

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



“INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CASETA ACELEROGRÁFICA PARA EL REGISTRO, PROCESAMIENTO, ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE SEÑALES SÍSMICAS EN UCAYALI”

**TESIS PARA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTANDO POR:

WALTER GILBERTO ROMAN CLAROS

ASESOR:

MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

PUCALLPA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS



ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 013-2022

GRADUANDO : Bach. WALTER GILBERTO ROMÁN CLAROS

TEMA : Tesis: "INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CASETA ACELEROGRÁFICA PARA EL REGISTRO, PROCESAMIENTO, ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE SEÑALES SÍSMICAS EN UCAYALI"

ASESOR : MG. DEVYN OMAR DONAYRE HERNÁNDEZ

CRITERIOS	PUNTAJE			
	3	2	1	0
I- PRESENTACION				
* MOTIVACION	X			
* TONO DE VOZ		X		
* CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL	X			
II- DESARROLLO DE CONTENIDO				
* SECUENCIA		X		
* DOMINIO DE VOZ		X		
* USO ADECUADO DEL MATERIAL	X			
* VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS		X		
III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS				
* RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO	X			
IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO				
* AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD	X			
* A LA PROFESION	X			

EVALUACION

- EXCELENCIA 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO 15 A MENOS

CALIFICACION FINAL:

PUNTAJE : 26/30

CONCLUSIONES:

APROBADO POR : **EXCELENCIA**
 DESAPROBADO POR :

JURADO EVALUADOR

- DR. DAVID ABEL GONZÁLEZ MANRIQUE DE LARA
- MG. ELEUTERIO PÉREZ SAGÁSTEGUI
- MG. JOEL VICTOR QUISPE AUCCASI

presidente

Miembro

Miembro

SECRETARIA ACADÉMICA: ING. MSC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA

PUCALLPA, 07 DE NOVIEMBRE DEL 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

CONSTANCIA

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

N° V/0705-2022

La Dirección de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final de Tesis, titulado:

“INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CASETA ACELEROGRÁFICA PARA EL REGISTRO, PROCESAMIENTO, ANÁLISIS Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE SEÑALES SÍSMICAS EN UCAYALI”.

Autor(es) : ROMAN CLAROS, WALTER GILBERTO
Facultad : INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL
Escuela Profesional : ING. CIVIL
Asesor (a) : MG. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio URKUND, dicho documento presenta un **porcentaje de similitud de 09%**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de similitud, por lo que SI se aprueba su originalidad.

En señal de conformidad y verificación se firma y se sella la presente constancia.



FECHA 09/11/2022



Mg. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual



AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

Yo, WAITER GILBERTO ROMAN CIAROS

Autor(a) de la TESIS de pregrado titulada: INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CASETA ACELEROGRAFICA PARA EL REGISTRO, PROCESAMIENTO, ANALISIS Y CORRELACIÓN DE PARÁMETROS DE SEÑALES SISMICAS EN UCAYALI.

Sustentada el año: 2022

Con la asesoría de: ING. MG. DEUYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ

En la Facultad: INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL

Escuela profesional: INGENIERIA CIVIL

Autorizo la publicación:

PARCIAL Significa que se publicará en el repositorio institucional solo la caratula, la dedicatoria y el resumen de la tesis. Esta opción solo es válida marcar si su tesis o documento presenta material patentable, para ello deberá presentar el trámite de CATI y/o INDECOPI cuando se lo solicite la DGPI UNU.

TOTAL Significa que todo el contenido de la tesis y/o documento será publicada en el repositorio institucional.

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

Primero: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali **licencia no exclusiva** para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

Segundo: Declaro que la **tesis es una creación de mi autoría** y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 09/11/2022

Email: ingwalterromanch@gmail.com
Teléfono: 961657930

Firma: [Firma]
DNI: 00083727

DEDICATORIA

A Dios,

Por haber permitido llegar hasta este punto y darme la salud necesaria para lograr mi objetivo de mi segunda carrera.

A mi madre que en paz descansa en el infinito, mi papá que está en vida, son el motivo y razón de seguir adelante, por sus consejos, valores, motivaciones que me dieron, permite ser persona del bien.

A mi esposa Lezly, mis hijos Walter y Lezly, que son la razón de mi existir y que día a día me inspira para ser un profesional del bien.

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Jorge Alva Hurtado, Ex Decano Nacional de Colegio de Ingenieros del Perú y Ex Rector de la Universidad Nacional de Ingeniería, pionero de la Ingeniería sísmica y red Acelerográfica del Perú, mi agradecimiento, a los docentes de la Escuela de Ingeniería Civil de la UNU.

RESUMEN

La investigación está basada en la Instalación e implementación de una caseta acelerográfica para el registro, procesamiento, análisis, correlación de parámetros de señales sísmicas en Ucayali y generar mayor conocimiento del comportamiento dinámico del suelo. El tipo de investigación es aplicada, transversal, longitudinal, nivel y diseño descriptivo explicativo y analítico, muestreo no probabilístico. Se utilizó como técnica, la medición de datos mediante acelerógrafo. Se generó una base de datos de registros de 64 sismos con magnitud \geq a 4.5 Mw, ocurridos entre enero del 2019 a agosto del 2022, zona 2 y parte de zona 1 y 3; y se tomó como unidad de análisis muestral el sismo de mayor magnitud e importancia ocurrido el 26 de mayo del 2019 en la zona de Lagunas, Alto Amazonas Loreto, de magnitud 8.0 Mw e intensidad V–VI de la escala modificada de Mercalli con el cual se hizo el procesamiento, la determinación de los parámetros mediante software SeismoSignal y Seismoprocessor, asimismo para la correlación se tomó como variables crítica la aceleración máxima y la magnitud. La máxima aceleración obtenida fue de 95.84 cm/seg² en la componente EO, registrado en la estación de la UNTRM como código fuente; en la estación del CIP Ucayali, escalado mediante software fue de 14.6193 cm/seg², en la componente EO. La amplitud de la aceleración espectral fue mayor en la componente EO; para un amortiguamiento del 5% el máximo del espectro de pseudo aceleración fue de 347.34 cm/seg², en la componente EO y la amplitud de la aceleración espectral es mayor en la componente EO. En la estación del CIP CDU Ucayali fue de 40.12 cm/seg², en la componente EO y considerada como lugar de asiento de arcilla de alta compresibilidad. La función de regresión, grado de determinación y correlación con ajuste logarítmica de Pearson $y=117.47\ln(x)- 181.08$, $r=0.71$, es positiva y se acepta la hipótesis de relación entre la magnitud y la PGAm_{ax} evaluada.

Palabras claves: Acelelograma, Aceleración Máxima, Espectro de respuesta, correlación.

ABSTRACT

The research is based on the installation and implementation of an accelerographic booth for recording, processing, analysis, correlation of seismic signal parameters in Ucayali and generating greater knowledge of the dynamic behavior of the soil. The type of research is applied, cross-sectional, longitudinal, level and explanatory and analytical descriptive design, non-probabilistic sampling. Data measurement using an accelerograph was used as a technique. A database of records of 64 earthquakes with a magnitude ≥ 4.5 Mw, which occurred between January 2019 and August 2022, zone 2 and part of zones 1 and 3, was generated; and the earthquake of greater magnitude and importance that occurred on May 26, 2019 in the area of Lagunas, Alto Amazonas Loreto, of magnitude 8.0 Mw and intensity V-VI of the modified Mercalli scale, with which the processing was done, the determination of the parameters using SeismoSignal and Seismoprocessor software, likewise for the correlation, the maximum acceleration and magnitude were taken as critical variables. The maximum acceleration obtained was 95.84 cm/sec^2 in the EO component, registered in the UNTRM station as source code; at the CIP Ucayali station, scaled by software, it was 14.6193 cm/sec^2 , in the EO component. The amplitude of the spectral acceleration was higher in the EO component; for a 5% damping, the maximum of the pseudo acceleration spectrum was 347.34 cm/sec^2 , in the EO component and the amplitude of the spectral acceleration is greater in the EO component. At the CIP CDU Ucayali station it was 40.12 cm/sec^2 , in the EW component and considered as a site of high compressibility clay settlement. The regression function, degree of determination and correlation with Pearson logarithmic fit $y=117.47\ln(x)- 181.08$, $r=0.71$, is positive and the hypothesis of relationship between the magnitude and the evaluated PGAm_{ax} is accepted.

Keywords: Accelerogram, Maximum Acceleration, Response Spectrum, Correlation.

INDICE DE CONTENIDOS

	Pag.
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT.....	viii
INDICE DE CONTENIDOS	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. PROBLEMA GENERAL	2
1.3. OBJETIVOS	3
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	4
1.5. LIMITACIONES Y ALCANCES	4
1.6. HIPÓTESIS.....	5
1.7. SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	6
1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	6
1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE	6
1.8. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES.....	6
CAPÍTULO II.....	8
MARCO TEÓRICO	8
2.1. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS	8
2.2. BASES TEÓRICAS	9
2.3. ESTACIONES ACELEROMÉTRICAS.....	34
2.4. Mapas de actividad sísmica del Perú y el mapa de zonificación sísmica de la Norma E030.	43
2.5. TRATAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS	47
2.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	52
CAPÍTULO III.....	62

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	62
3.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS	62
3.1.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	62
3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	63
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	65
3.2.1. POBLACION O UNIVERSO	65
3.2.2 MUESTRA	66
3.3 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	68
3.4. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS	69
CAPÍTULO IV.....	77
RESULTADOS.....	77
4.1. INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN ACELERÓGRAFICA 77	
4.2. CARACTERISTICA TECNICAS DEL EQUIPOS INSTALADO (CIP CDU)	78
4.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTACIÓN ACELEROGRAFICA	82
4.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES SISMICAS USANDO SEISMOPROCESSOR	86
4.5. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES SISMICAS DEL SISMO DE MAYOR MAGNITUD USANDO EL SEISMOSIGNAL Y SEISMOPROCESSOR	87
4.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CORRELACIONAL Y/O CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	104
CAPÍTULO V.....	110
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	110
CONCLUSIONES	112
SUGERENCIAS	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	116
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Categoría de las construcciones	23
Tabla 2. Escala de Mercalli Modificada.....	23
Tabla 3. Media y desviación estándar (σ) del PGA (cm/s ²) del conjunto de datos para cada MMI de sismos (enero 2019 – agosto 2022)	104
Tabla 4. CORRELACIONES Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Placas tectónicas mayores - (USGS, 2014)	11
Figura 2. Tectónica Peruana - (PREDES, Centro de estudios y prevención de desastres, 2019).....	14
Figura 3. Falla de Tambomachay - (INGEMMET, 2012)	15
Figura 4. Terremoto de 1970 - (VadilloVila, 2020).....	16
Figura 5. Terremoto de Pisco 2007 (La República, 2017)	17
Figura 6. Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 50 años (Castillo & Alva, 1993).....	18
Figura 7. Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Castillo & Alva,1993).....	19
Figura 8.Sismicidad de Perú para el período 1960-1995, mb =5(NEIC). a) Distribución de epicentros con foco superficial.	21
Figura 9. Ilustración de la Escala de Intensidades	25
Figura 10. Distribución de hipocentros en América del Sur.....	27
Figura 11. Profundidad del hipocentro.	28
Figura 12. Corrección por línea base. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.	29
Figura 13. Filtrado de la señal.	30
Figura 14. Historias de aceleración, velocidad y desplazamiento. Fuente: Sitio web- Red acelerográfica del Perú.....	30
Figura 15. Mapa Sísmico y derecha del Perú (1960-2021).....	44
Figura 16. Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.	45
Figura 17. Representación poligonal de un acelerograma.	47
Figura 18. Análisis del Comportamiento Sísmico en una Zona de Suelos Blandos del Valle de Oaxaca (2012), Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México- Medrano V.	51
Figura 19. Mapa sísmico del Perú , Periodo 1960 – 2021.....	67
Figura 20. Plano de arquitectura y estructuras de la caseta acelerográfica.	82
Figura 21. Diagrama de conectividad local hacia el servidor	84
Figura 22. Diagrama de Redes e Integración remota.....	85
Figura 23. Arquitectura de Comunicación Reftek	85
Figura 24. Estructura de la base de datos para el procesamiento digital de señales sísmicas.	86

Figura 25. Valores de Parámetros de Intensidad – EO - Procesados con Seismoprocessor.....	99
Figura 26. Número de puntos evaluados Vs Intensidad de Mercalli Modificada MMI	105
Figura 27. Vista de variables SPSS VS 25.00.....	106
Figura 28. Vista de datos SPSS VS 25.00	106
Figura 29. Diagrama de dispersión y línea ajustada de variables críticas (Aceleración máxima y la magnitud Mw.	107

INTRODUCCIÓN

Los sismos, temblores y terremotos son términos usuales para referirse a los movimientos de la corteza terrestre, sin embargo, técnicamente hablando, el nombre de sismo es más utilizado (terremoto se refiere a sismos de grandes dimensiones).

Según Hernando Tavera, director del Instituto Geofísico del Perú (IGP), nuestro territorio peruano se encuentra ubicado en una de las regiones de mayor actividad sísmica en el mundo y, por ello, estará siempre expuesto a ser afectado por sismos de diferente magnitud y niveles de sacudimiento del suelo.

El Perú es uno de los países más sísmicos de América del Sur e históricamente, ha sido testigo de la ocurrencia de grandes terremotos que han producido pérdidas tanto humanas como materiales; existe una base de datos sísmica del Perú clasificada en Sismos Históricos ocurridos entre los años 1471 - 1959 y Sismos Instrumentales ocurridos después del año 1960 a la fecha. según información sistematizado por el tesista de datos tomados como fuente del Instituto Geofísico del Perú IGP, alrededor de 3340 sismos mayores o iguales a 4.5 Mw se ha producido en la selva (zona 2) los últimos cuatro años (2019, 2020, 2021 hasta agosto del año 2022), periodo de análisis de la investigación.

Es importante recalcar que también los sismos últimamente con mayor presencia se han presentado en las zonas andinas y en menor escala en las sub andinas, pero debemos recalcar que en la zona sub andina, fueron importantes los sismos de 1990 y 1991 que causaron daños en las ciudades de Rioja y Moyobamba y entre los años 2018 y 2019.

Según Lincolnd Bernal, el Perú es una zona de frecuente actividad sísmica por corresponder a la franja de fricción del movimiento relativo de dos placas tectónicas: la placa de Nazca, que ocupa buena parte del subsuelo del Océano Pacífico y cuyo borde de colisión se extiende desde Panamá hasta el sur de Chile; y la placa Sudamericana, que comprende desde la fosa marina de Perú-Chile en el oeste hasta el eje de la Cordillera del Atlántico Sur en el este. La placa de Nazca se desplaza en dirección N 80° E, a una velocidad promedio de 11cm anuales. La placa de Nazca sufre, además, un proceso de subducción por debajo de la placa Sudamericana. Este

proceso da origen a sismos de importante intensidad en el borde oeste de América del Sur.

Desde hace 52 años, el Perú ha sido foco principal de sismos de gran magnitud, la del año 1970 que arrasó Yungay y anexos en Huaraz, el de Pisco en Ica, año 2007 y por último el sismo de magnitud 8.0 que aconteció a 70 kilómetros al sureste de Lagunas, en Loreto, es el segundo más fuerte, después del año 2007; ello revela que la gran energía sísmica que se acumuló desde el terremoto de 1746 no se ha liberado en su totalidad.

Hay una explosión de crecimiento de las ciudades y va surgiendo la necesidad imperiosa de tener estructuras sismorresistentes seguros, por lo que es necesario contar con información que podamos obtener parámetros del comportamiento del suelo.

El CISMID-UNI, realizó un estudio referente a las aceleraciones que se generan en el suelo en las distintas regiones del país y se obtuvo un mapa de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años; la Región de Ucayali tiene una Isoaceleración que oscila entre: 0.24, 0.26, 0.28, 0.30. Sin embargo, en el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente toma un valor de $Z = 0.25$.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), en convenio con SENCICO, EPG CISMID-UNI y el Colegio de Ingenieros del Perú han ido implementando la red de acelerógrafos a lo largo del territorio nacional, lo cual está permitiendo obtener informaciones muy valiosas para la aplicación en el campo de la ingeniería de la construcción, en la prevención e investigación.

Por lo general, cuando se produce un sismo, la acumulación de la energía se da en un período determinado de tiempo; la cuantificación de estos eventos sísmicos se denomina magnitud, es esta magnitud la cual se toma como referencia para el cálculo de las aceleraciones en el suelo y en las edificaciones; y tomando en cuenta que la norma técnica de diseño sismorresistente E.030 – 2018, establece que es necesario instrumentar con un acelerómetro o acelerógrafo las estructuras con más de 10000 m² a fin de obtener información sobre la ocurrencia de sismos para implementar una

base de datos que contribuirá a las investigaciones en el país; entonces es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo y una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación, análisis e interpretación de los acelerogramas de las ondas que se registran en un lugar determinado, para ello se requiere la instalación de la caseta acelerográfica. Eso es lo que se presenta en la presente investigación compuesto de cinco capítulos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN Y FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA

Sin lugar a duda en el mundo entero existen fenómenos naturales diversos y uno de ellos son los eventos sísmicos, esto puede generar deslizamiento de taludes, licuación de suelos, desplome de las edificaciones, entre otros.

El Perú es uno de los países más sísmicos de América del Sur e históricamente, ha sido testigo de la ocurrencia de grandes terremotos que han producido pérdidas tanto humanas como materiales.

En los últimos 500 años, la zona costeña del Perú ha sido escenario de frecuentes sismos de diferentes magnitudes, también con mayor presencia las zonas andinas y en menor escala en las subandinas, pero debemos recalcar que en la zona subandina, fueron importantes los sismos de 1990 y 1991 que causaron daños en las ciudades de Rioja y Moyobamba y entre los años 2018 y 2019, los 4 últimos sismos de mayor intensidad del país, se produjeron en la selva (zona 2 y 3), ello amerita una reflexión y podemos estar pensando en un silencio sísmico que se puede activar esta zona, tomando en cuenta que en esta parte del continente, se ubican las ciudades de Moyobamba, Rioja, Pucallpa, Yurimaguas, Contamana, Puerto Inca, Curimaná, Satipo, Purús, lugares de frecuentes sismos en los últimos tiempos.

Cada día con la dinámica de crecimiento de las ciudades va surgiendo la necesidad imperiosa de tener estructuras sismorresistentes, para ello es necesario contar con la mayor cantidad de información que podamos obtener del comportamiento del suelo ante un movimiento sísmico, es por eso que las instituciones como el Instituto Geofísico del Perú (IGP), SENCICO, EPG CISMID-UNI y el Colegio de Ingenieros del Perú conscientes de ello han ido implementando la red de acelerógrafos a lo largo del territorio nacional, lo cual

está permitiendo obtener informaciones muy valiosa para la aplicación en el campo de la ingeniería de la construcción, en la prevención e investigación.

