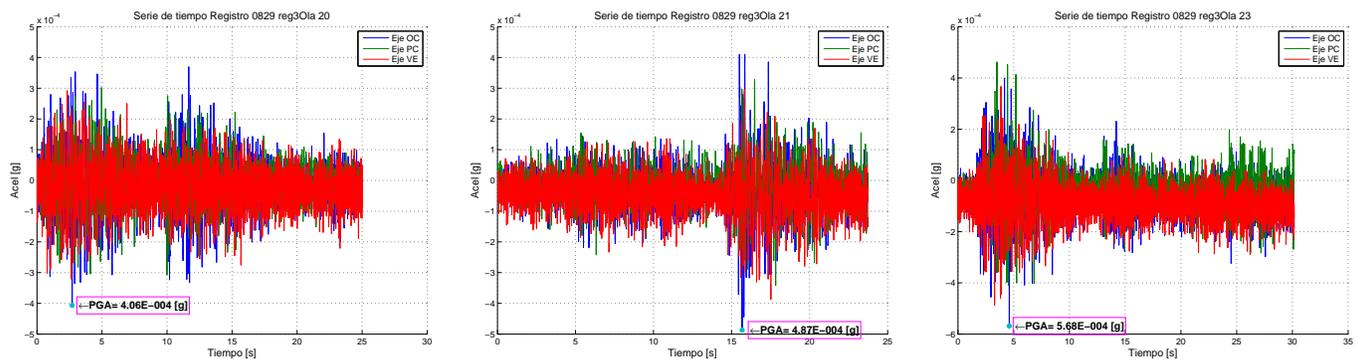


Figura D.20: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg3 OlaN20 a OlaN23