Nos queda claro entonces que los sismos no se pueden predecir ni evitar, pero podemos prevenir y lidiar sus efectos, consecuencias, para ello es fundamental la implementación de acelerógrafos, tal como el que ya está implementado en el Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Departamental de Ucayali, el Acelerógrafo modelo REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph, con la que se realizó la presente investigación y en proceso de implementación al 95% en la Universidad Nacional de Ucayali, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, cuyo instrumental permitirá integrarnos a la red nacional y generar información de acelerogramas de distribución, muy necesaria para la evaluación y diseños de estructuras, amenaza sísmica, microzonificación, generación de información para las instituciones vinculadas a la prevención, mitigación y también a la contribución de la actualización de las normas E.030 Diseño Sismorresistente y E.050 Suelos y Cimentaciones, en esta parte selva del Perú. El proceso de instalación e implementación de la caseta acelerográfica, el registro, procesamiento, análisis y correlación de parámetros de señales sísmicas, es lo que se pretende en la presente investigación.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿La instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica permitirá generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos y correlacionar parámetros de señales sísmicas en Ucayali?.

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿De qué manera el sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa permitirá conocer el comportamiento dinámico del suelo y tener aplicaciones favorables con los reportes analizados en el periodo enero del 2019

hasta agosto del 2022?.

2. ¿Permitirá la base de datos de los registros acelerográficos de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022, procesar mediante la aplicación de software e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento, espectros de respuesta?
3. ¿Cuál será la Correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental, en el periodo de enero del 2019 hasta agosto del 2022?.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Instalar, implementar y poner en funcionamiento una caseta acelerográfica para generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos mediante el procesamiento y correlación de los parámetros de señales sísmicas en Ucayali.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Conocer el sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa para conocer el comportamiento dinámico del suelo y tener aplicaciones favorables con los reportes analizados en el periodo enero del 2019 hasta agosto del 2022?.
2. Analizar y caracterizar los registros acelerográficos de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022 y procesar mediante la aplicación de software e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento, espectros de respuesta.

3. Determinar la Correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental, en el periodo de enero del 2019 hasta agosto del 2022.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Considerando que los sismos son eventos aleatorios probabilísticos, aunque la vida urbana nos desacostumbra a los embates de la naturaleza, el proyecto permitirá conocer los parámetros sísmicos, con ello la ciudadanía valorará esta asociación entre ciencia y bienestar, con la información que servirá en las zonas más vulnerables.

Si bien es cierto a través del Instituto Geofísico del Perú (IGP) se hace la detección del epicentro de los sismos, sin embargo, hay información mucho más importante con la implementación de equipos de medición y se podría difundir entre las autoridades, para una mejor toma de decisiones, como por ejemplo con INDECI y realizar planes de prevención y mitigación de desastres.

Se espera que el impacto sea directo de la tesis a desarrollar y su implementación influirá en el aspecto académico, de investigación, con el registro de los sismos en esta parte del país, diferenciado por el tipo de suelo con relación a la costa y sierra.

1.5. LIMITACIONES Y ALCANCES

LIMITACIONES

TEÓRICO

La investigación es imperativa, ya que se requiere de la intervención de un tesista abocado al tema y un equipo especializado de profesionales como asesores.

TEMPORAL

El estudio se inicia después de ser aprobado el presente proyecto de investigación y tiene una duración mínima de 06 meses.

ESPACIAL

El estudio abarca el ámbito regional y nacional, ya que, de instalarse la caseta, esta estará enlazado a la red acelerográfica del Perú y al CISMID-Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

ECONÓMICO

El financiamiento del estudio será cubierto con fondos del tesista y con recursos de la Universidad Nacional de Ucayali vía convenio ya firmado con la Universidad Nacional de Ingeniería-UNI.

ALCANCES

El alcance de la presente investigación es establecer un hito en Pucallpa, tiene alcance nacional, ya que vía convenio se estará enlazando a la Red Acelerográfica Nacional.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

La instalación, implementación y funcionamiento una caseta acelerográfica permitirá generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos mediante el procesamiento y correlación de los parámetros de señales sísmicas en Ucayali.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Los registro del sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa tiene aplicaciones favorables, porque permitirá conocer el comportamiento dinámico del suelo y correlación en el periodo enero del 2019 hasta agosto del 2022?.

2. La instalación e implementación de una caseta acelerográfica permitirá caracterizar, procesar y analizar los registros de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022 e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta
3. La correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental en la zona 2, en el periodo del mes de enero del 2019 a agosto del 2022 es positivo (alto, medio, bajo).

1.7. SISTEMA DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

1.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

- **Registro del movimiento del suelo (acelerogramas)**
 - a) Magnitud del sismo en la escala de Richter y Mw.
 - b) Hipocentro del sismo.
 - c) Tiempo historia de velocidades y desplazamiento.
 - d) Aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta.
 - e) Instrumentación sísmica.

1.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

- **Intensidad, Análisis e interpretación de parámetros sísmicos.**
 - Tratamiento de acelerogramas por componentes ortogonales (V, NS, NO).
 - Intensidad en escala de Mercalli Modificado - MMI.

1.8. DEFINICIÓN OPERACIONAL DE VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES

TIPO DE VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION O UNIDAD DE MEDIDAD
<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Registro del movimiento del suelo (acelerogramas).</p> <p>a). Magnitud del sismo en la escala de Richter y Mw.</p> <p>b). Hipocentro del sismo.</p> <p>c). Tiempo historia de velocidades y desplazamiento.</p> <p>d). Aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta.</p> <p>e). Instrumentación sísmica.</p>	<p>Los acelerógrafos, son instrumento que registra las aceleraciones del terreno versus el tiempo. Se activan a cierto nivel de movimiento por ejemplo cuando la aceleración vertical del terreno excede un cierto valor de aceleraciones (umbral de disparo Registros de la aceleración en función del tiempo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Instrumentación sísmica. • Magnitud en la escala de Richter, Mw. 	<p>Magnitud</p> <p>Latitud</p> <p>Longitud</p> <p>Profundidad</p> <p>Fuente</p> <p>Fecha</p> <p>Hora</p> <p>Distancia</p>	<p>Mw</p> <p>Km</p> <p>dias</p> <p>min,</p> <p>seg,</p> <p>hora.</p>
<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE:</u></p> <p>Intensidad, análisis e interpretación de parámetros sísmicos.</p> <p>a). Tratamiento de acelerogramas por componentes ortogonales (V, NS, NO).</p> <p>b). Intensidad en escala de Mercalli Modificado - MMI.</p>	<p>Son valores que relacionan el tamaño y la destructividad de un terremoto son: magnitud, momento, intensidad, aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de acelerogramas por componentes ortogonales (V, NS, NO). • Tiempo historia de velocidades y desplazamiento. • Aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta. • Intensidad en escala de Mercalli modificada MMI. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aceleración • Velocidad • Tiempo • Desplazamiento • Periodo • Amplitud • Frecuencia • Intensidad 	<p>cm/seg² (gal)</p> <p>cm/seg</p> <p>Seg</p> <p>cm</p> <p>T</p> <p>A</p> <p>Hertz</p> <p>Escala cualitativa</p>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES O REVISIÓN DE ESTUDIOS REALIZADOS

A nivel Internacional

Susagna, T., Cabañas L., Goula X., Alcalde J. Belvaux M. (2012), en su investigación “Análisis de los parámetros de los acelerogramas registrados en los seísmos de Lorca, de interés para la Ingeniería”, Institut Geològic de Catalunya Barcelona, Instituto Geográfico Nacional Madrid, ha permitido registrar numerosos acelerogramas en las distintas estaciones de la red acelerométrica del Instituto Geográfico Nacional (IGN). El análisis de parámetros calculados de manera uniforme ha dado lugar a resultados de interés para la ingeniería sísmica, en particular los correspondientes a los registros de la ciudad de Lorca. La intensidad del movimiento se ha puesto de manifiesto especialmente en la componente horizontal del movimiento, perpendicular a la falla de Alhama de Murcia, que originó el terremoto. Tanto el valor del PGA de 0.37g, como del CAV de 0.27g•s pueden haberse visto compensados por una duración corta del movimiento de unos pocos segundos, dando lugar a una intensidad macrosísmica no superior a VII en Lorca. La contribución de una componente de campo próximo al movimiento total, debido a la propagación de la ruptura hacia la ciudad, queda reflejada tanto en las señales temporales de aceleración velocidad y desplazamiento como en el espectro de respuesta.

A nivel Nacional

Felices, Christian (2020), en “Instrumentación Estructural de Edificios en Países Sísmicos”, Pontificia Universidad Católica del Perú, explora la normativa internacional referida a la instrumentación sísmica de edificios y la aplicación de un sistema de procesamiento de señales sísmicas registradas en edificios instrumentados bajo la normativa de instrumentación sísmica peruana. Las normativas revisadas pertenecen a Colombia, Venezuela, Chile, Costa Rica, Turquía, Estados Unidos y Filipinas. Esta recopilación se presenta en cuadros

informativos con las principales disposiciones de cada capítulo de instrumentación. Asimismo, se incluye una comparación entre las estipulaciones de una de las normativas estudiadas versus las disposiciones sugeridas por las principales guías internacionales de monitoreo sísmico de edificaciones. Finalmente, se sugieren aspectos normativos a incluir en el capítulo de instrumentación sísmica peruana propuestos en base a la información estudiada. Por otra parte, se revisan los conceptos básicos de señales sísmicas y su procesamiento. Luego, se presentan los conceptos y especificaciones técnicas de estaciones sísmicas y acelerómetros.

Después, se realiza el estudio de los métodos numéricos usados para el cálculo de la respuesta dinámica de modelos de un grado de libertad y la construcción de espectros de respuesta de desplazamiento, velocidad y aceleración. Finalmente, se desarrolla un programa en LabVIEW para la construcción de espectros de respuesta y la creación de reportes automáticos con la información obtenida del evento sísmico registrado en una edificación instrumentada.

Según el autor con esta herramienta nos permite obtener un resultado cuantitativo del progreso de los proyectos, obteniendo que se cumplan las expectativas conforme a lo planeado versus lo que sea ha ejecutado, permitiendo controlar las desviaciones que han ocurrido en el transcurso del proyecto para así poder corregir mediante el establecimiento de nuevos planes y procedimientos.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. LOS SISMOS

Según **(Tavera (2010))**, la libertad de expresión a través de las redes sociales y/o medios de comunicación, ha permitido que muchas personas realicen diversas predicciones para la ocurrencia de sismos. Es importante ignorar información de esta naturaleza por el hecho de que no es posible predecir los sismos. La población solo debe referirse a fuentes oficiales y especializadas como el Centro

Nacional de Monitoreo Sísmico Acelerométrico, a cargo del Instituto Geofísico del Perú.

Debe entenderse que el Perú es parte de la placa Sudamericana, que colisiona frontalmente con la placa de Nazca con velocidades del orden de 6 cm/año. Este proceso es la fuente de origen de los sismos en el Perú, proceso que no se va a detener y por lo tanto, siempre seremos afectados por sismos de diferentes magnitudes. Los sismos son cíclicos y no podremos evitarlos, ellos se harán presentes en algún momento.

A nivel mundial, los sismos con mayor magnitud han afectado a países que se encuentran alrededor del Océano Pacífico, en la zona conocida como; “Cinturón de Fuego del Pacífico”, es un proceso natural se considera a los sismos como sinónimo de vida; es decir, la Tierra es dinámicamente activa, no hay por qué alarmarse, pero si tomar las precauciones.

Según el Instituto Geofísico del Perú - IGP, define al sismo como proceso de generación y liberación de energía para posteriormente propagarse en forma de ondas por el interior de la tierra. Al llegar a la superficie, estas ondas son registradas por las estaciones sísmicas y percibidas por la población y por las estructuras.

Los sismos en el Perú son principalmente originados por el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana, cuya interacción es capaz de generar eventos sísmicos de gran magnitud ocasionados por la liberación repentina de energía acumulada de largos periodos de deformación y acumulación de esfuerzos.

“La actividad sísmica en el país es el resultado principalmente de la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana y de los reajustes que se producen en la corteza terrestre como consecuencia de la interacción y la morfología alcanzada por el Aparato Andino”.

(Castillo & Alva, 1993).

La región Andina es una de las regiones con más actividad sísmica de la Tierra, debido a la estructura tectónica de su territorio el Perú está expuesto a frecuentes sacudidas como terremotos, sismos y erupciones volcánicas además el margen occidental de América del Sur se localiza encima de dos placas sísmicas lo que en sismología se llama faja sísmica y se encuentra en la línea del cinturón del pacifico.

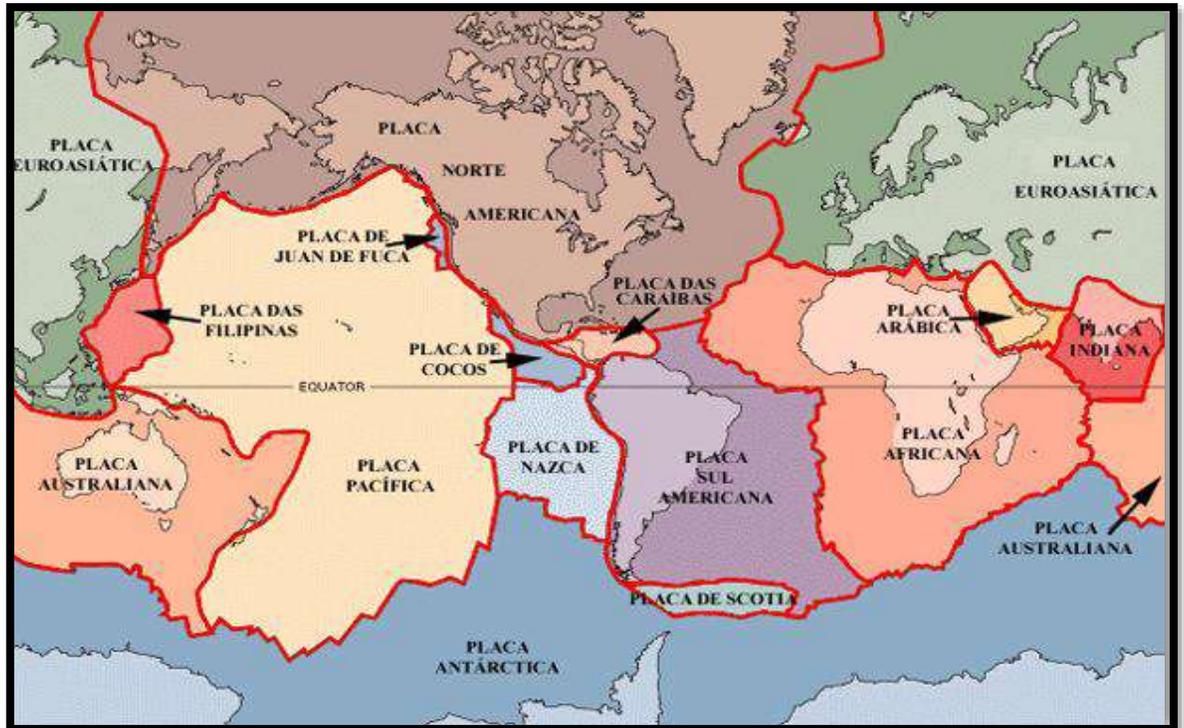


Figura 1. Placas tectónicas mayores - (USGS, 2014)

Fuente: Instituto Geofísico del Perú - IGP

El interior de la tierra está formado de la siguiente manera:

- a) Núcleo interno en estado líquido, densidad de 12 a 18 T/m³ y Temperatura 4000 a 5000°C.
- b) Núcleo externo en estado líquido, densidad de 10 a 12 T/m³ y Temperatura de 4000 a 5000°C.
- c) Manto en estado líquido, densidad de 3.3 a 6.0 T/m³ y Temperatura de 1200 a 4000°C.

- d) Corteza que tiene un espesor de 40 km en la zona continental y de 10 km en la parte más delgada bajo los océanos, se encuentra en estado sólido y densidad promedio de 2.70 T/m³ en la corteza se encuentran 15 placas tectónicas mayores y 43 menores que forman la superficie de la Tierra, Los continuos deslizamientos de las placas tectónicas en su movimiento sobre el manto terrestre fluido se deben a corrientes de materiales (líquidos o gases) que suceden en el mismo manto, a corrientes de convección, y, sobre todo, a la fuerza de la gravedad. Las corrientes de convección ocurren por las diferencias de temperatura y densidad en las diferentes capas de la tierra, así, los materiales más calientes que pesan menos ascienden y los materiales más fríos que son más densos y pesados, descienden.

El constante movimiento de las placas, aproximadamente 2.5 cm/año, explica la formación de las cadenas montañosas, “el por qué los terremotos y los volcanes se concentran en regiones concretas del planeta (como el Cinturón de Fuego del Pacífico) o por qué las grandes fosas submarinas están junto a islas y continentes y no en el centro del océano” **(Baron, 2013)**.

2.2.2. SISMICIDAD EN EL PERÚ

El Perú se encuentra sobre el Cinturón de Fuego del Pacífico, catalogado como una de las zonas de mayor actividad sísmica, Lo cual implica una amenaza latente para las vidas de los peruanos y para todo tipo de construcciones civiles. En tal sentido es importante y necesario contar con procedimientos cada vez más confiables que permitan conocer el comportamiento de un evento sísmico en una determinada región y de este modo estimar la demanda sísmica a la que podría estar sometida una estructura durante su vida útil para efectos de diseño.

(Tavera & Buforn, Sismicidad y sismo tectónica de Perú, 1998). La sismicidad histórica en el Perú empieza con la conquista y colonización de los

españoles y depende fundamentalmente de la concentración de población ya que fueron transmitidas en forma oral. **Silgado (1968, 1978, 1985)**, fue uno de los pioneros en este trabajo y realizó una de las más importantes aportaciones a la historia sísmica del Perú. Otros investigadores como **Dorbath et al. (1990)**, analizaron los grandes sismos históricos del Perú y obtuvieron estimaciones de parámetros como la longitud de ruptura y la magnitud momento, y caracterizaron la actividad sísmica en el norte, centro y sur del país. **Alva et al. (1984)** confeccionaron un mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú, en el que se representan los niveles de daños producidos por los terremotos peruanos. El mapa se ha basado en treinta isosistas de sismos peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes. La historia sísmica peruana ha sido evaluada por Dorbath en las regiones norte, central y sur. Cada una se muestra a continuación.

Zona Norte El único sismo histórico registrado en esta zona destruyó la ciudad de Trujillo en 1619. Este evento presentó una longitud de ruptura no muy bien definida de 100-150 km, obtenida con datos de microsismicidad. No se encontró referencias sobre ocurrencia de tsunamis. El mayor sismo desde los inicios de la sismicidad instrumental en esta zona corresponde al del 31 de Mayo de 1970, que produjo más de 50,000 muertes. Debido a los escasos eventos registrados en la zona Norte no es posible estimar el tiempo de recurrencia de grandes eventos.