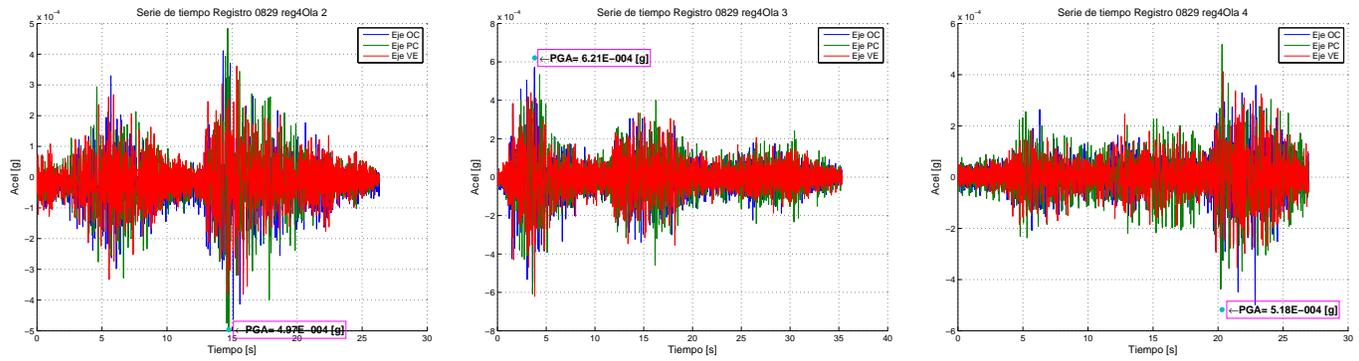


Figura D.21: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN2 a OlaN4

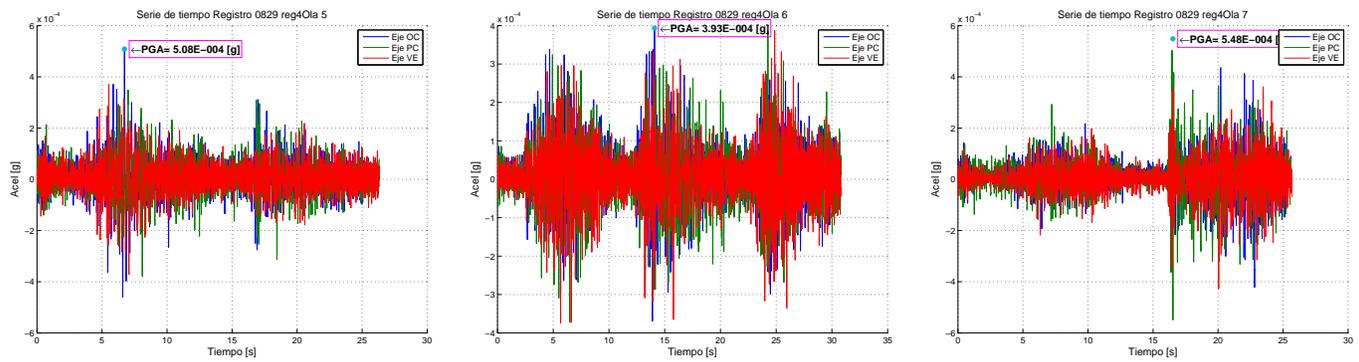


Figura D.22: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN5 a OlaN7

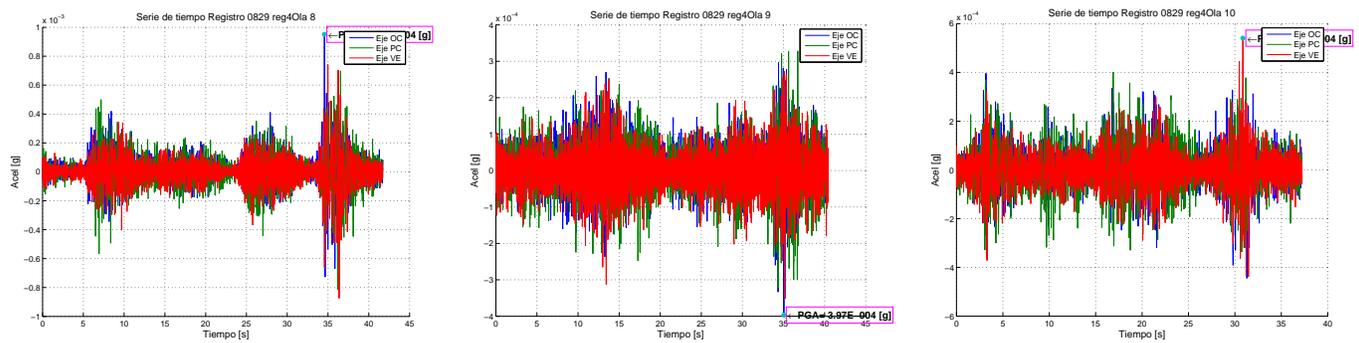


Figura D.23: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN8 a OlaN10

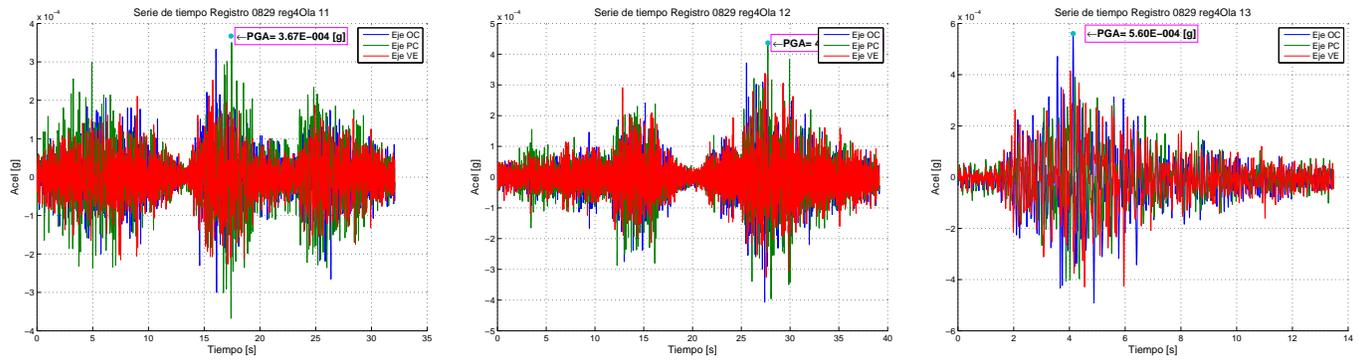


Figura D.24: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN11 a OlaN13

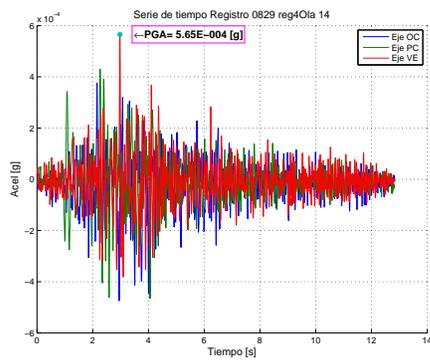


Figura D.25: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg4 OlaN14