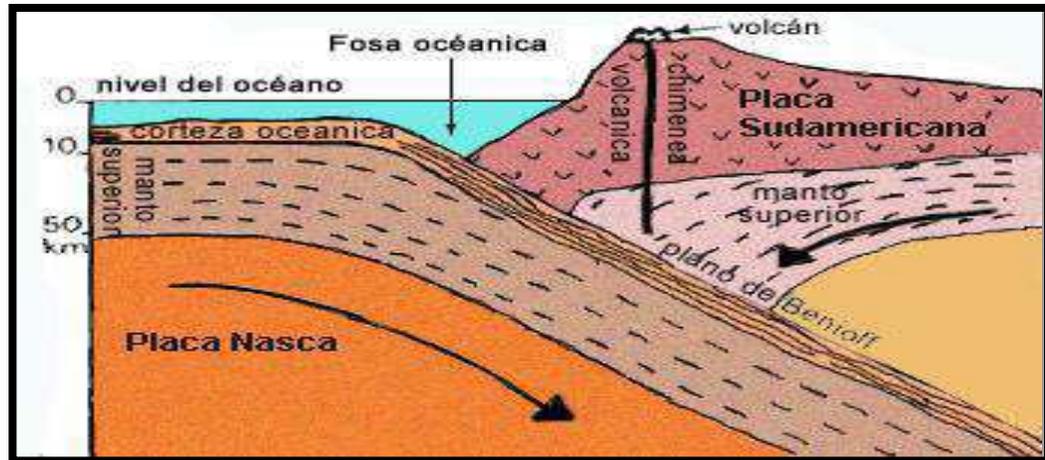


Figura 2. Tectónica Peruana - (PREDES, Centro de estudios y prevención de desastres, 2019).

2.2.3. SISMICIDAD POR FALLAS GEOLÓGICAS EN EL PERÚ

“Los sismos locales y regionales tienen su origen en la existencia de fallas geológicas locales, estos movimientos telúricos son de menor magnitud, pero al producirse muy cerca de la superficie, tienen un gran poder destructor.”

(PREDES Perú, 2012).

Se sabe, que resolver la cuestión sobre la forma de las deformaciones sismogénicas ayudaría a proponer la zona y tamaño del próximo evento. **Harry Fielding Reid en 1911**, lo logró utilizando datos geodésicos obtenidos por medio de mediciones repetitivas sobre los vértices geodésicos de redes de triangulación, llevadas a cabo sobre la zona epicentral del gran sismo de California en 1906.

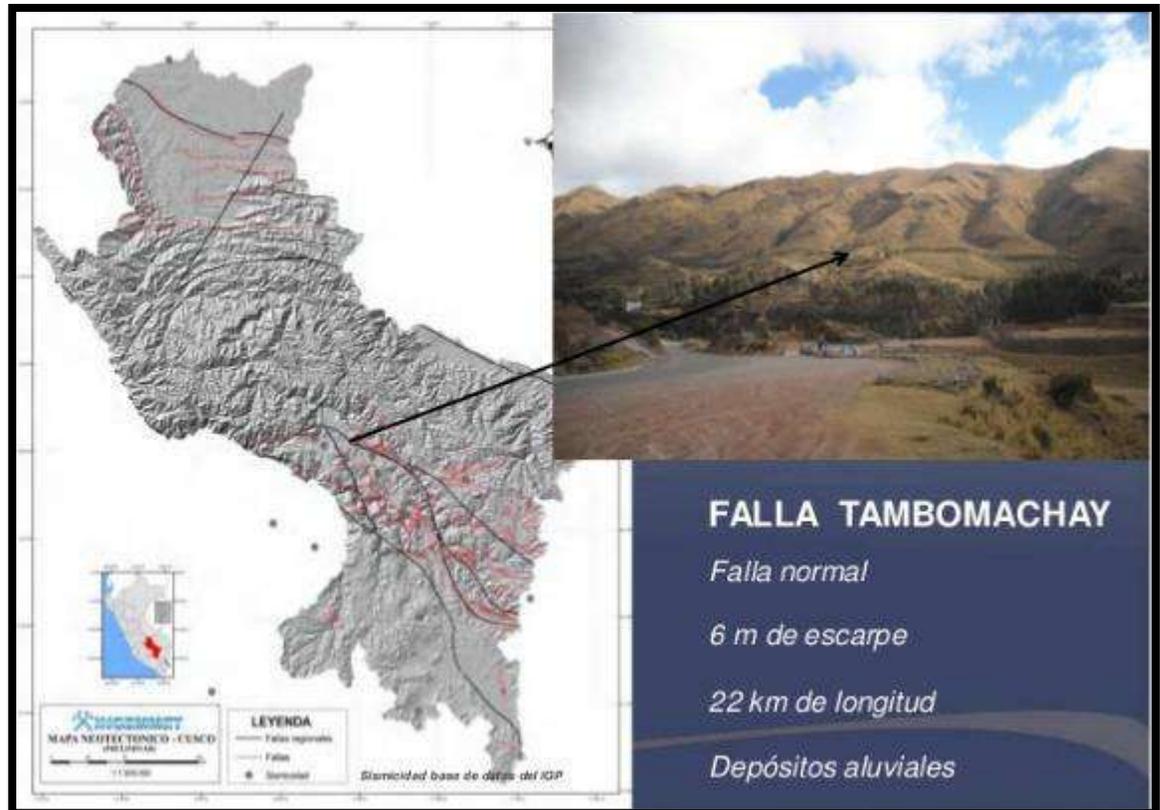


Figura 3. Falla de Tambomachay - (INGEMMET, 2012)

La sismicidad por fallas geológicas en el Perú está dominada por la cordillera de los Andes, abarcando zonas de sierra y selva; la zona andina cuenta con montañas elevadas y altas mesetas, que se encuentran bordeadas de profundas quebradas por las que pasan los ríos, formando valles y cañones que llegan a la selva y costa del Perú.

Por ejemplo, la región de Cusco está caracterizada por ser una zona de fallamiento de la corteza terrestre.

En total se identificaron 55 estructuras Plio - cuaternarias, a esta región la cruzan los sistemas de fallas geológicas activas: Zurite – Cusco – Urcos - Sicuani, Casacunca – Acomayo – Langui

- Layo, Chinchaypujio – Paruro - Acomayo y Ocongate **(Benavente, C.; Delgado, G.; Taibe, E.; Audin, L. & Pari, W, 2013)**.

2.2.4. SISMICIDAD HISTÓRICA EN EL PERÚ

“El terremoto más destructivo en la historia peruana se produjo en mayo de 1970 en Ancash, el cual causó alrededor de 70000 víctimas, entre muertos y desaparecidos. Lima tiene una larga historia de sismos. El más grande terremoto fue el de 1746. De 3 000 casas existentes en la ciudad, sólo quedaron 25 en pie. En el puerto del Callao, debido al tsunami ocurrido después del sismo, de un total de 4 000 personas sólo sobrevivieron 200. Otro terremoto importante ocurrió en 1940, de 8,2 grados Richter, causó 179 muertos y 3 500 heridos.”

(PREDES Perú,
2012).



Figura 4. Terremoto de 1970 - (VadilloVila, 2020)

“La historia más desoladora de Pisco se escribió un 10 de agosto del 2007. A las 18:40 horas, y durante los siguientes dos minutos, la tierra que sostiene Ica hizo un paréntesis para ver pasar sobre sus ojos la furia de la naturaleza. Un terremoto de 7,9 de magnitud en la escala de Richter azotó esta región, así como Chincha, Yauyos, Huaytara, Castrovirreyna y Cañete. Fue el movimiento telúrico más grande que soportó el país después del registrado en 1970. El epicentro del fenómeno se ubicó en las costas del Pacífico, a 40 kilómetros al oeste de Chincha Alta y a 150 kilómetros al suroeste de Lima. Las consecuencias de la energía liberada por la superposición de placas tectónicas fueron brutales”. (La República, 2017).



Figura 5. Terremoto de Pisco 2007 (La República, 2017)

2.2.5. PELIGRO SÍSMICO EN EL PERÚ

El peligro sísmico es la probabilidad de que ocurra un movimiento sísmico dentro del rango de ciertas intensidades en un lugar determinado. Cuando se habla de intensidad se habla además de varias características del sismo como su aceleración máxima, su contenido de frecuencias, los valores espectrales de velocidad del suelo, desplazamiento del suelo, su magnitud, o cualquier otro parámetro de interés.

“Dentro de la metodología para el cálculo del peligro sísmico se considera que los eventos sísmicos presentan una distribución de Poisson, que se caracteriza por suponer independencia entre los tiempos de ocurrencia, ya que cada uno de los sismos se considera como un evento aislado e independiente. Por ello es necesario depurar del catálogo todas las réplicas y premonitores, quedando los sismos como eventos principales”. **(Castillo & Alva, 1993)**.

En la Figura 6 y la Figura 7 se ve que los valores más altos de aceleración se concentran a lo largo de la costa peruana y van disminuyendo a medida que se avanza hacia el oriente. Estos valores en las figuras se consideran a nivel de roca o suelo firme sin considerar la influencia de las condiciones locales, ni los

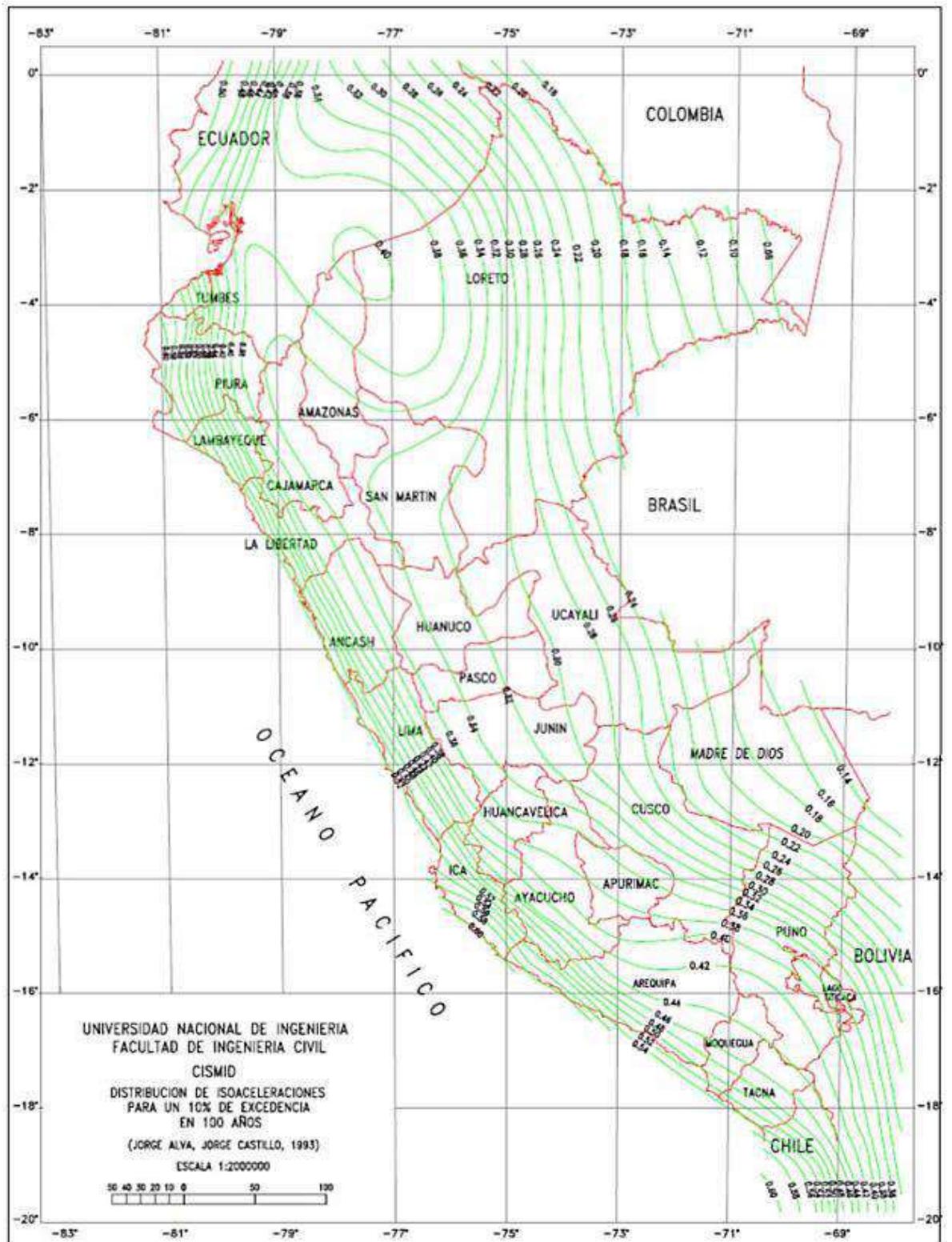


Figura 7. Distribución de Isoaceleraciones para un 10% de excedencia en 100 años (Castillo & Alva, 1993).

2.2.6. SISMICIDAD INSTRUMENTAL EN EL PERU

(Tavera & Buforn, *Sismicidad y sismotectónica de Perú*, 1998), menciona en la figura 8 de su informe publicada en la Universidad Complutense de Madrid donde se muestra el mapa de sismicidad de Perú para el periodo 1960-1995 con $m_b=5$ según el National Earthquake Information Center (NEIC). Atendiendo a la profundidad de los focos, los terremotos pueden clasificarse tres tipos: terremotos con foco a profundidad superficial ($h=60$ km), a profundidad intermedia ($60 < h \leq 350$ km) y foco profundo ($h > 350$ km). La sismicidad con foco a profundidad superficial se localiza en la zona oceánica en dirección paralela a la línea de costa (Stauder, 1975; Barazangi y Isacks, 1976), produciendo terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia (13 de enero de 1960, $M_s = 7,5$; 17 de octubre de 1966, $M_s = 8,0$; 31 de mayo de 1970, $M_s = 7,8$; 3 de octubre de 1974, $M_s=7,6$). El terremoto de 1970 localizado en esta zona, es considerado uno de los más catastróficos en el mundo por haber producido la muerte de 67.000 personas, 250.000 desaparecidos, 1000 heridos (Plafker et al., 1971; Abe, 1972; Silgado, 1978). Otro grupo importante de terremotos son los producidos por la subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina, estando la mayor parte de estos sismos localizados en la zona de transición entre la Cordillera Oriental y el margen occidental de la zona Subandina.

En la zona del Altiplano también existen sismos superficiales, pero son menos numerosos y más dispersos. En general, los terremotos que ocurren en esta zona presentan magnitudes moderadas (24 de julio de 1969, $m_b = 5,6$; 1 de octubre de 1969, $m_b = 5,8$; 30 de mayo de 1990, $m_b = 6,1$ y 5 de abril de 1991, $m_b = 6,5$). Asimismo, se observa la existencia de zonas de bajo índice de sismicidad entre la línea de costa y la Cordillera Occidental (4~S 13~S) y en la región Sur de Perú (I3QS~I60S), mostrando que en estas zonas el régimen de deformación cortical probablemente es menor o que existen períodos mayores de recurrencia para terremotos de magnitud elevada.

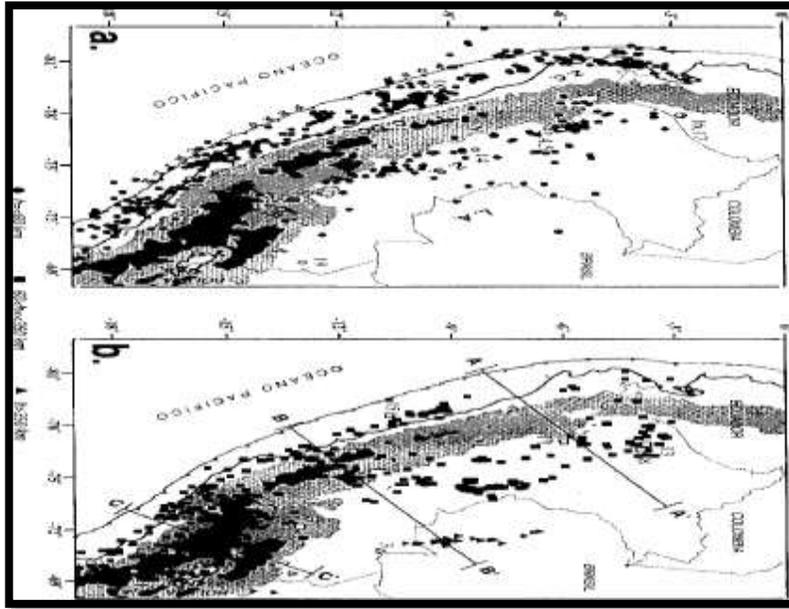


Figura 8. Sismicidad de Perú para el período 1960-1995, $m_b = 5$ (NEIC). a) Distribución de epicentros con foco superficial.

Fuente: Sismicidad y sismotectónica de Perú. Tavera y Buforn

2.2.7. MEDICIÓN DE TERREMOTOS

(Elnashai & Di Sarno, 2008), refiere en su libro que hay varias maneras de medir el tamaño de un terremoto, las cuales se dividen en 2 grupos Cualitativa o no instrumental y cuantitativa o medición instrumental; este último puede basarse en calibraciones regionales o aplicables en todo el mundo.

Asimismo, las mediciones instrumentales son esenciales en la compilación de catálogos históricos de terremotos para fines de análisis de peligro. Para los terremotos que se han registrado instrumentalmente, las escalas cualitativas son complementarias a los datos instrumentales. El periodo de observación durante el cual se emplean los datos para determinar las proyecciones futuras es un tema de gran importancia ya que para las regiones donde hubiera escasos de los catálogos utilizados en el análisis de peligros a un corto periodo de tiempo se podría sobrestimar o subestimar el peligro proyectado.

El parámetro más importante para considerar en la presente tesis se presenta a continuación:

A. INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA(IMM)

Es una evaluación cualitativa de la clase de daños causados por un sismo, debe su nombre al físico italiano Giuseppe Mercalli. Generalmente, un gran terremoto producirá valores de mayor intensidad que uno pequeño, pero hay otros factores capaces de afectar como la cantidad de energía liberada, la distancia del epicentro, la profundidad focal del sismo, la densidad de la población, la geología local del área, el tipo de construcción de los edificios, así como la duración del sacudimiento. **(Elnashai & Di Sarno, 2008)**.

Según **(Muñoz Pelaez, 2017)**, la escala más reconocida mundialmente para definir el grado de severidad de un sismo es la escala de Mercalli Modificada (MM), presentada en 1902 por Mercalli, modificada en 1931 por Wood y Neumann, y por Richter en 1956. Hay otras escalas que también que se emplean como la MSK (Europa), propuesta en 1964 por Medvedev, Sponheuer y Karnik. Del I al V grado de la escala de Mercalli es el resultado de la percepción humana y del efecto que causa el sismo en los. Los grados intermedios reflejan definen las respuestas estructurales frente a un daño en alguno de sus componentes estructurales, como por las alteraciones en la superficie. Los grados altos corresponden fundamentalmente a cambios severos en la naturaleza.

Según **(Abanto Castillo, 2017)**, la intensidad es una medida de los daños de los terremotos en el entorno y en particular sobre las estructuras y de la sensación de las personas durante la ocurrencia del evento sísmico, en consecuencia, es una medida subjetiva que depende de lo que experimenta una persona y también de como estén construidas las diferentes estructuras dañadas, utilizando para ello encuestas a la población y analizando “insitu” los daños tras el evento.

La escala más utilizada es la “Escala de Mercalli” que se mide en grados y se escribe en números romanos y va de I al XII.

Tabla 1. Categoría de las construcciones

Tipo A	Estructuras de acero y concreto armado diseñadas para resistir fuerzas sísmicas y que han sido construidas adecuadamente.
Tipo B	Estructuras de concreto armado sin diseño sismorresistente detallado, pero con buena calidad de construcción.
Tipo C	Estructuras sin diseño sismorresistente y con calidad de construcción regular.
Tipo D	Estructuras de materiales pobres, como adobe, y sin resistencia lateral.

Fuente: Ingeniería Sismorresistente. Muñoz

Tabla 2. Escala de Mercalli Modificada

Grado	Descripción
I	Sentido sólo por algunas personas en condiciones sumamente favorables.
II	Percibido por personas en descanso, especialmente en los pisos altos de los edificios
III	Percibido en el interior de los edificios, pero sin reconocerse como sismo.
IV	Percibido en el interior de edificios y por algunas personas en las calles. Objetos colgantes que oscilan. Vibración perceptible en puertas, ventanas y vajilla. Los vehículos detenidos oscilan.
V	Percibido por la mayoría de las personas. Algunas personas despiertan. Objetos inestables se vuelcan. Es posible estimar la dirección del movimiento.
VI	Percibido por todos. Personas que huyen hacia exteriores. Caminar inestable. Se rompen vidrios, caen objetos de los armarios y muros. Muebles desplazados. Algunas grietas en revestimientos y construcciones tipo D. Pequeñas campanas que tañen. Árboles sacudidos visiblemente.
VII	Dificultad para mantenerse en pie. Percibido por conductores de automóviles en marcha. Tañen las campanas. Grietas en edificaciones tipo D. Algunas grietas en edificaciones tipo C. Algunas chimeneas caen. Ondas en los lagos. Pequeños deslizamientos y hundimientos en terraplenes y taludes de arena y grava. Daños en canales de concreto para regadío.
VIII	Manejo inseguro de vehículos. Daños y hasta colapsos parciales en edificios tipo C. Daños menores en construcciones tipo B. Ningún daño en construcciones tipo A. Caen chimeneas, monumentos, torres y depósitos elevados. Desprendimiento de

	tabiques. Se quiebran las ramas de los árboles. Cambios en las corrientes de agua. Grietas en suelos húmedos y pendientes escarpadas.
IX	Pánico general. Destrucción de construcciones tipo D. Daños serios en edificaciones tipo C, inclusive algunos colapsos. Daños importantes en edificaciones tipo B y en depósitos de agua. Ruptura de tuberías subterráneas. Grietas grandes en suelos secos. Pequeñas eyecciones de arena y barro en suelos aluviales.
X	Gran destrucción de edificaciones. Grandes daños en malecones, represas, diques y terraplenes. Grandes desplazamientos de tierra en taludes y orillas de los ríos. Agua de canales, ríos y lagos sale hacia las playas. Rieles de las vías férreas deformados.
XI	Pocas edificaciones quedan en pie. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio. Puentes destruidos. Grandes grietas en el suelo. Rieles de vías férreas muy retorcidos. Hundimientos y desplazamientos en suelos blandos.
XII	Destrucción casi total. Cambios en la topografía. Desplazamiento de grandes masas de roca. Líneas de mira y niveles distorsionados. Objetos lanzados al aire.

Fuente: Ingeniería Sismoresistente. Muñoz

(Tavera & Buforn, Sismicidad y sismotectónica de Perú, 1998). Esta intensidad resulta en cierta medida subjetiva ya que su determinación tiene que ver con el nivel de percepción humana, básicamente para las primeras escalas, y los grados intermedios con la evaluación de daños en las edificaciones. De todas maneras, la intensidad nos permite cuantificar de manera sencilla la severidad del movimiento y establecer comparaciones entre diferentes puntos de una región afectada, o entre los efectos de diferentes sismos en un lugar determinado. **(Muñoz Pelaez, 2017).**



Figura 9. Ilustración de la Escala de Intensidades

Fuente: CHILE Escala de Intensidades Escala de Intensidad y Magnitud CI 52S DISEÑO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS, 2006.

B. TAMAÑO DE UN TERREMOTO

(Muñoz Pelaez, 2017) afirma, así como es importante determinar la severidad de un terreno mediante la Escala de Mercalli, es preciso magnificar el tamaño de un terremoto visto como un fenómeno tectónico completo que se relacione con la cantidad de energía liberada durante el evento, a esto se denomina magnitud.

(Elnashai & Di Sarno, 2008) afirma, esta magnitud se basa en las amplitudes máximas de ondas sísmicas de la superficie. Por lo tanto, es un instrumento, cuantitativo y escala objetiva. Los primeros intentos de definir escalas de magnitud fueron hechos en Japón por Wadati y en California por Richter en la década de 1930 expresando la magnitud(M) de los terremotos en el sur de California, en función de la amplitud del desplazamiento registrado a 100 Km del epicentro. Muchas de estas escalas dependen de la frecuencia porque miden amplitudes de ondas sísmicas con diferentes propiedades. Las escalas de magnitud más comunes se describen aquí:

- Magnitud local (o Richter) (ML): Expresa la magnitud(M) de los terremotos en función de la amplitud del desplazamiento (A en micrones) registrado a 100Km. Mas tarde se le agrego un término de corrección (Ao) según la siguiente expresión: $M = \log (A) - \log (A_o)$.
- Magnitud de la onda de cuerpo (Mb): Mide la amplitud de las ondas P con un período de aproximadamente 1.0 segundo, es decir, menos de 10 km de longitud de onda. Esta escala es adecuada para terremotos profundos que tienen algunas ondas superficiales. Además, mb puede medir eventos distantes, p. distancias epicentrales no menos de 600 km.
- Magnitud de onda superficial (Ms): Se usan para sismos lejanos, la cual el tipo de onda a emplear es la onda de superficie. La Ms se determina en función de la amplitud (A) y la distancia al foco R, medida en grados latitud-longitud, como: $M_s = \log (A) + 1.66 R + 2$
- Momento sísmico (Mo): Se determina a partir del área de ruptura (S), el desplazamiento de la falla(Δ) y el módulo de rigidez de la roca(G), como

$$M_o = S \Delta G$$

C. DISTANCIA AL HIPOCENTRO

La distancia al hipocentro se calcula como la distancia euclidiana entre el hipocentro y la estación que registra el sismo.

Conociendo la latitud y longitud de la estación, y la latitud, longitud y profundidad del hipocentro, se puede determinar el radio de la tierra en esta posición específica. Luego, con el radio, la latitud y longitud, se calculan las coordenadas cartesianas de ambos puntos (distancia en km). Por último, con estos dos valores se calcula la distancia entre estos.

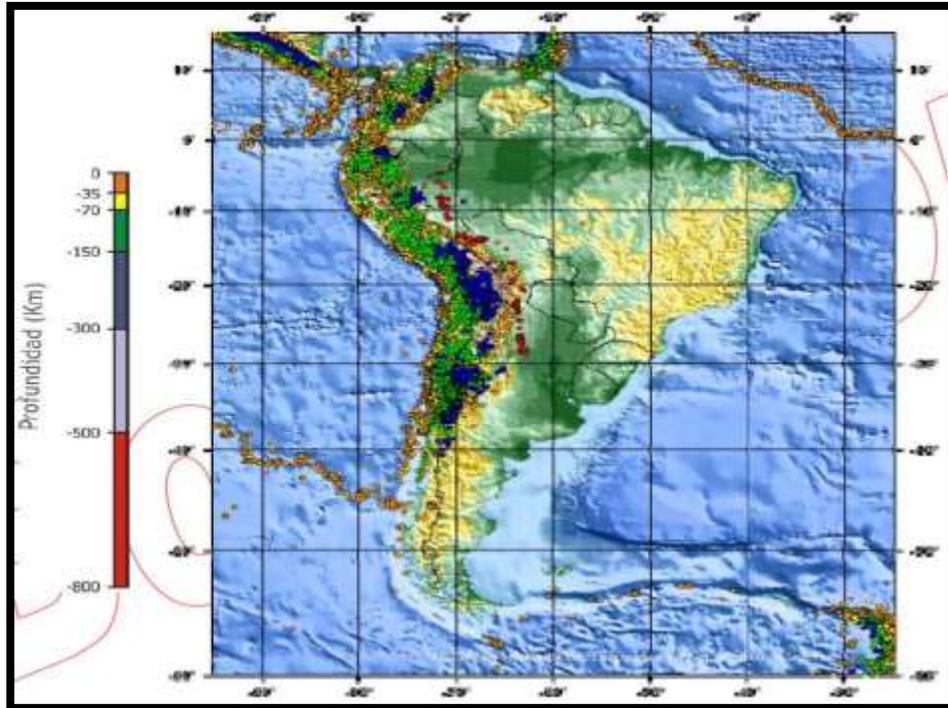


Figura 10. Distribución de hipocentros en América del Sur.

Fuente: Cortesía del United States Geological Survey (USGS).

D. PROFUNDIDAD DEL HIPOCENTRO

La profundidad del hipocentro es la distancia entre este y el epicentro. Esta información es obtenida de páginas de internet donde se encuentra la información del sismo. Las páginas utilizadas son las del Centro Sismológico Nacional (CSN). En el esquema mostrado a continuación se muestra a que distancia corresponde la profundidad del hipocentro.

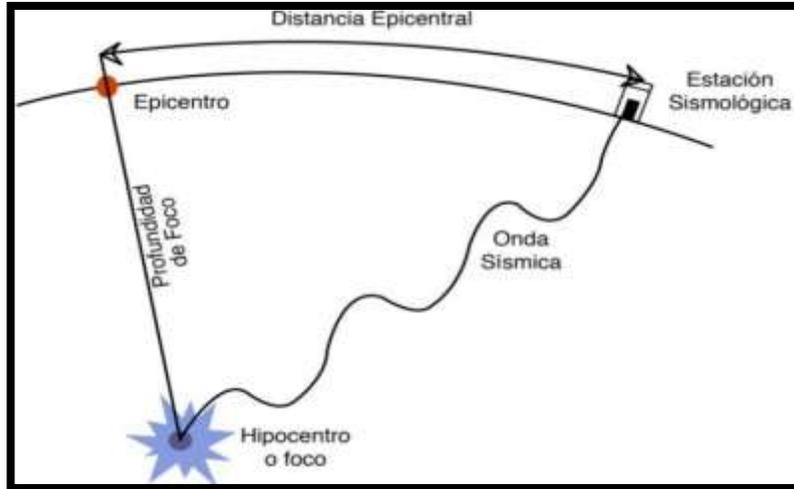


Figura 11. Profundidad del hipocentro.

Fuente: universobservado.blogspot.cl

E. ACELERACION Y VELOCIDAD MAXIMA (PGA y PGV)

Estos parámetros se conocen mayormente por sus siglas en inglés PGA (Peak Ground Acceleration) y PGV (Peak Ground Velocity) respectivamente. La Aceleración Máxima del Suelo está relacionada con la fuerza de un movimiento sísmico y se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo. El PGV, como lo dice su nombre, corresponde a la velocidad máxima del suelo, considerando los valores absolutos y se obtienen luego de integrar los registros de aceleración. Estas dos definiciones son las más utilizadas para relacionar la Escala de Mercalli Modificada con parámetros instrumentales mediante el uso de regresiones estadísticas.

F. REGISTRO DEL MOVIMIENTO DEL SUELO

(Muñoz Pelaez, 2017) afirma, es casi indeterminable evaluar el movimiento de los distintos trenes de ondas en un punto de la superficie en donde se registra la aceleración o el desplazamiento en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Estas direcciones son 2 componentes horizontales y una vertical del movimiento.

Los instrumentos que registran los desplazamientos y las aceleraciones se denominan **sismómetros** y acelerómetros, respectivamente.

G. CORRECCIÓN POR LÍNEA BASE

Generalmente los valores del acelerograma se encuentran desplazados respecto a la línea cero de aceleración. Este error puede ocurrir porque el acelerógrafo no se encuentra nivelado adecuadamente, lo cual también distorsiona la velocidad y el desplazamiento que se determinan por integración, por ello es necesario corregir el acelerograma a partir del promedio de sus valores registrados.

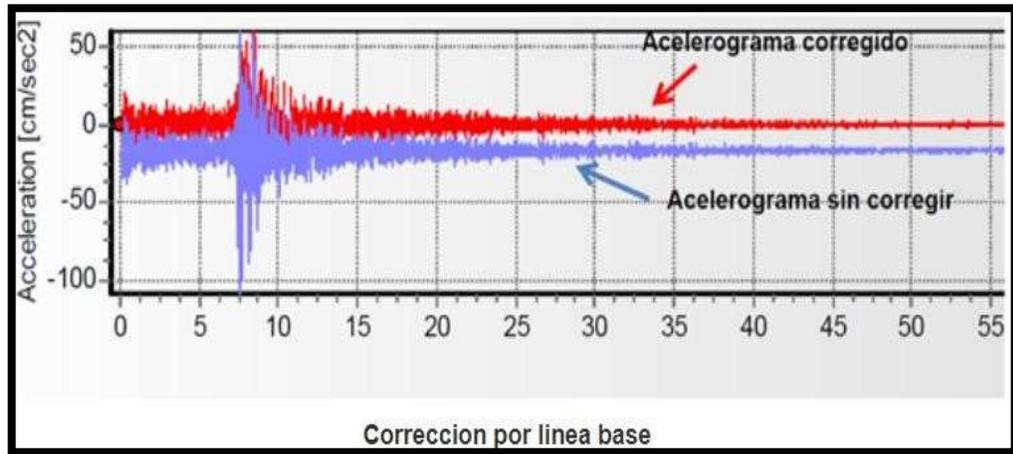


Figura 12. Corrección por línea base. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

H. FILTRADO DE LA SEÑAL

Se debe tener en cuenta la repercusión que el ruido tiene sobre el acelerograma. Este ruido puede estar causado tanto por fenómenos naturales y artificiales como el viento, tránsito de vehículos y personas. Para poder filtrar la señal del ruido de alta y baja frecuencia se limita la banda de frecuencia de trabajo desde 0.1 Hz a 25 Hz, debido a que los sismos se encuentran en este rango y así evitar los errores que puede contener la señal.

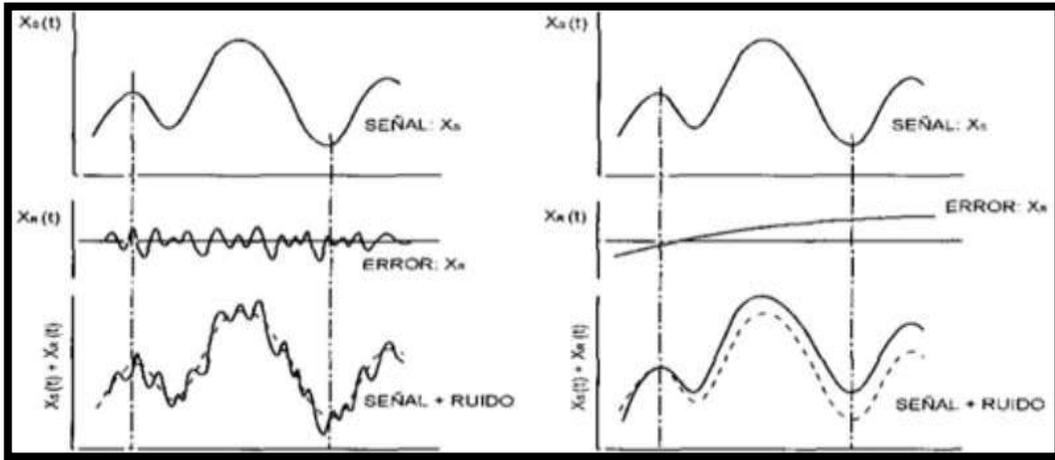


Figura 13. Filtrado de la señal.

Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

2.2.8. OBTENCIÓN DE LAS HISTORIAS DE VELOCIDAD Y DESPLAZAMIENTO.

Con el acelerograma ya corregido se procede a determinar la velocidad y el desplazamiento mediante la integración de la aceleración y posteriormente la integración de la velocidad, considerando la velocidad y desplazamiento inicial cero.

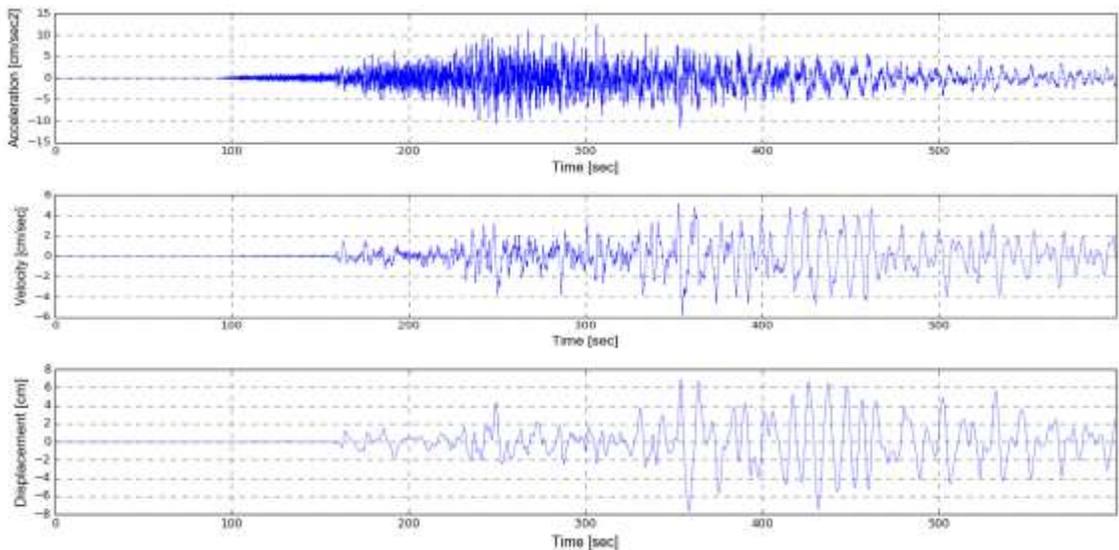
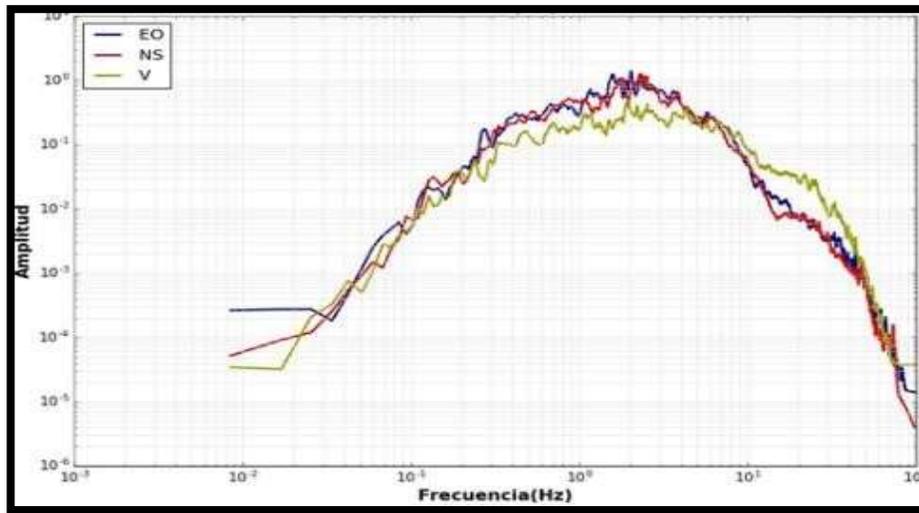


Figura 14. Historias de aceleración, velocidad y desplazamiento. Fuente: Sitio web-Red acelerográfica del Perú.