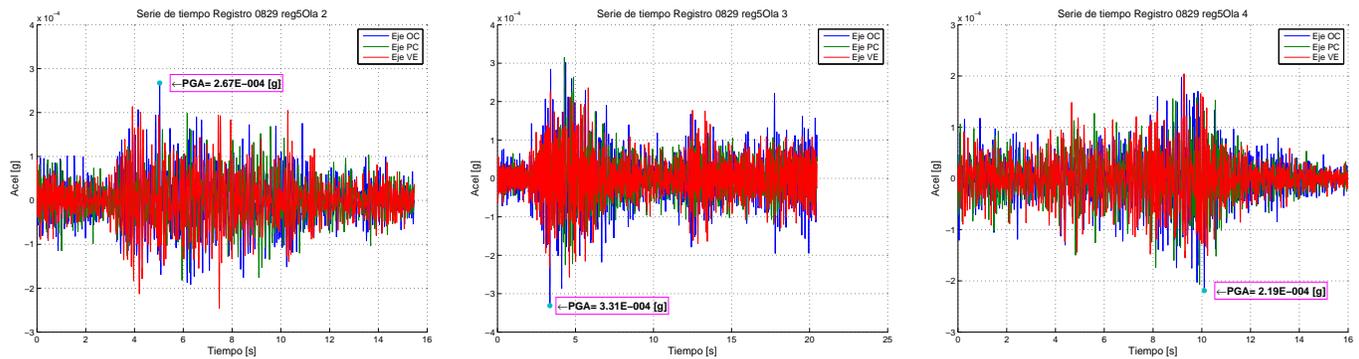


Figura D.26: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN2 a OlaN4

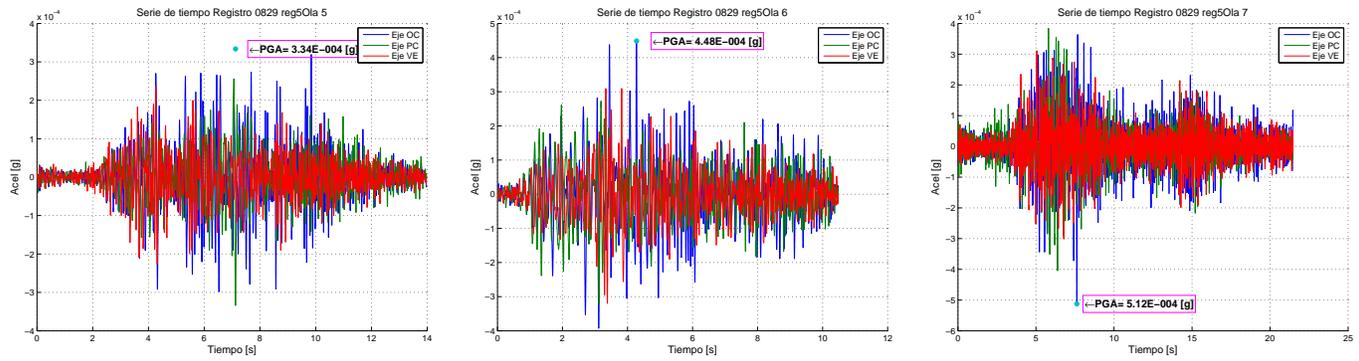


Figura D.27: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN5 a OlaN7

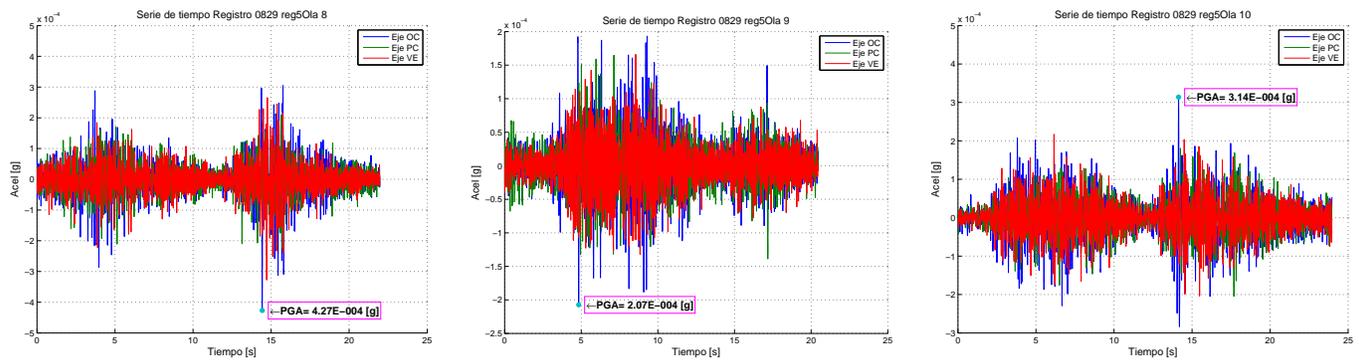


Figura D.28: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN8 a OlaN10

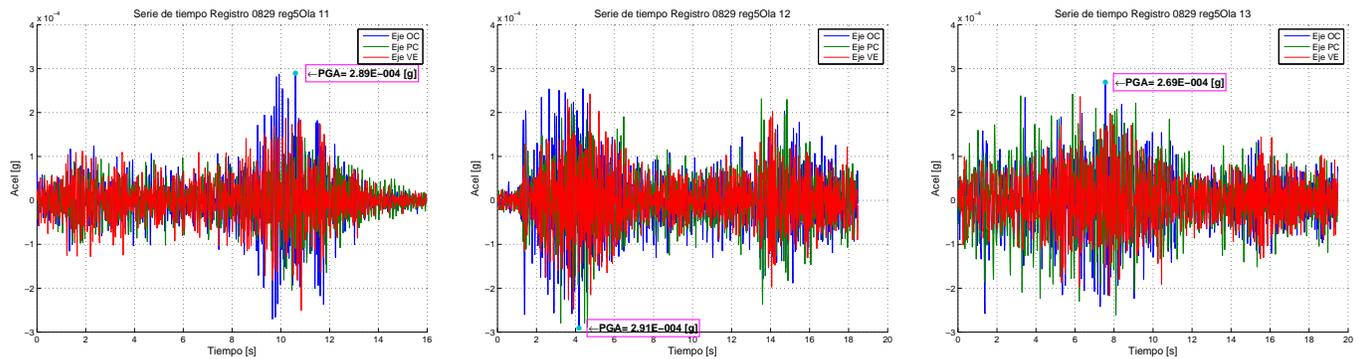


Figura D.29: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN11 a OlaN13

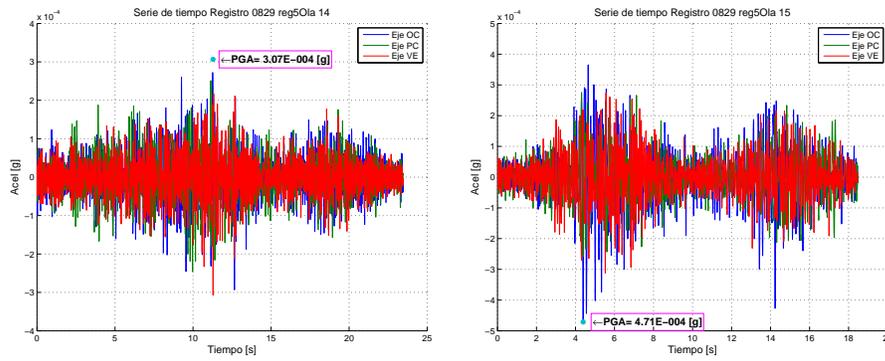


Figura D.30: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN14 a OlaN15