2.2.9. OBTENCIÓN DE LOS ESPECTROS DE FOURIER Y EL DE SEUDOACELERACIÓN

Una vez que se han obtenido los registros de velocidad y desplazamiento, es necesario hacer un análisis del contenido en frecuencias del acelerograma mediante el Espectro de Amplitudes de Fourier, en el intervalo de 0.1 hertz a 100 hertz.

Los espectros de pseudoaceleración se definen para un amortiguamiento del 5% de acuerdo con la norma E030 a fin de tener una representación gráfica de la respuesta elástica máxima del suelo.



2.2.10. RED ACELEROMÉTRICA O ACELEROGRAFICA NACIONAL

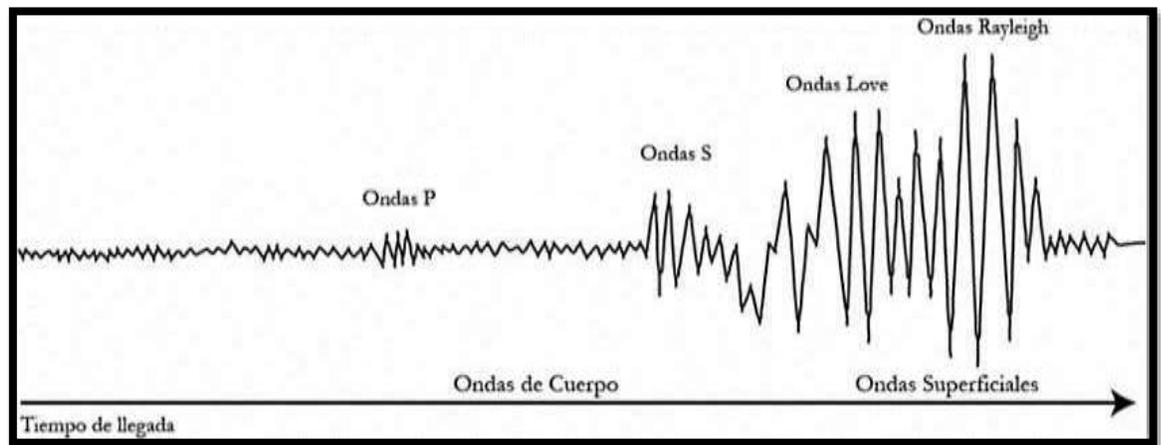
(Red Acelerométrica Nacional 2022). Las primeras estaciones acelerométricas (acelerógrafos) a cargo del Instituto Geofísico del Perú, funcionaron en los años 40 en el Parque de la Reserva y en el campus de la Universidad de La Molina, esta última aún operativa, pero con instrumental moderno. En la década de los 80 y 90, la red acelerométrica estuvo integrada por 17 estaciones, todas con registros en papel fotográfico y/o cintas magnéticas.

A inicios del Siglo XXI, los terremotos de Arequipa (2001) y Pisco (2007), ambos con magnitudes de M 8.0, permitieron obtener del Estado recursos para financiar el proyecto "Ampliación mejoramiento de la Red Acelerométrica Nacional", el mismo que se ejecutó entre los años 2014 a 2018 con la instalación de

acelerómetros en todo el país y casi en su totalidad, se encuentran dentro de instituciones educativas. A la fecha, cerca del 80% de las estaciones registran los datos in situ, para luego ser recolectados de manera trimestral.

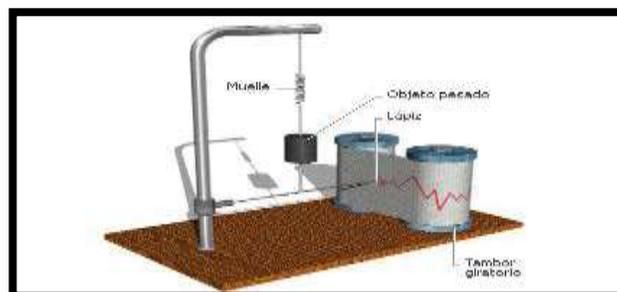
La firma de convenios con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y el Consejo Nacional del Colegio de Ingenieros del Perú (CN CIP), permitió integrar sus estaciones acelerométricas a la Red Acelerométrica Nacional administrada por el IGP.

2.2.11. SISMOGRAFO Y ACELEROGRAFO A. SISMOGRAFO



El sismógrafo es un equipo que registra la velocidad de un sismo y lo imprime en un sismograma.

Dado que las ondas “P” se propagan a mayor velocidad que otros tipos de ondas, son las primeras en ser registradas en un sismograma. Después llegan las ondas “S” y finalmente las ondas superficiales.



En el pasado, los sismogramas eran registrados en tambores de papel rotativos. Algunos usaban carretes en papel común, y otros utilizaban papel fotosensible expuesto a rayos de luz.

Actualmente, prácticamente todos los sismógrafos registran la información de forma digital, de modo de hacer un análisis automático más fácilmente. Algunos sismógrafos de tambor aún son utilizados. (Britanica, 2019).

B. ACELERÓGRAFO



“Un acelerógrafo puede referirse tanto a un sismógrafo de movimientos fuertes como a un acelerómetro de terremotos. Son normalmente construidos en una caja autónoma, y ahora suelen ser conectados de forma directa al Internet. Dentro del acelerógrafo, existe un conjunto de 3 cabezales de sensor de acelerómetro. Estos suelen ser chips microelectromecánicos (MEMS) que son sensibles en una dirección. De este modo, el acelerómetro puede medir el movimiento completo del dispositivo en tres dimensiones.” (Wayback Machine, 2005).

El movimiento de un punto del terreno por la acción de un sismo se divide en 3 componentes de traslación y 3 componentes de rotación. En la práctica, la componente de rotación es despreciada y solo las 3 componentes ortogonales de traslación son medidas.

Básicamente un acelerógrafo consta de 3 sensores que detectan el movimiento en dos componentes horizontales (N-S y E-W) y una vertical, un sistema de discriminación de señales y un equipo de registro. El movimiento del suelo es transformado en impulsos eléctricos los cuales, después de ser amplificados, pasan al sistema de discriminación. Si la señal reúne las condiciones programadas previamente, el sistema se activa generando un acelerograma analógico o digital (**Sarachaga, 1997**).

2.3. ESTACIONES ACELEROMÉTRICAS

(Resolución Ministerial N°355-2018-Vivienda). Una estación acelerométrica es un espacio seguro con un área adecuada, que contiene un sensor triaxial de aceleraciones, un sistema de registro, almacenamiento y transmisión de la señal, desde el punto de registro al centro de procesamiento. La estación debe poseer las condiciones apropiadas para el correcto registro de las vibraciones sísmicas, control de tiempo y energía eléctrica estable y segura.

Según **IGP (s/f)** las estaciones acelerométricas son provistas por el propietario y deben cumplir con las especificaciones técnicas establecidas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), conforme al documento “Especificaciones Técnicas para Registradores Acelerométricos y requisitos mínimos para su instalación, operación y mantenimiento”.

Las edificaciones que, individualmente o en forma conjunta, tengan un área techada igual o mayor que 10 000 m², cuentan con una estación acelerométrica, instalada a nivel del terreno natural o en la base del edificio.

En edificaciones con más de 20 pisos o en aquellas con dispositivos de disipación sísmica o de aislamiento en la base, de cualquier altura, se requiere además de una

estación acelerométrica en la base, otra adicional en la azotea o en el nivel inferior al techo.

La implementación de lo establecido en el presente artículo forma parte de las otras instalaciones en funcionamiento de los bienes y servicios comunes del nivel casco habitable de la edificación.

La estación acelerométrica se instala en un área adecuada, con acceso fácil para su mantenimiento y apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica estabilizada.

El área está alejada de fuentes generadoras de cualquier tipo de ruido antrópico. El plan de instrumentación es preparado por los proyectistas de cada especialidad, indicándose claramente en los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones del edificio.

El mantenimiento operativo de las partes, de los componentes, del material fungible, así como el servicio de los instrumentos, son provistos por los propietarios del edificio y/o departamentos, bajo control de la municipalidad y es supervisado por el IGP. La responsabilidad del propietario se mantiene por 10 años.

❖ **Especificaciones Técnicas mínimas**

De manera general

Sensor triaxial de aceleración:

- Sistema de tres componentes ortogonales.
- Ancho de Banda: DC hasta 100 Hz o más.
- Rango dinámico mayor igual a 90 dB
- Rango de medición igual o mayor a $\pm 2g$

Sistema de Registro:

- Frecuencia de muestreo: seleccionable a 50, 100, 200 muestras por segundo
- Resolución: mayor a 16 bits efectivos por canal
- Modos de registro:
 - o Por nivel aceleración
 - o Por comparación de promedio de energía en ventanas de tiempo (Algoritmo STA/LTA)
- Ventana de Tiempo de registro de 30 segundos antes del inicio del sacudimiento y 30 segundos después de cumplida la condición del fin del evento.
- Referencia de tiempo por GPS y oscilador interno compensado de alta estabilidad. Cuando sea necesario colocar más de una estación acelerométrica, todas las estaciones deben contar referencia de tiempo GPS o en su defecto solo una de ellas, pero las restantes deben contar con un mecanismo de sincronización especialmente diseñado para ese fin.
- Capacidad de Almacenamiento: mayor o igual a 4 Gigabytes, en dispositivo de memoria fijo o removible, colocado en el interior del equipo.
- Capacidad de Conectividad: puerto Ethernet con interfaz usuario vía web para el control, configuración y descarga de datos.
- Otros medios opcionales: USB2.0, USB3.0, serial, bluetooth, otros.

Software:

- Aplicativos para configuración y control.
- Convertidor de datos registrados por el equipo a formato MINISEED, ASCII, SAC.

Fuente de Energía:

- Externa 12 VDC; con cargador 220VAC.
- Capacidad de mantener al equipo operativo por lo menos dos (02) días ante

pérdida del suministro eléctrico.

Ubicación:

En aplicación de la norma, si la edificación es de 10,000 m² la estación acelerométrica debe ser instalada en la base del edificio (una adicional en la azotea o último piso si excede los 20 pisos). El espacio físico (ambiente) debe ser por lo menos 4 m² y deberá estar claramente señalado en los planos de arquitectura, teniendo en cuenta las siguientes características:

- Fácil acceso para su mantenimiento
- Adecuada iluminación y ventilación.
- Disponibilidad de energía eléctrica ininterrumpida.
- Disponibilidad de ducto al exterior para el cableado de la antena GPS de control de tiempo, la antena GPS de sistema de control de tiempo debe tener cielo abierto para funcionar adecuadamente.
- Buena seguridad física.

Además, es necesario mencionar que para una apropiada operación del acelerómetro es necesario que el ambiente dispuesto para tal fin sea de uso exclusivo, y no empleado como depósito o lugar de operación de otros equipos, en especial si estos generan vibración. El circuito de suministro eléctrico para alimentación deberá ser especial para evitar el daño del equipo por perturbaciones en la línea. En lo posible, el lugar de instalación deberá estar alejado de fuentes de vibración fuertes como ascensores, bombas, motores, o lugares de tránsito de vehículos. El equipo deberá estar libre de ser sometido a condiciones extremas de temperatura y humedad.

Instalación:

El Eje X del acelerómetro digital debe estar alineado y en dirección del lado de mayor longitud de la edificación asimismo por perpendicularidad, el Eje Y quedará alineado y orientado en la dirección de menor longitud. Es necesario que un plano ubicación del edificio siempre esté disponible en el lugar de la estación. El instrumento deberá estar montado sobre una base de concreto

simple dispuesta para este fin y con las siguientes dimensiones: Largo 40 cm, Ancho 40 cm y Alto 10 cm. Asimismo el concreto deberá tener como mínimo un $f'c$ de 180 Kg/cm², como referencia para la construcción del sitio del acelerómetro digital.

Al momento de la instalación, el acelerómetro digital deberá quedar fijado a la base de concreto por un mecanismo de tornillo de fijación que estará anclado en el concreto, de esta manera se asegura el acoplamiento del instrumento a la estructura.

Una vez realizada la instalación, el propietario solicitará al IGP que realice la inspección correspondiente, verifique se cumplen las especificaciones técnicas y emita el documento de constancia correspondiente.

Mantenimiento

En la Norma Técnica de Edificación E.030, Diseño Sismo resistente, se encuentra establecido que el mantenimiento operativo, incluyendo los materiales y componentes, está a cargo de los propietarios del edificio, pero deberá ser efectuado bajo control de las municipalidades y supervisión del Instituto Geofísico del Perú.

El máximo intervalo de mantenimiento debe ser cada seis (06) meses. Si el acelerómetro digital es encontrado inoperativo después de este periodo, se deberán efectuar mantenimientos adicionales cada 3 meses o antes de requerirse. La ejecución y resultados de todo el mantenimiento del equipo deberá ser de conocimiento del IGP, para ello el propietario proporcionará el nombre de la persona de contacto autorizada para toda coordinación.

Cuando el IGP o la empresa que efectúe el mantenimiento encuentren que el equipo requiere ser retornado a fábrica para reparación, el tiempo de inoperatividad no deberá exceder los sesenta (60) días. A su reposición se requiere nuevamente se efectúe la verificación del IGP.

Todas las pruebas del equipo se efectuarán siguiendo las instrucciones del fabricante.

Cuando en virtud de las características técnicas del equipo, y por

disponibilidad del propietario, este accede a proveer una conexión a Internet para el equipo que permita su conexión al sistema de vigilancia sísmica del IGP, la institución aceptará efectuar el control de operatividad remotamente, y los sucesos serán informados a los propietarios.

El costo de este servicio es gratuito.

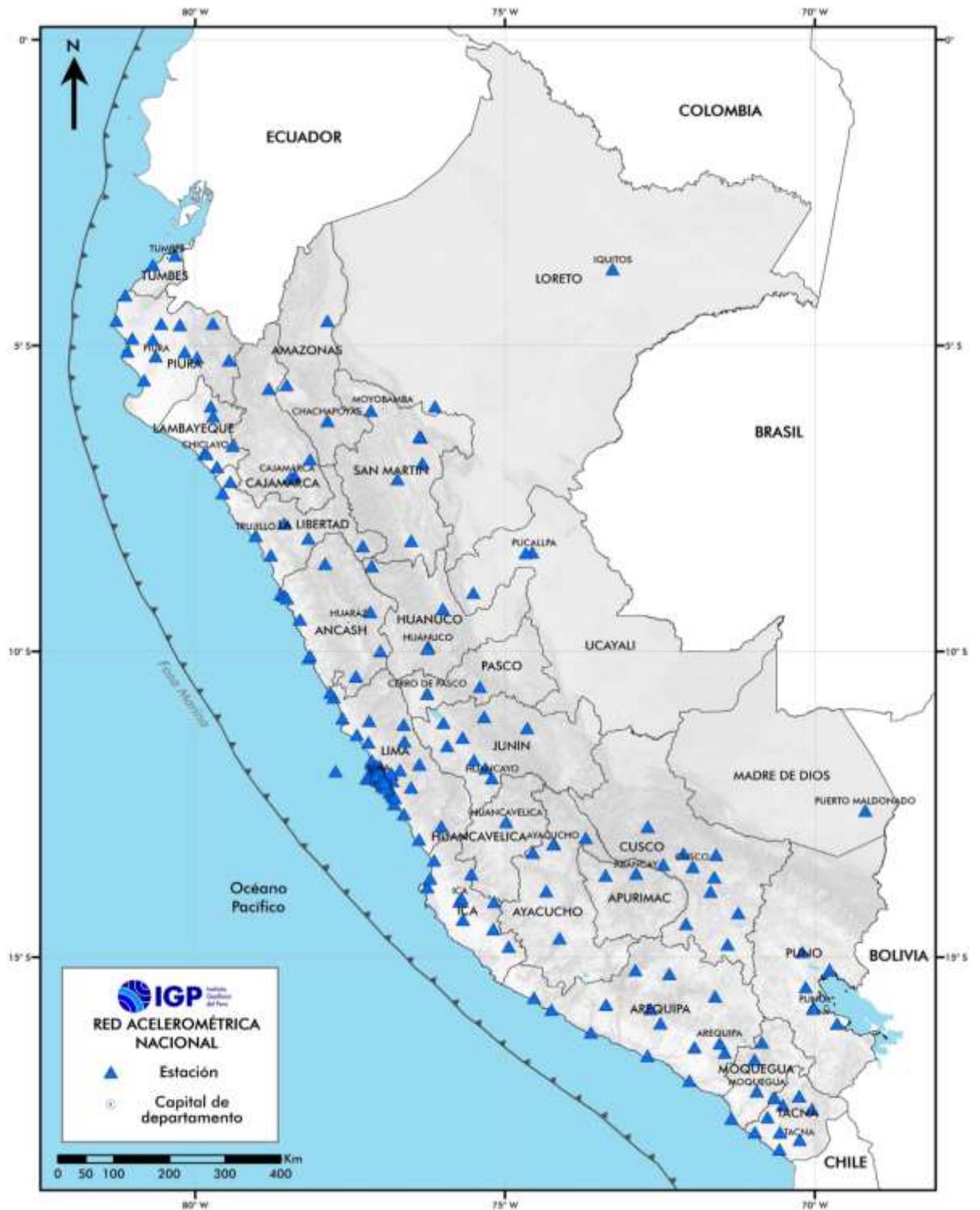
Sistemas de transmisión de datos

- Conexión internet, el equipo puede ser conectado a cualquier línea internet de la edificación y deberá contar con un número IP público. (modo óptimo).
- Facilitará el acceso al personal IGP cuando estos lo requieran de manera mensual para descarga de los datos.

Disponibilidad de los datos

- Los propietarios deberán dar facilidades para que personal del IGP de manera periódica o cuando la situación lo amerite (después de sismos fuertes) de acceder a sus instalaciones y recuperar la información grabada.
- Los datos procesados serán publicados en la página web del IGP.