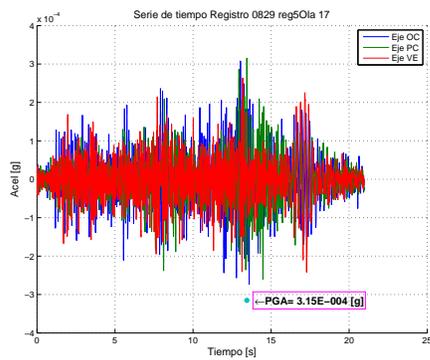


Figura D.31: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg5 OlaN17

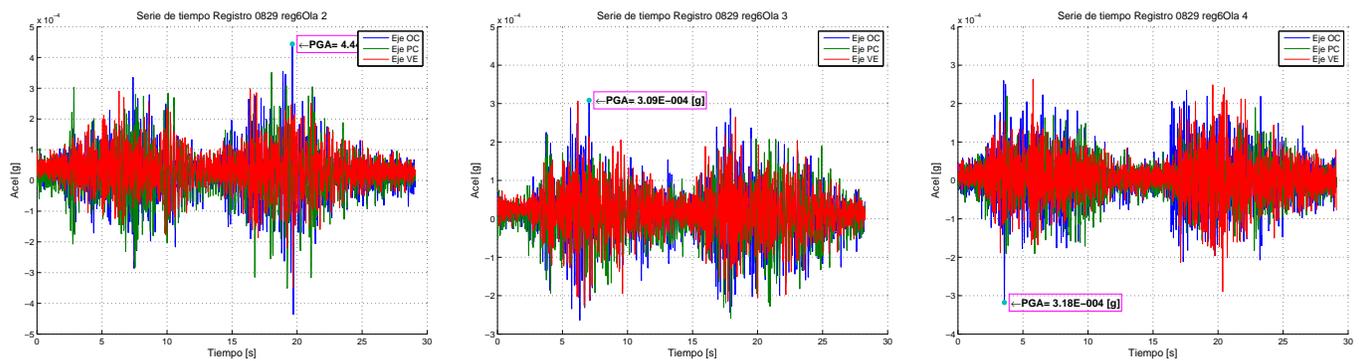


Figura D.32: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN2 a OlaN4

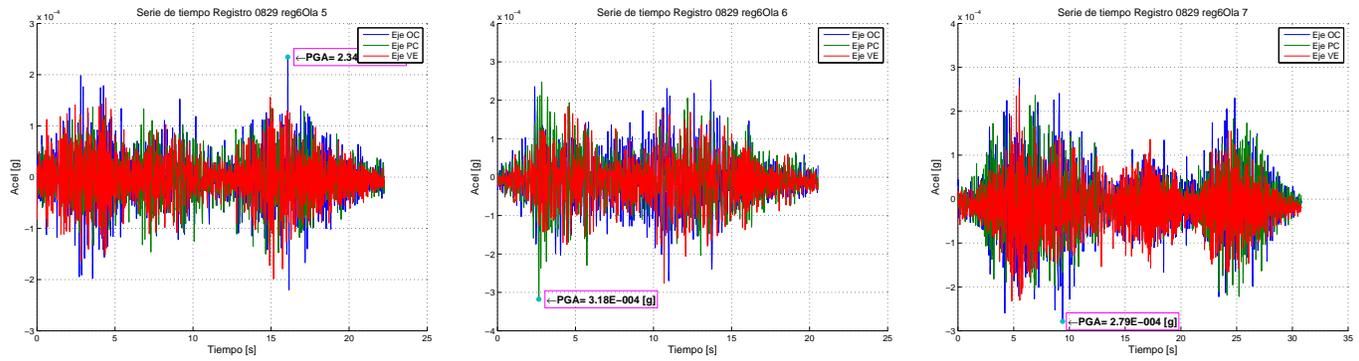


Figura D.33: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN5 a OlaN7

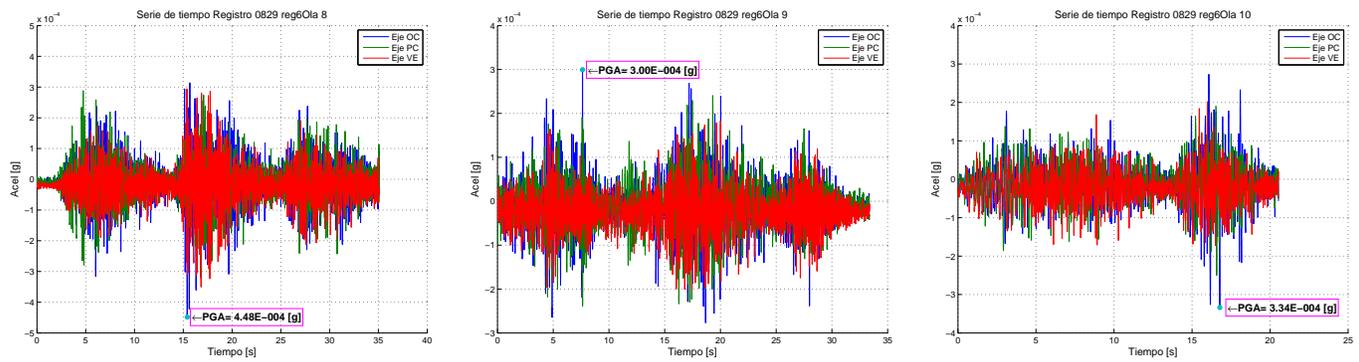


Figura D.34: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN8 a OlaN10

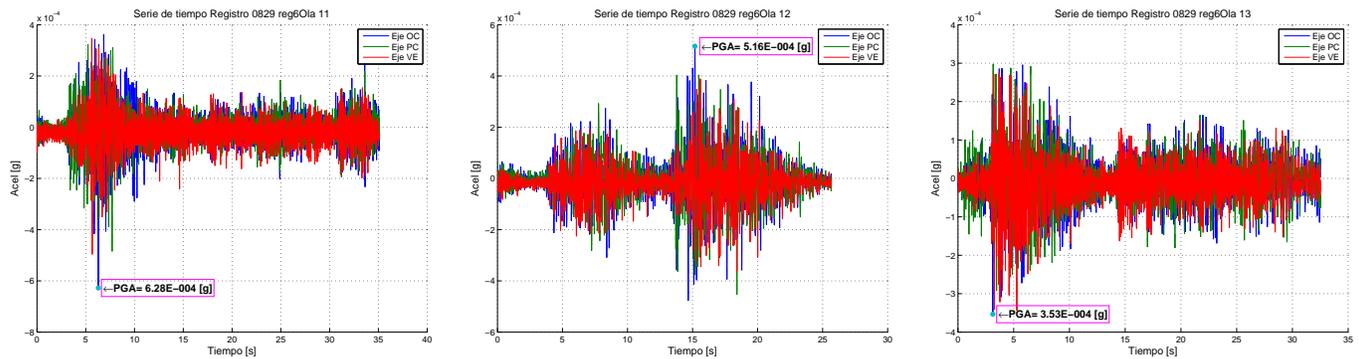


Figura D.35: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN11 a OlaN13

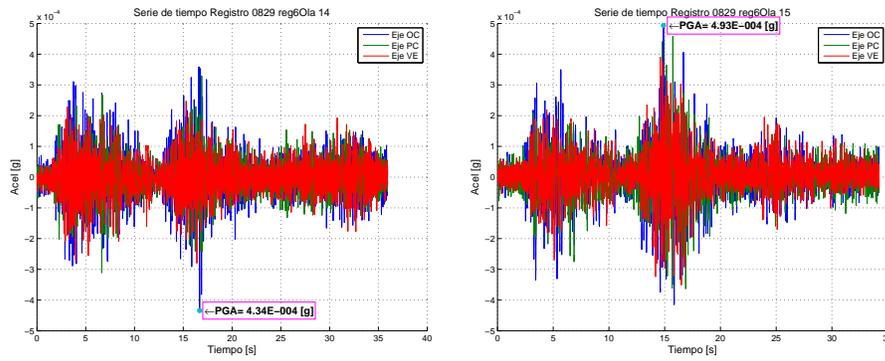


Figura D.36: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN14 a OlaN15

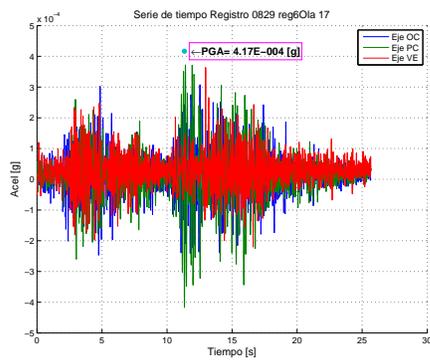


Figura D.37: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg6 OlaN17

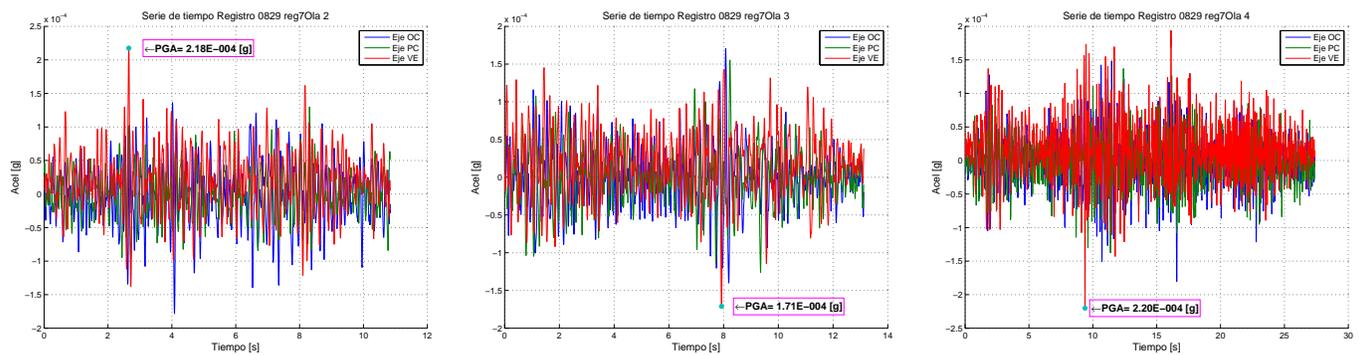


Figura D.38: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN2 a OlaN4

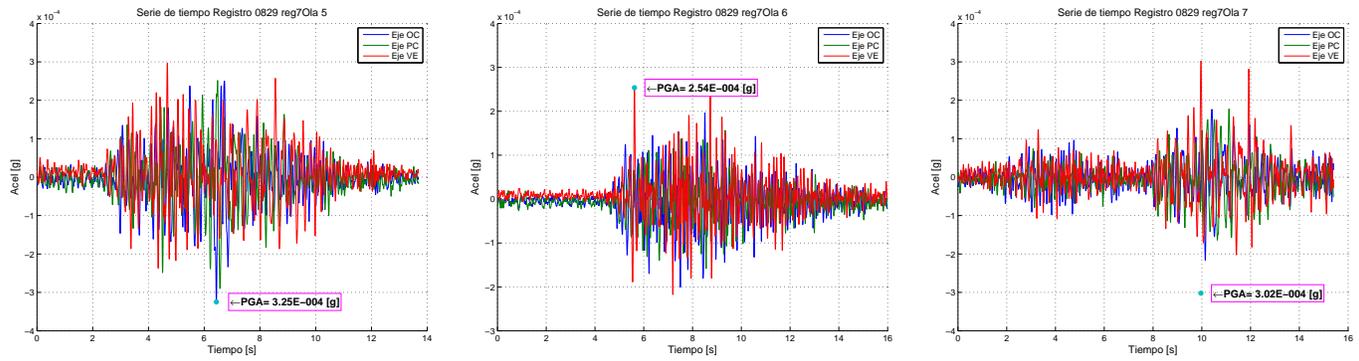


Figura D.39: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN5 a OlaN7

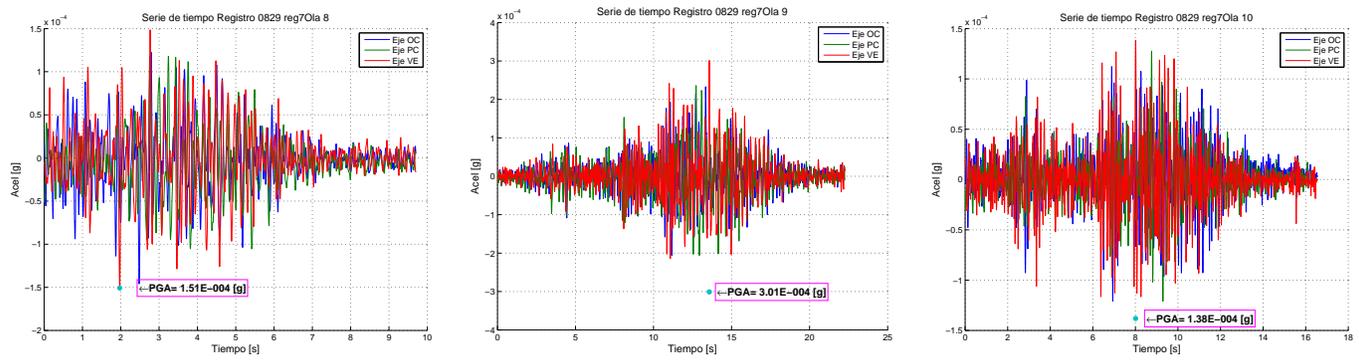