ESTACIONES DE ACELEROGRAFOS DEL IGP



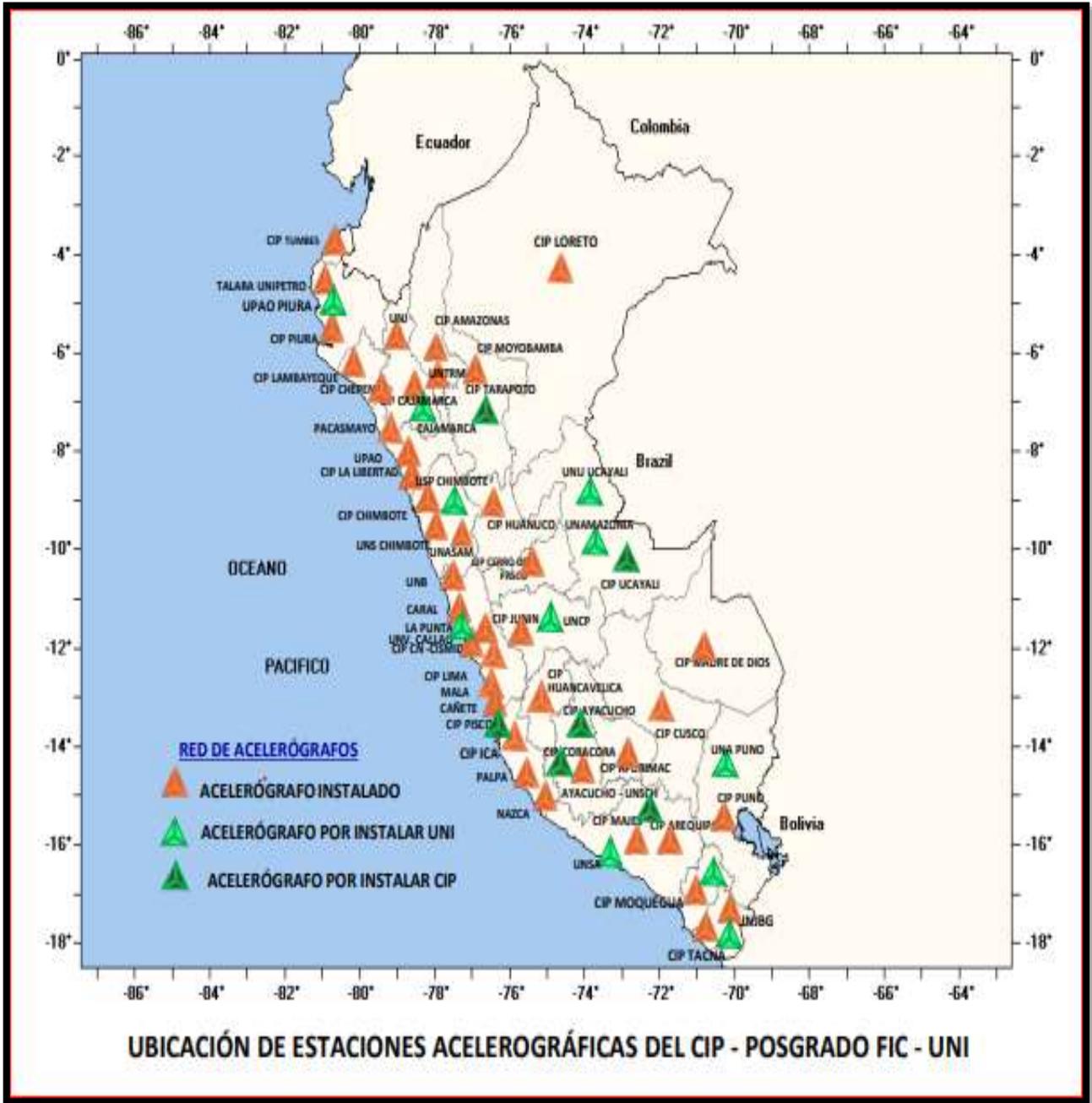
Fuente: Instituto Geofísico del Perú- IGP.

ESTACIONES DE ACELERÓGRAFOS DEL SENCICO



Fuente: Instituto Geofísico del Perú- IGP.

ESTACIONES DE ACELERÓGRAFOS DEL CIP



Fuente: Instituto Geofísico del Perú- IGP.

2.4. **Mapas de actividad sísmica del Perú y el mapa de zonificación sísmica de la Norma E030.**

Según fuente del portal del IGP, (<https://ultimosismo.igp.gob.pe/mapas-sismicos>), el Mapa Sísmico del Perú presenta la distribución espacial de los eventos con magnitudes igual o mayores a M4.0 ocurridos desde 1960 a la actualidad. La información utilizada corresponde a los catálogos del Instituto Geofísico del Perú y de **Engdahl & Villaseñor (2002)**.

Los sismos fueron clasificados en función de la profundidad de sus focos en superficiales, intermedios y profundos. En el mapa, el tamaño de los símbolos indica la magnitud del sismo. En el Perú, los sismos tienen su origen en tres fuentes sismogénicas: (1) la superficie de contacto entre las placas de Nazca y Sudamericana, (2) la deformación de la corteza continental y, (3) la deformación de la corteza oceánica con focos a profundidades superiores a 61 km. En la primera fuente tuvo su origen el terremoto de Pisco del 15 de agosto de 2007 (8.0Mw) percibido en superficie con intensidades de VII-VIII (MM) produciendo la muerte de más de 500 personas y miles de damnificados; además de daños considerables en las viviendas.

El sismo de Moyobamba del 5 de abril de 1991 (M6.0) tuvo su origen en la segunda fuente y produjo en superficie intensidades de VII (MM) con daños severos en viviendas. Para la tercera fuente se cita como ejemplo el sismo del 24 de agosto de 2011 (M7.0), percibido en superficies con intensidades de V (MM) y que produjo el desarrollo de procesos de licuación de suelos y deslizamientos de rocas en localidades cercanas al área epicentral.

El Mapa Sísmico sugiere que la peligrosidad sísmica en el Perú es “Alta”. Se observa mayor actividad sísmica en las regiones Centro y Sur, y moderada en la Norte. Esta información permite delimitar las zonas sismogénicas presentes en el Perú, siendo información básica para los diversos estudios que conlleve a la prevención sísmica.

MAPA SÍSMICO DEL PERÚ

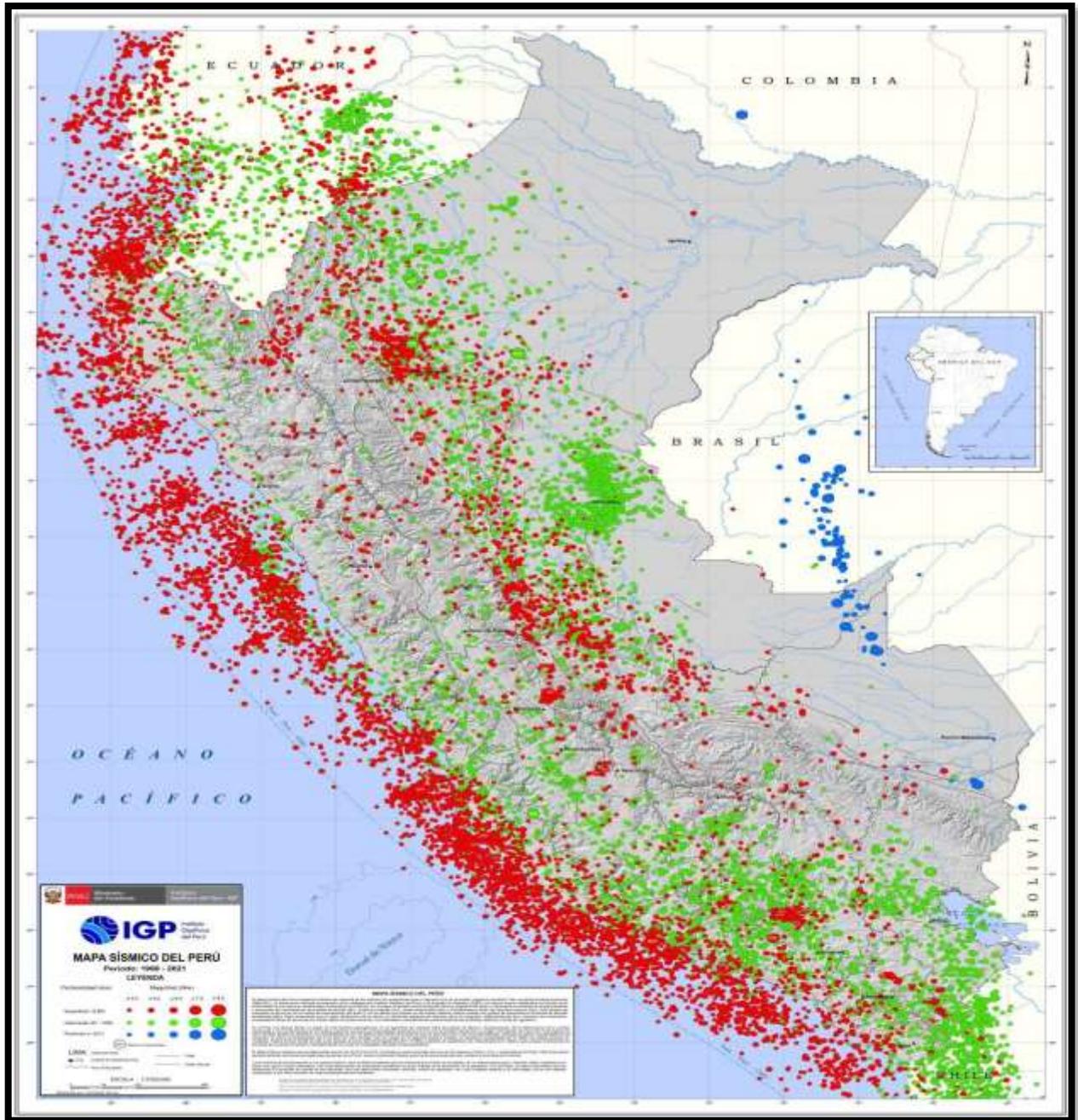


Figura 15. Mapa Sísmico y derecha del Perú (1960-2021).

Fuente: IGP.

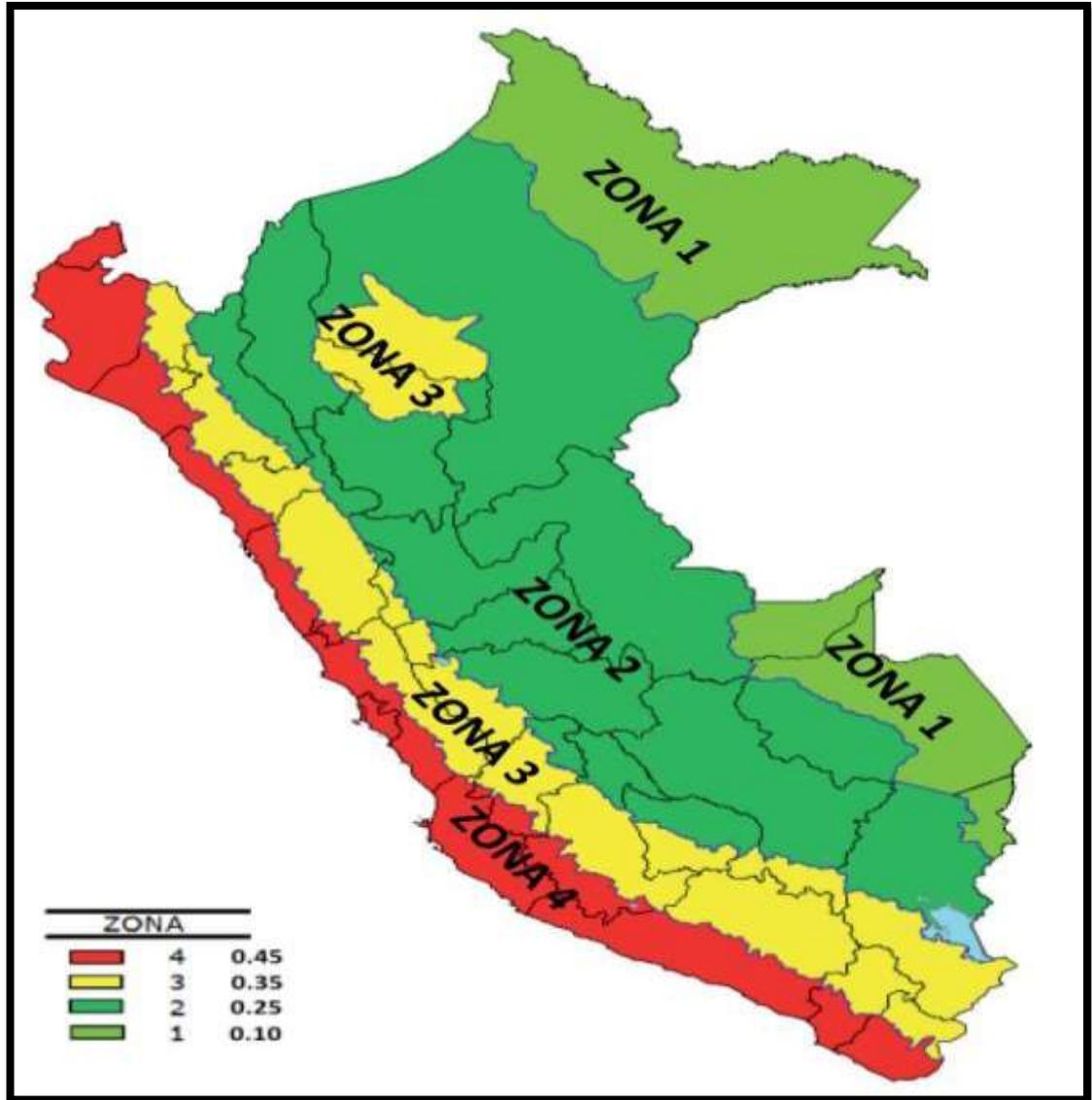


Figura 16. Mapa de Zonificación Sísmica del Perú.

Los eventos sísmicos se pueden catalogar como sismos extremos cuando su magnitud supera el grado 6.0 en la escala de magnitud momento (M_w). En estos niveles, las ondas sísmicas que alcanzan la superficie presentan aceleraciones máximas a frecuencias variables dependientes del tipo de suelo. Estos niveles de aceleración constituyen un elevado riesgo para las edificaciones de las zonas urbanas que es importante minimizar. Por este motivo, el registro de las aceleraciones que producen los movimientos sísmicos sobre las edificaciones y

obras de ingeniería en general son de vital importancia para conocer el estado de salud de estos, dado que la aceleración máxima se traduce en una carga adicional que afecta el diseño estructural.

Esta misma información permite identificar los periodos de vibración en las estructuras afectadas, así como los factores de amplificación de los suelos, y que en conjunto contribuirán a la mejora de la Norma E.030. Asimismo, los niveles de aceleración medidos a nivel regional pueden ser integrados en una base de datos a fin de elaborar curvas de atenuación e inferir niveles de aceleración en aquellos lugares intermedios que no cuentan con mediciones instrumentales. Por ejemplo, cuando se quiere realizar obras de ingeniería en zonas rurales. El instrumento apropiado para registrar aceleraciones del suelo producidas por las ondas sísmicas se denomina acelerómetro digital y existen en el mercado internacional bajo diferentes niveles de sensibilidad, capacidad de registro y transmisión de datos.

Dentro de este contexto, surge la necesidad de instrumentar con acelerómetros digitales los edificios y obras de ingeniería debido a su importancia social, política y económica. Es por este motivo que con Resolución Ministerial N° 355-2018-vivienda, el Ministerio de Vivienda y Construcción, actualizó la Norma E.030 "Diseño Sismo-Resistente" que en su capítulo noveno establece que los proyectos de edificaciones con un área igual o mayor de 10,000 m² construida, deberán instrumentarse con una estación acelerométrica. Para el caso de edificaciones con 20 o más pisos éstas deberán contar con una estación acelerométrica adicional en la azotea o en el nivel inferior al techo. También establece que las mencionadas deberán ser provistas por el propietario y deben estar de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

El presente documento brinda las pautas y procedimientos requeridos para la instalación, operación y mantenimiento del acelerómetro digital, así como para la transmisión y disponibilidad de la información que este equipo brinda.

Esperamos que la presente guía sea de fácil comprensión a fin de que el usuario pueda proceder al cumplimiento de la Ley.

2.5. TRATAMIENTO DE REGISTROS SÍSMICOS

Según (Monzón 2013), el acelerograma es un registro de aceleración en función del tiempo generado por un instrumento llamado acelerógrafo que registra los movimientos fuertes del suelo. Los acelerogramas dan una descripción del movimiento del suelo de forma cuantitativa, con lo cual es posible realizar diferentes tipos de análisis estructurales.

Se supone que la aceleración del suelo no corregida $a(t)$ varía linealmente entre dos puntos consecutivos utilizados en la digitalización del acelerograma. Para $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ y tomando en cuenta la geometría en la figura 17, se encuentra la ecuación (Husid, 1973).

$$a(t) = a_i + (t - t_i) \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} \dots\dots\dots(1)$$

Donde: $a_i =$ aceleración para $t = t_i$, $\Delta a_i = a_{i+1} - a_i$ y $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$

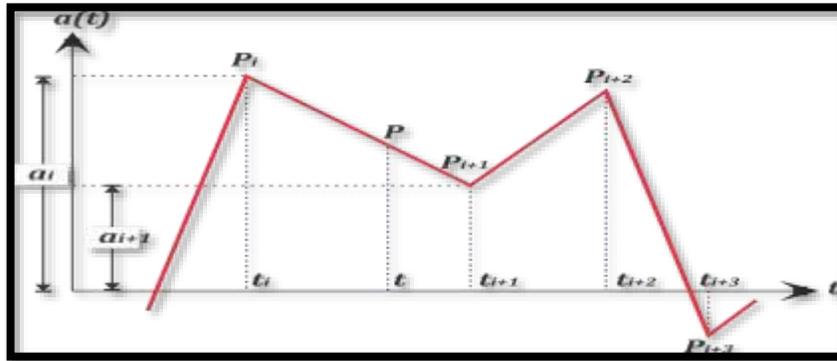


Figura 17. Representación poligonal de un acelerograma.

Fuente: Terremotos, Análisis espectral y características de acelerogramas como base del diseño sísmico (Husid, 1973).

Registros sísmicos de Velocidad

La velocidad no se registra directamente si no que se obtiene de la integración del acelerograma (Monzón, 2013), integrando la ecuación Ec. (1)

miembro a miembro e imponiendo la condición de que $v = v_i$ para $t = t_i$, se **obtiene (Husid, 1973):**

$$v(t) = \left(v_i - a_i t_i + \frac{1}{2} t_i^2 \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} \right) + \left(a_i - t_i \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} \right) t + \frac{1}{2} \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} t^2 \dots\dots\dots(2)$$

Válida para $t_i \leq t \leq t_{i+1}$, Haciendo $t = t_{i+1}$ en la ecuación Ec.(2) y simplificando la expresión resultante, se tiene:

$$v_{i+1} = v_i + \frac{1}{2} \Delta t_i (a_{i+1} + a_i) \dots\dots\dots(3)$$

Registros sísmicos de Desplazamiento

El registro de desplazamiento no se registra directamente, se obtiene de la doble integración del acelerograma (Monzón, 2013), Integrando la ecuación Ec.(2), miembro a miembro, permite escribir **(Husid, 1973) :**

$$y(t) = \left(v_i - a_i t_i + \frac{1}{2} t_i^2 \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} \right) t + \frac{1}{2} \left(a_i - t_i \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} \right) t^2 + \frac{1}{6} \frac{\Delta a_i}{\Delta t_i} t^3 + F \dots\dots\dots(4)$$

La constante F se determina recordando que cuando $t = t_i$, se tiene que $y = y_i$ una vez determinada F. la ecuación Ec.(4) permite obtener y_{i+1} cuando se reemplaza t por t_{i+1} .