Figura D.40: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN8 a OlaN10

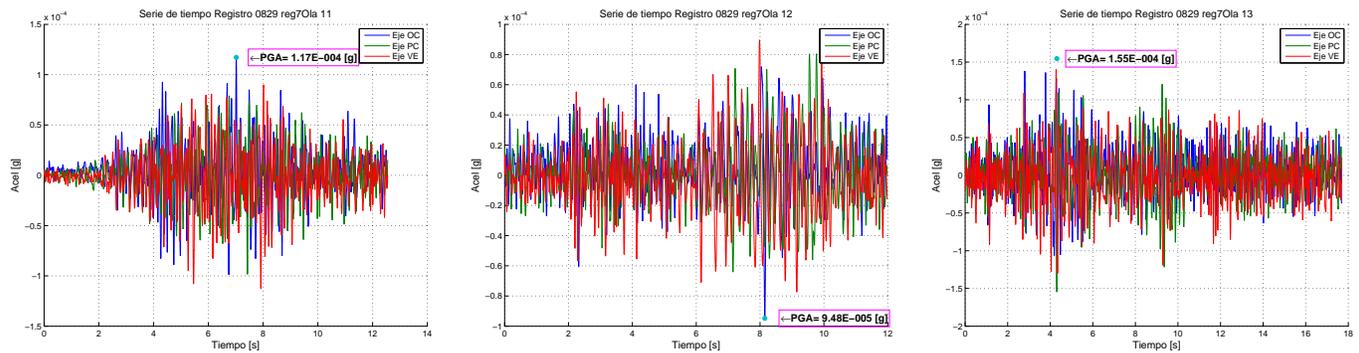


Figura D.41: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN11 a OlaN13

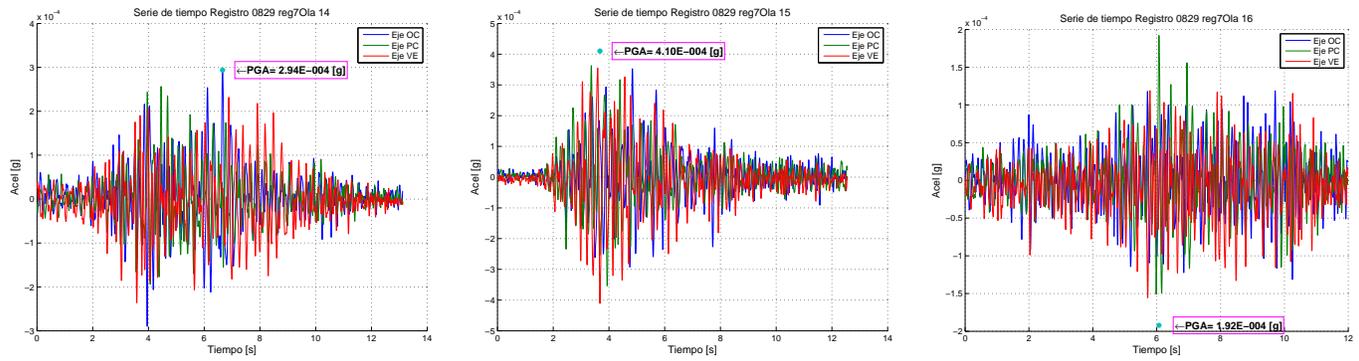


Figura D.42: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN14 a OlaN16

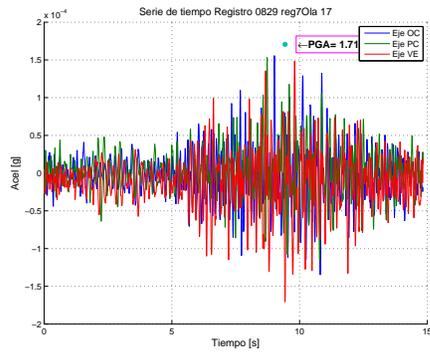


Figura D.43: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg7 OlaN17

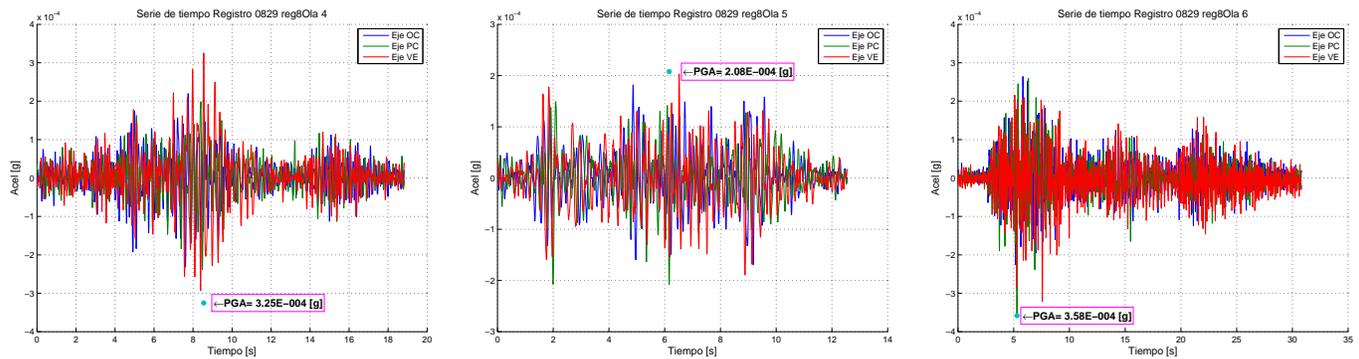


Figura D.44: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN4 a OlaN6

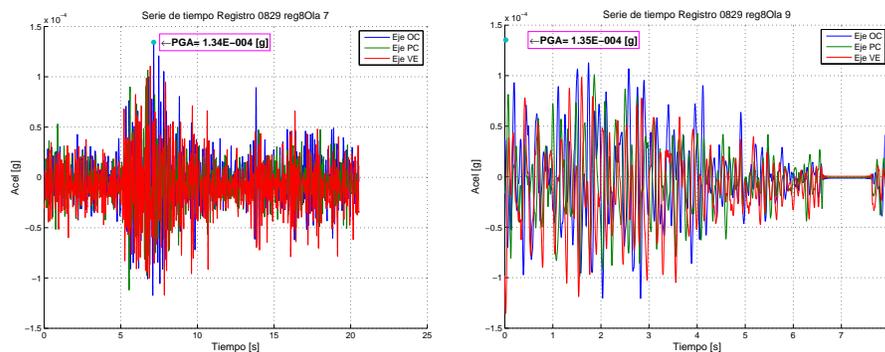


Figura D.45: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN7 a OlaN9

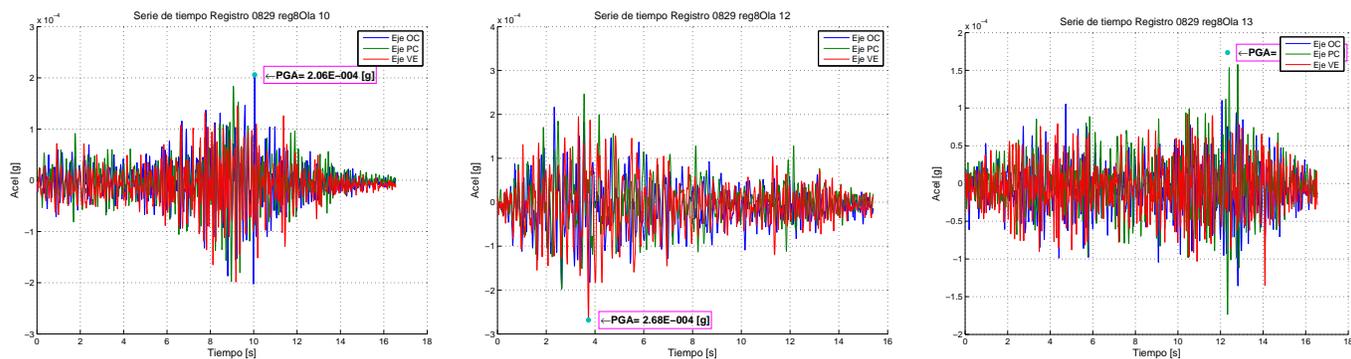


Figura D.46: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN10 a OlaN13

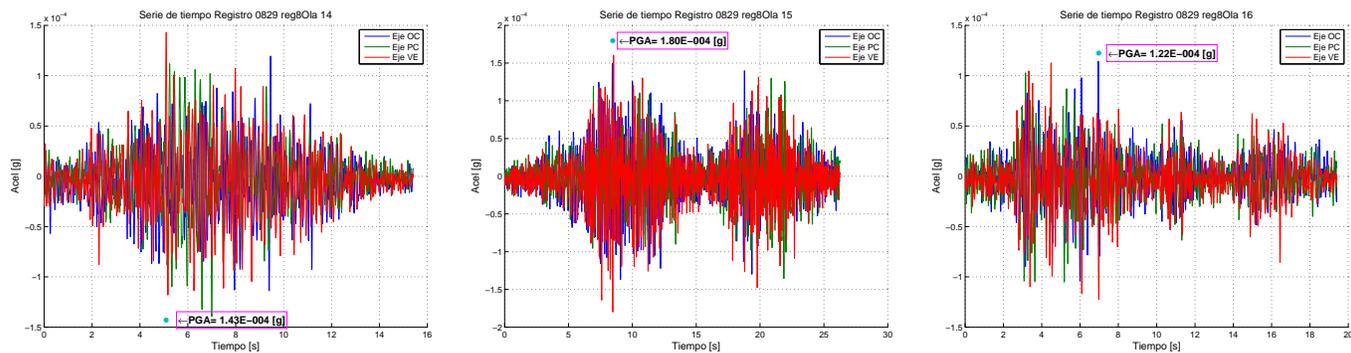


Figura D.47: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN14 a OlaN16

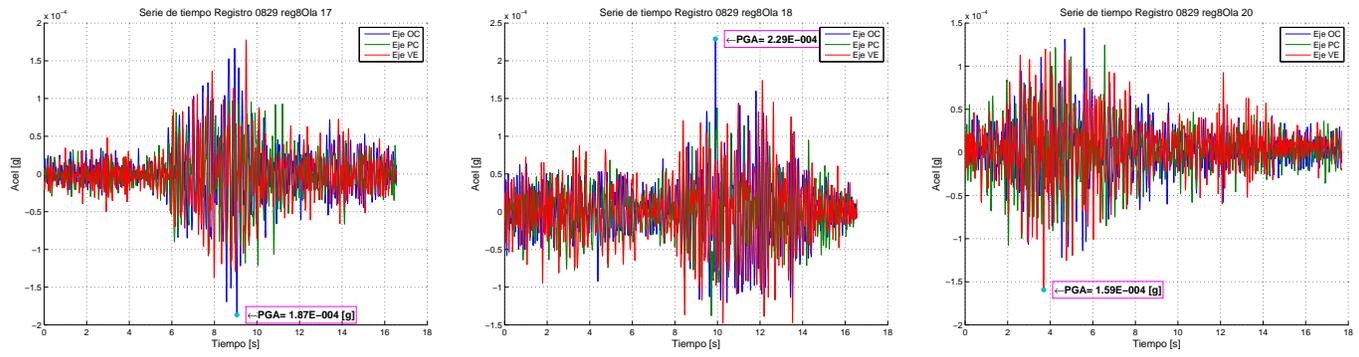


Figura D.48: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN17 a OlaN20

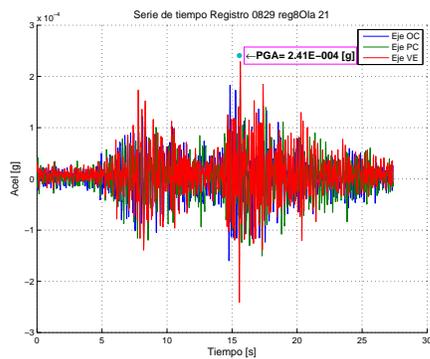


Figura D.49: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg8 OlaN21