Después de ordenar y reducir se obtiene **(Husid, 1973):**

$$y_{i+1} = y_i + v_i \Delta t_i + \frac{1}{6} \Delta t_i^2 (2a_i + a_{i+1})$$

Número mínimo de acelerogramas

Para la norma técnica peruana vigente E.030 sismoresistente, el número mínimo de registros sísmicos son 3, cada uno de los cuales incluirá 2 componentes ortogonales horizontales.

Para Chan y otros (2005) es necesario definir un intervalo de confianza debido a que se cuenta con un número limitado de acelerogramas. Cuanto más grande sea el número de acelerogramas, el intervalo de confianza es mayor.

Los reglamentos de diseño normalmente recomiendan usar entre 3 y 7 registros sísmicos para un análisis dinámico de estructuras. Utilizando el muestreo de poblaciones con distribución normal de las distorsiones máximas de entrepiso con una confianza de 68% y aceptando un error $e=10\%$ se usarían entre 3 y 9 registros sísmicos que son valores muy cercanos a los recomendados por las normas (Escalamiento de acelerogramas y número mínimo de registros requeridos para el análisis de estructuras, 2005).

Corrección por filtrado

Una vez corregido el acelerograma por línea base, hay que tener en cuenta la importancia que el ruido tiene sobre el acelerograma. Este ruido puede ser causado por fenómenos naturales como por el tratamiento de los datos. Por lo tanto, podemos considerar que el acelerograma es la suma de la señal sísmica más el ruido (Registro y Tratamiento de Acelerogramas, 1999):

$$a(t) = s(t) + r(t) \dots\dots\dots (5)$$

Donde $a(t)$ es el acelerograma sin corregir, $s(t)$ la señal sísmica y $r(t)$ el ruido.

Espectro de respuesta

A partir de 1930 se reconoció el problema sísmico como un problema de dinámica de estructuras y ya se empezaron a definir modelos numéricos de cálculo, en los que se establecieron bien las variables involucradas. En 1934 **Benioff** introduce la definición de espectro de respuesta. En 1952, **Housner** presenta el pseudo espectro de velocidades (**Aguilar Falconi, 2006**). Se define el espectro de respuesta como la respuesta máxima de un conjunto de osciladores de 1gdl que

tiene el mismo amortiguamiento, sometidas a una historia de aceleraciones dadas **(Aguilar Falconi, 2006)**.

En ingeniería sísmica, el espectro de respuesta da un significado conveniente al sumario de respuestas pico de todos los posibles sistemas de un grado de libertad, sujeto a un componente particular de movimiento del suelo; también provee aproximaciones prácticas para aplicar los conocimientos de dinámica estructural.

Los espectros de respuesta es una gráfica de valores pico de respuesta de una cantidad como función del período natural de vibración del sistema o cualquier parámetro relacionado como ω_n o f_n , es llamado espectro de respuesta para esa cantidad **(Paz, 2013)**.

Espectro de Fourier

El espectro de Fourier (EF) es una gráfica en donde se representan valores o series de datos (funciones) con su respectivo dominio en la frecuencia, este espectro debe su nombre a Jean Jaques Fourier quién fue el encargado de descomponer funciones periódicas en series trigonométricas. Los datos que se representan gráficamente en el EF son transformados previamente de su dominio en el tiempo a datos con dominio en su frecuencia. Esta conversión se hace mediante transformadas lineales las cuales son una herramienta muy utilizada y de gran ayuda en ingeniería sísmica. Las transformadas hechas por Fourier permiten representar una función periódica continua con un número finito de máximos y mínimos en cualquier periodo como una serie trigonométrica correspondiente a dicha función, a este cambio se le conoce como Transformada de Fourier (TF).

Siendo $f(t)$ una función integrable, TF estará dada por

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt$$

$F(\omega)$ = Señal Transformada al Dominio de la Frecuencia

$f(t)$ = Señal en el Dominio del Tiempo

$$j^2 = -1$$

En donde la variable t corresponde al tiempo y ω corresponde a la frecuencia. Un sismo es una función continua en el tiempo, la cual es registrada por los acelerógrafos como discontinua, es decir, que a lo largo del registro se van guardando valores de aceleración cada determinado tiempo, la tasa de muestreo es la que determina el número de valores que contendrá el acelerograma. El registro sísmico que se genera en el acelerógrafo es un conjunto de valores discontinuos, y se crea de esta manera ya que las computadoras utilizan algoritmos binarios para manejar datos; para discretizar la señal se emplea un algoritmo el cual lleva por nombre Transformada Discreta de Fourier (TDF).

El espectro de Fourier permite el análisis de frecuencias del movimiento del terreno, el cual es producido por la propagación de ondas sísmicas, relacionándolas con su correspondiente valor de amplitud.

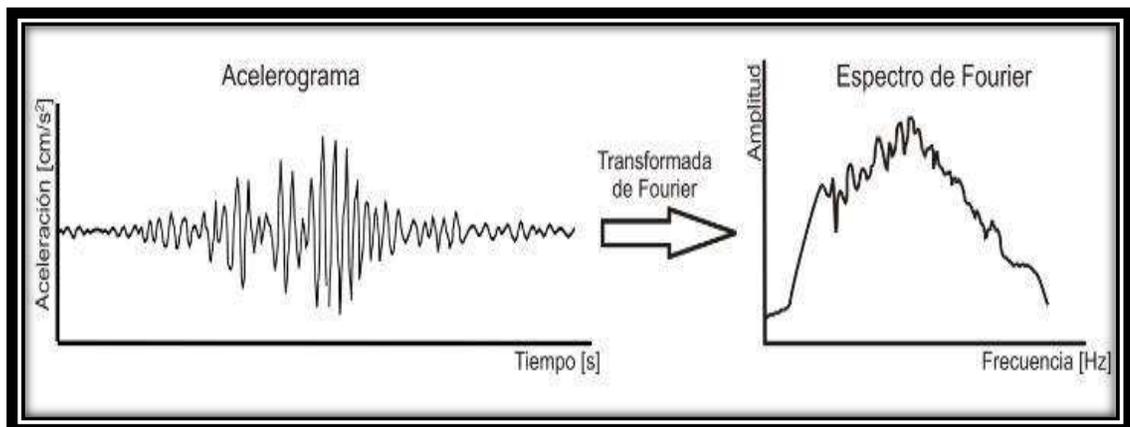


Figura 18. Análisis del Comportamiento Sísmico en una Zona de Suelos Blandos del Valle de Oaxaca (2012), Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México- Medrano V.

2.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

Aceleración máxima del suelo (PGA)

Está relacionada con la fuerza de un movimiento sísmico y se define como la amplitud máxima absoluta del registro de aceleraciones del suelo.

Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Acelerógrafo o Acelerómetros

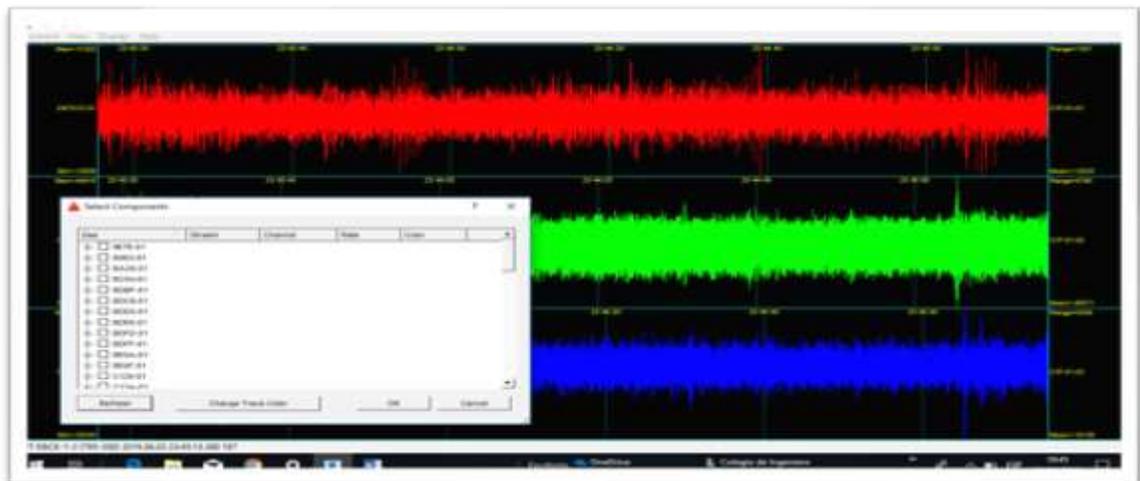
Instrumento que mide las aceleraciones producidas por un movimiento y que en sismología registra básicamente la oscilación del suelo al paso de las ondas sísmicas por el punto de observación. El acelerómetro, junto al registrador constituye la estación acelerométrica.

Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Acelerograma

Es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).



Intensidad de Mercalli Modificada (MMI)

Refiere a la medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Los valores de intensidad se denotan con números romanos en la escala de intensidades de Mercalli modificada (Wood y Neumann, 1931) que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en la severidad del sacudimiento. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Escala de Magnitud o de Richter

Representa a la escala que mide el total de la energía liberada en el foco sísmico y originalmente corresponde a la escala de Richter, propuesta por el autor en el año 1935. Es una escala logarítmica, lo que hace que los niveles asignados no tengan un comportamiento lineal y permiten medir sismos muy pequeños hasta los que alcanzarían valores en magnitud del orden de 6.5 MI (llamada también escala de magnitud local, de ahí sus siglas "MI"). En la actualidad la escala de magnitud más acertada y utilizada es la escala de magnitud de momento (Mw) en razón que permite medir sin restricción sismos pequeños y grandes como el ocurrido en Japón en el año 2011.

Fuente : Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Sismógrafo

Utilizado para medir el movimiento del suelo relativamente no tan fuerte causado por el paso de las ondas sísmicas. Estos instrumentos registran desplazamientos o velocidades del suelo mediante los Sismogramas. Su funcionamiento se puede representar mediante un simple modelo de un solo grado de libertad.



Magnitud Sísmica

Es una medida instrumental que se relaciona con la energía sísmica liberada en el foco y transmitida por ondas sísmicas. La magnitud Sísmica es objetiva ya que no depende del lugar de observación.

- **Magnitud Local (ML):** Corresponde a la escala de Richter, para determinar las fuerzas de sismos de una magnitud entre 2.0 y 6.9, y se determina a partir de la máxima amplitud registrada de 0 a 400 kilómetros de profundidad.
- **Magnitud de Ondas Superficiales (Ms):** Esta escala se basa en la amplitud máxima producida por las ondas superficiales Rayleigh con período en el rango de 18 a 22 segundos.
- **Magnitud de Momento Sísmico (Mw):** Es la escala de magnitud más acertada y utilizada por tratarse de una escala que discrimina mejor en los valores extremos, por ello se emplea para sismos de magnitudes mayores a 6.9.
- **Magnitud de Ondas de Cuerpo (mb):** Se utiliza para terremotos regionales y lejanos de magnitud inferior a 6,5 o de gran profundidad, ya que en ambos casos no se generan ondas superficiales de suficiente amplitud.
Representa a la escala que mide el total de la energía liberada en el foco sísmico y originalmente corresponde a la escala de Richter, propuesta por el autor en el año 1935.

Es una escala logarítmica, lo que hace que los niveles asignados no tengan un comportamiento lineal y permiten medir sismos muy pequeños hasta los que alcanzarían valores en magnitud del orden de 6.5 MI (llamada también escala de magnitud local, de ahí sus siglas “MI”). En la actualidad la escala de magnitud más acertada y utilizada es la escala de magnitud de momento (M_w) en razón que permite medir sin restricción sismos pequeños y grandes como el ocurrido en Japón en el año 2011.

Magnitud Sísmica (escala de Richter)

Magnitud sísmica (escala de Richter): El tamaño de un terremoto puede determinarse en base al cálculo de la energía liberada, es decir de su magnitud y su intensidad. La magnitud es una medida objetiva y absoluta de la energía producida en el foco de un terremoto.

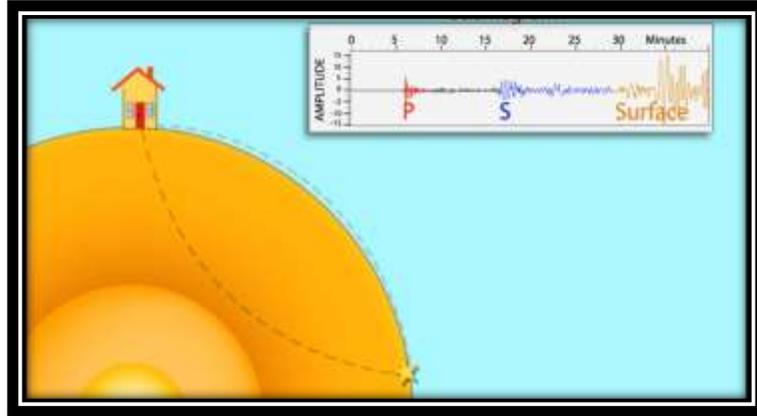
Intensidad

Refiere a la medida de los efectos producidos por un sismo en personas, animales, estructuras y terreno en un lugar particular. Los valores de intensidad se denotan con números romanos en la escala de intensidades de Mercalli modificada (Wood y Neumann, 1931) que clasifica los efectos sísmicos con doce niveles ascendentes en la severidad del sacudimiento. La intensidad no sólo depende de la fuerza del sismo (magnitud) sino que también de la distancia epicentral, la geología local, la naturaleza del terreno y el tipo de construcciones del lugar.

Aceleración Sísmica

La aceleración sísmica es una medida utilizada en terremotos que consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo. Es

una medida muy importante en ingeniería sísmica. Normalmente la unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).



Falla Geológica

Es una ruptura de un estrato rocoso debido a un esfuerzo que ocasiona desplazamiento, la cual es provocada cuando el material geológico muestra una gran rigidez o su plasticidad es superada por la intensidad de la fuerza tectónica.

Hipocentro (Foco)

Es la zona en el interior de la Tierra donde inicia la ruptura de la falla y desde ahí se propagan las ondas sísmicas.

Epicentro

Es el punto en la superficie terrestre situado directamente encima del hipocentro.

Profundidad

Distancia entre el hipocentro y epicentro.

Hora Local (HL)

Es la hora en una determinada región en el planeta de acuerdo con su ubicación y longitud geográfica con respecto al meridiano de Greenwich. En nuestro país la hora local es cinco horas menores respecto a la hora universal.

Hora Universal (UTC)

El Tiempo Universal Coordinado es la zona horaria de referencia, respecto a la cual se calculan todas las otras zonas del mundo. Toma como referencia para sus mediciones los relojes atómicos.

UTC= HL + 5

Ondas Sísmicas

Las ondas sísmicas, que transmiten parte de la energía que se libera en el foco al producirse el terremoto, son básicamente de dos tipos: ondas internas (primarias y secundarias) y ondas superficiales (Love y Rayleigh).

Las ondas primarias (P)

Las ondas P o primarias son ondas longitudinales; es decir, que el medio por el cual se propagan es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas viajan a una velocidad mayor que la velocidad de las ondas S y pueden hacerlo a través de cualquier tipo de material. La naturaleza del movimiento de sus partículas en el medio de propagación hace que estas se desplacen más rápido que otro tipo de ondas.

Son ondas longitudinales o de compresión, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación.

Las ondas secundarias (S)

Las ondas S o secundarias son ondas transversales o de corte; es decir, que el medio en el cual se propagan es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos, debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es alrededor del 60% la de una onda P para cualquier material sólido. La onda S tiene mayor amplitud que la P y es por ello, que, durante la ocurrencia de un sismo, causa mayor daño.

Son ondas en las cuales el desplazamiento es transversal a la dirección de propagación. Su velocidad es menor a la de las ondas primarias. Estas ondas

son las que generan las oscilaciones durante el movimiento sísmico y las que producen la mayor parte de los daños.

Ondas Love

Son ondas superficiales que producen un movimiento horizontal de corte en superficie.

Son ondas llamadas superficiales y tienen un movimiento horizontal y perpendicular a la dirección de propagación, son transversales o de corte a la dirección de propagación. Reciben el nombre de ondas love en honor a Augustus Edward Hough Love, mejor conocido como A. E. H. Love, matemático y geofísico del reino unido.

Ondas Rayleigh

También denominadas ground roll. Son ondas superficiales que producen un movimiento elíptico retrógrado del suelo.

Corresponde a una onda superficial que se mueve en forma retrógrada y elíptica. Son ondas con velocidad muy baja y se sienten como un movimiento ondulado o rodante. Son llamadas así en memoria de lord Rayleigh, un físico inglés que predijo su existencia.

Isosistas

Es una forma de representar gráficamente los niveles de intensidad de un sismo a través de un mapa con curvas del mismo nivel de intensidad.

Espectro de Fourier

Es un parámetro que nos proporciona un amplio conocimiento acerca de cuál es el contenido en frecuencias del acelerograma, de modo que para cada periodo de oscilación del acelerograma se representa la amplitud máxima que le corresponde.

Espectro de Respuesta

El espectro de respuesta sirve para caracterizar los movimientos del terreno bajo la acción de un sismo y poder observar con mayor certeza el efecto que tendrá en las estructuras, sirve también para poder representar la respuesta máxima de todos los posibles sistemas de un grado de libertad para un movimiento particular de un terreno y representa la respuesta máxima de una serie de osciladores con periodo y amortiguamiento determinados.

El espectro de respuesta de un acelerograma, representa la respuesta máxima de un oscilador de un sólo grado de libertad y de masa unitaria, con frecuencia y amortiguamiento, cuando se le somete a un movimiento del suelo dado por dicho acelerograma.

Se define el espectro de respuesta como la respuesta máxima de un conjunto de osciladores de 1gdl que tiene el mismo amortiguamiento, sometidas a una historia de aceleraciones dadas (Aguilar Falconi, 2006).

Relación de Atenuación del Movimiento Máximo del Suelo

Es el movimiento del suelo durante un sismo depende fundamentalmente de dos factores: la magnitud del evento (M) y la distancia (R) desde el origen del sismo al sitio. La dependencia entre la magnitud y la distancia con el movimiento del suelo se describe mediante leyes de atenuación del movimiento sísmico, que describen la disminución del movimiento del suelo con la distancia en función de la magnitud del evento.

Dentro de este campo se vienen desarrollando trabajos encaminados a determinar la atenuación que experimentan las ondas sísmicas generadas por un terremoto durante su propagación en el interior de la Tierra.

Explicación del Fenómeno Sísmico

El movimiento que se produce en la superficie terrestre durante un terremoto se debe a una energía liberada a gran profundidad en el interior de la tierra, esta energía se transmite a la superficie a través de las llamadas ondas sísmicas.

Los terremotos se originan cuando las rocas situadas a gran profundidad se rompen de forma repentina como consecuencia de la presión a la que están sometidas o cuando se deslizan a lo largo de una falla.

El punto en que se libera la energía se conoce como foco del terremoto.

La energía del terremoto avanza desde el foco en forma de ondas internas.

Existe dos tipos de ondas internas, esto es transmitida por el interior de la tierra.