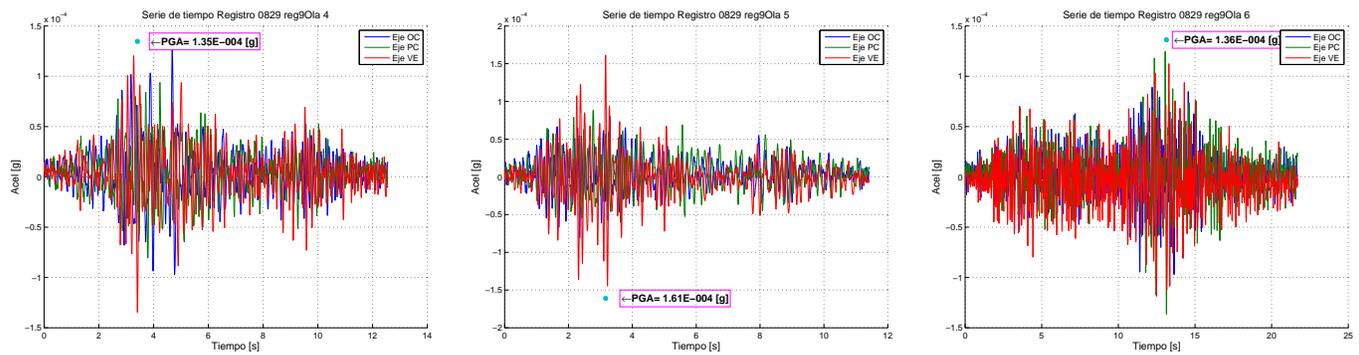


Figura D.50: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN4 a OlaN6

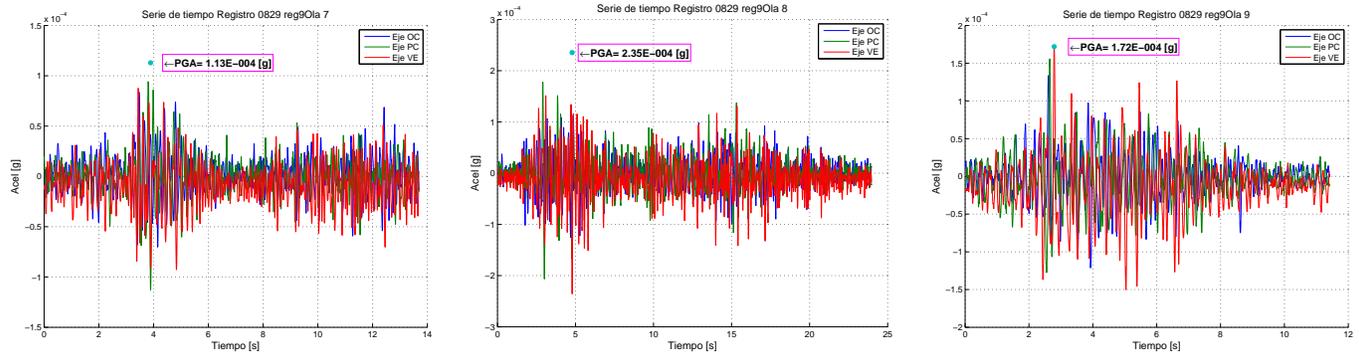


Figura D.51: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN7 a OlaN9

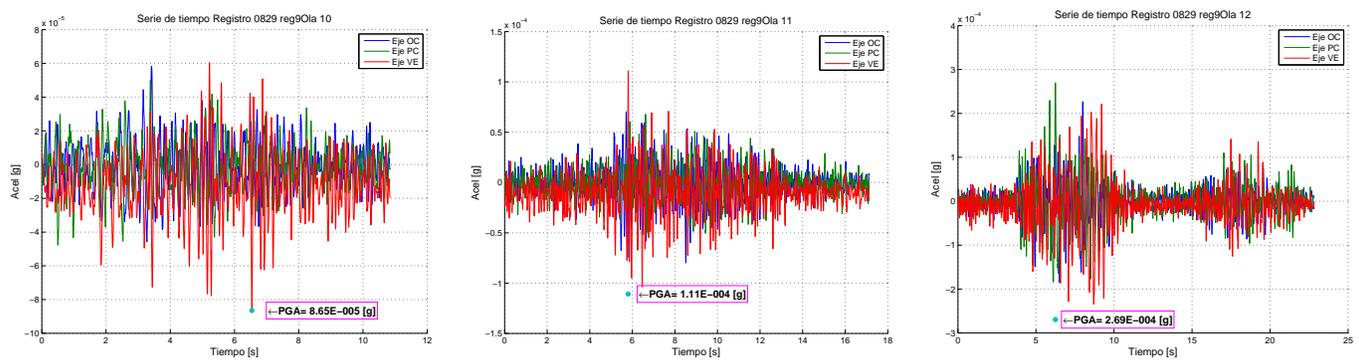


Figura D.52: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN10 a OlaN12

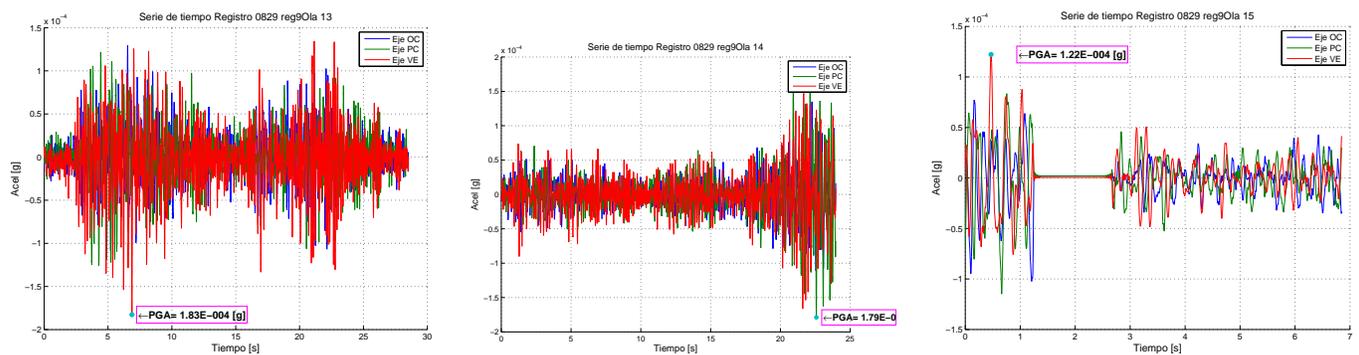


Figura D.53: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN13 a OlaN15

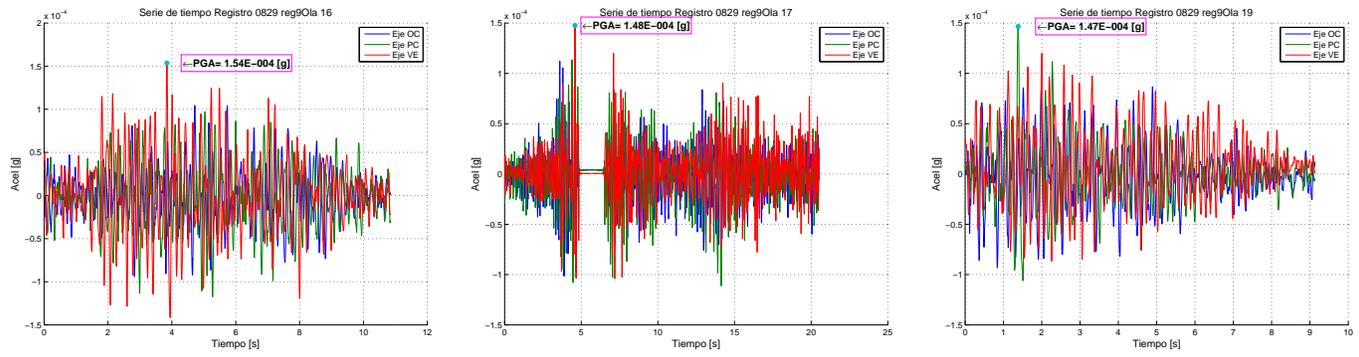


Figura D.54: Series de tiempo de olas F0829 Registro reg9 OlaN16 a OlaN19