La onda más rápida es la llamada onda P u onda primaria, avanza a una velocidad entre 4 a 7 km/seg, dependiendo de la densidad a roca que atraviesa. una onda P es una onda de tipo compresivo, el material rocoso se comprime en la dirección de propagación de la onda y posteriormente se expande.

Una onda P es similar a una onda que se propaga a través de un muelle. Las espiras se comprimen y se expanden en el sentido en que avanza la onda.

El segundo tipo de onda interna se denomina onda S u onda secundaria, se propaga a través de la roca a una velocidad entre 2 y 5 km/seg aproximadamente a la mitad de la velocidad a la que avanza la onda P.

Una onda S es una onda transversal; el material rocoso situado en su trayectoria sube y baja o se mueve lateralmente en forma perpendicular a la dirección de propagación de la onda.

Una onda S es similar a una onda que se propaga a lo largo de una cuerda. La onda avanza por la cuerda moviendo una parte de la cuerda hacia arriba y luego hacia abajo.

Las ondas superficiales se propagan por la superficie terrestre a partir del epicentro, el punto de la superficie más próximo al foco del terremoto.

Las ondas superficiales son más lentas que las ondas internas, avanzan a una velocidad entre 2 a 3 km/seg. Pueden deformar la superficie terrestre además de causar daños en viviendas, edificios y otras estructuras.

Existen dos tipos de ondas superficiales:

Las ondas de Love provocan un movimiento de lado a lado perpendicular a su dirección de propagación, pueden provocar daños al romper carreteras o tuberías.

El segundo tipo de onda superficial se denomina Onda de Rayleigh, mueve la superficie terrestre en círculo, hacia arriba, hacia adelante, hacia abajo y hacia atrás. Puede provocar daño al desplazar los edificios del cimiento.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICAS UTILIZADAS

3.1.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La investigación aplicada es aquella que se desarrolla con el fin de resolver problemas de la práctica o de la producción y busca describir o validar técnicas, instrumentos o materiales que optimicen los procesos, por lo que sus hipótesis se demuestran en términos de eficaz o ineficaz; también este tipo de investigaciones resuelven problemas de naturaleza práctica, aplicando los resultados obtenidos. **(Ccanto Mallma, 2010, pág. 65).**

El tipo de investigación de acuerdo al fin de que se persigue es aplicada y de acuerdo con el tipo de datos a analizar tiene el enfoque cuantitativo **(Román, 2018, pág. 61)**, de nivel descriptiva explicativa analítica, pues permitirá que la evaluación de las variables sea medible a través de los resultados históricos de acelerogramas a través del acelerógrafo o acelerómetro.

El nivel es descriptivo por que interpreta lo que es, la descripción, registro y análisis de la naturaleza actual, composición o procesos de fenómeno **(Román, 2018, pág. 62).**

Mide, evalúa y recolecta datos sobre diversos conceptos (variables), aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno a investigar, además en este tipo de estudios se seleccionan una serie de cuestiones y se mide o recolecta información sobre cada una de ellas para así describir lo que se investiga. **(Ccanto Mallma, 2010, pág. 69).**

Por lo tanto, de acuerdo con el fin que se persigue es **aplicada**, no experimental, porque las variables no modifican el sistema. Por el tipo de datos utilizados en la investigación es bajo el enfoque **cuantitativa** ya que se trata de cuantificar valores numéricos de señales sísmicas (acelerogramas) y medir los parámetros

relacionados a la aceleración máxima, velocidad, desplazamiento, espectro de respuesta o Fourier, entre otros ocurridas a causa de un sismo de una determinada magnitud, de **nivel descriptiva** no experimental, porque se describe los hechos tal cual son observados en el acelerógrafo, **explicativa analítica**, debido a que se realiza el análisis, luego de obtener los resultados procesados con dos softwares, el SeismoSignal y Seismoprocessor, además por que los diferentes modelamientos, corridas y correlación que fueron analizados ampliamente mediante sus correspondientes dimensiones o subvariables, los mismos que nos permitió llegar a las conclusiones valiosas.

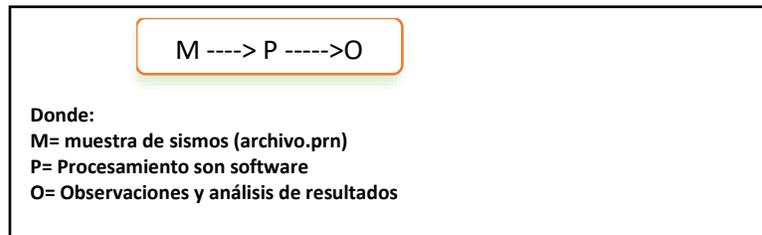
3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Los diseños no experimentales de investigación son aquellos, cuyas variables independientes carecen de manipulación intencional, y no poseen grupo de control, ni mucho menos experimental. Analizan los hechos y fenómenos de la realidad después de su ocurrencia. Por otro lado, los diseños transversales explicativos son aquellos diseños propios para determinar y conocer la causas, factores o variables que generan situaciones problemáticas dentro de un determinado contexto. Explican los hechos y fenómenos en cuanto a sus causas y consecuencias. **(Carrasco Diaz, 2005, págs. 71- 72).**

Se aplicó un diseño de investigación no experimental, ya que no se manipula las variables ni aleatorización de estas, lo que se hizo es recolectar información de señales acelerográficas de sismos, **retrospectivo** debido a que los registros sísmicos fueron obtenidos en el pasado y **transversal** porque las variables son observadas solo una vez y **longitudinal** por el periodo de análisis del año 2019 al año 2022.

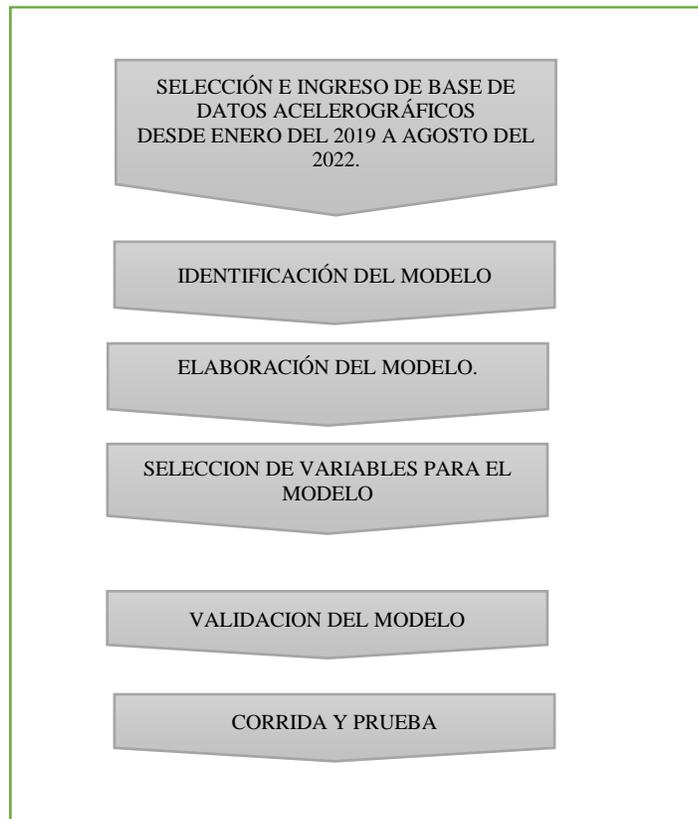
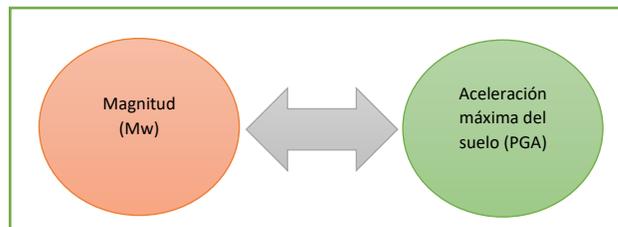
Se representa mediante la siguiente simbología:

Diseño 1: Diseño descriptivo simple



Diseño 2:

Además, para el diseño no experimental - correlacional



3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACION O UNIVERSO

Para **(Tamayo Tamayo, 2003)**. La población es la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis o entidades de población que integran dicho fenómeno y que debe cuantificarse para un determinado estudio integrado un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica, y se le denomina población por constituir la totalidad del fenómeno adscrito a un estudio o investigación.

La población o universo estuvo constituido por todos los sismos producidos en el Perú, con registros acelerograficos en el periodo de enero 2019 a agosto del 2022, pero de magnitud mayor o igual a 4.5 Mw, ya que menores a ella son casi imperceptible a la población, en total (N=4560 sismos), registrados por Instituto Geofísico del Perú, adicionalmente se tomó en cuenta el:

- Catálogo sísmico del CISMID (centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres).
- Catálogo sismológico del Instituto Geofísico del Perú (IGP).
- Base de datos CISMID-EPG-UNI
- Red Acelerografica del CIP.

Los sismos son cada vez más frecuentes, según el Centro Sismológico Nacional (CENSIS) del Instituto Geofísico del Perú (IGP) En el año 2015 se reportaron 277 eventos sísmicos, en el 2016 se reportaron 413 sismos, mientras que en el 2017 se reportaron 397 sismos. Durante el 2018, el IGP reportó 619 sismos, en el año 2019 se reportaron 550 sismos, siendo el de mayor magnitud el ocurrido en Laguna, Amazonas una magnitud de M8.0 Mw (USGS) , ML 7.2 (IGP) ; en el año 2020 se reportaron 811 sismos, en el año 2021 se reportaron 834 sismos y hasta el mes de agosto del 2022 se reportaron 659 sismos, pudiendo observar la

tendencia creciente con variaciones irregulares desde el punto de vista estadístico.

3.2.2 MUESTRA

Según **(Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)**. La muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. El investigador pretende que los resultados encontrados en la muestra se generalicen o extrapolen a la población. El interés es que la muestra sea estadísticamente representativa.

Por la característica del proyecto, el muestreo fue no probabilístico, o intencional a juicio de valor o conveniencia, es decir los eventos sísmicos de la zona 2, parte de 1 y 3 de la selva peruana con una magnitud mayor o igual a 4.5 Mw, en total fueron (n=64) sismos registrados por las estaciones acelerográficas.

Los registros de las señales sísmicas tomado fueron desde el mes de enero del 2019 hasta agosto del 2022, registrados por las estaciones acelerográfica instaladas en la zona 2 de la selva peruana (Colegio de Ingenieros del Perú, Concejo Departamental de Ucayali, SENCICO, universidades).

En la figura 19, se presenta el Mapa Sísmico del Perú, en donde se puede apreciar la distribución espacial de los eventos ocurridos durante el periodo 1960-2021, de donde se seleccionará los sismos mayores a 4.5 Mw.

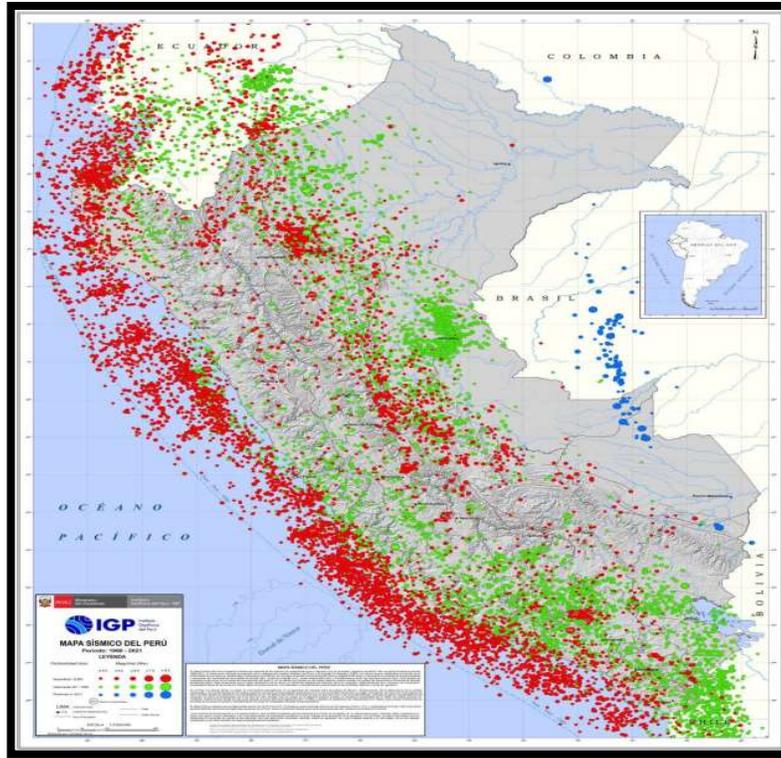
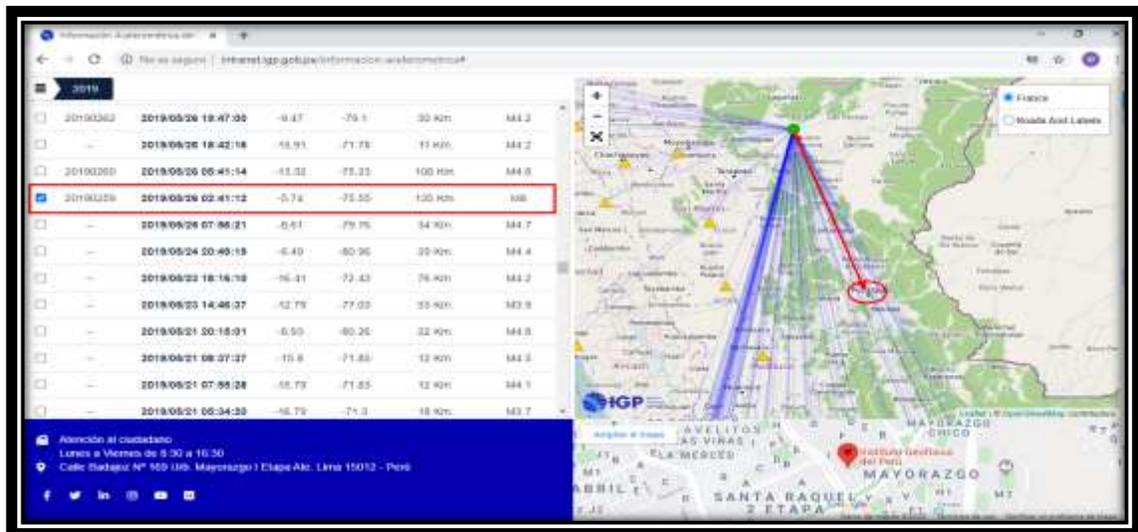


Figura 19. Mapa sísmico del Perú , Periodo 1960 – 2021

Fuente : LIMA , Sismología Mapa Sísmico , Publicación de informe sísmico, Instituto Geofísico del Perú, 2022.

La unidad de análisis fue el sismo producido de mayor grado en la escala Mw e intensidad de escala Modificada de Mercalli.



Fuente: IGP, <https://intranet.igp.gob.pe/informacion-acelerometrica#>

3.3 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

➤ FUENTES, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

De acuerdo con (**Hurtado de Barrera, 2010, pág. 771**). Las técnicas comprenden procedimientos y actividades que le permiten al investigador obtener la información necesaria para dar respuesta a su pregunta de investigación. Estas técnicas se pueden clasificar según el proceso para acceder a dicha información, y también con la base en el área de conocimiento donde se aplican.

La técnica fue la recopilación documental e instrumental, es una técnica de recolección de datos e información a partir de documentos escritos y no escritos para conocer o medir una variable, asimismo obtenidos de los reportes sísmicos brindados por la red de acelerógrafos.

Fuentes Primarias: Datos recopilados del registro del acelerógrafo instalado, además de datos ya procesados en archivo .prn, de la red Acelerografica del CISMID, IGP y el CIP-CDU.

Fuentes Secundarias: libros, revistas especializadas, manuales, norma E030 Sismo resistente, material electrónico, internet, otros medios.

Equipo de recolección de datos

Para la recolección de datos se usó un REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph.

Uno de los instrumentos fue la ficha de registro acelerográfico, donde se detallaron los datos de:

- Magnitud de sismo.
- Foco epicentral del sismo.
- Distancia

- Intensidad de sismo mostrada en reporte sísmico.
- Coordenadas geográficas del epicentro del sismo.
- Departamento, provincia y localidad del epicentro del sismo.
- Aceleración PGA del suelo.

3.4. PROCESAMIENTO Y PRESENTACIÓN DE DATOS

Software para el procesamiento de registros sísmicos

Para poder interpretar de la mejor manera los datos obtenidos, se hizo uso de la correlación estadística para poder correlacionar la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental. Este proceso consistió en la obtención numérica de: registros sísmicos corregidos usando un software de aplicación SPSS vs 25.

Luego también los datos fueron procesados mediante dos softwares SeismoSignal y el Sismoprocessor, el cual nos proporcionó resultados como los registros de aceleración, velocidades, registros de desplazamientos, corrección por filtrado de los acelerogramas, cálculo de espectros de respuesta, que permitió sacar las conclusiones relevantes.

En particular con el SeismoSignal se obtuvo:

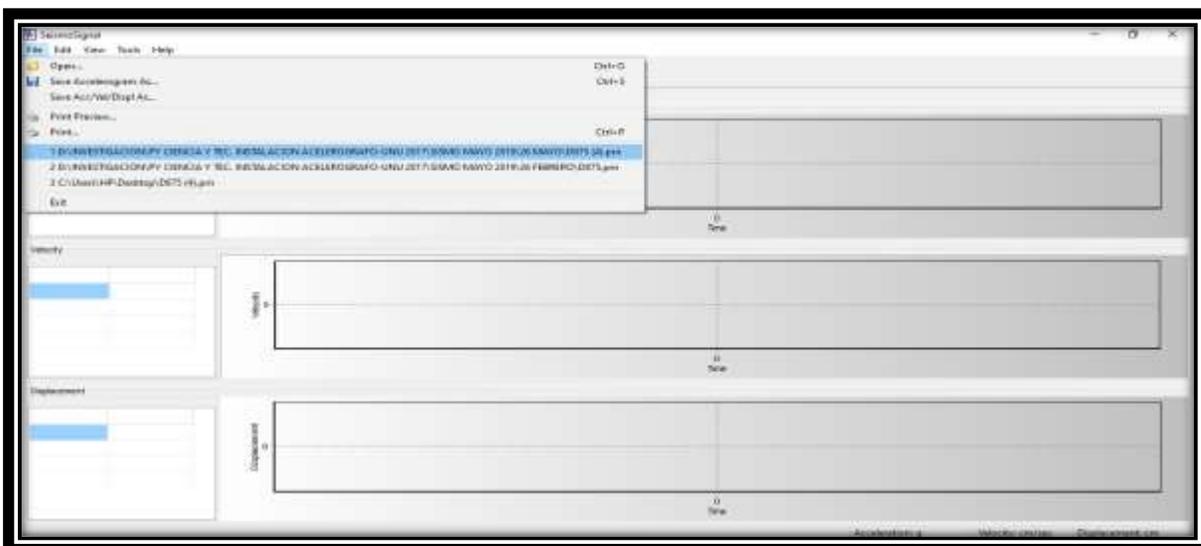
- Espectros de Fourier y Poder
- Espectros de respuesta elástica y pseudo espectros.
- Espectros de respuesta inelástica sobreamplificada y de ductilidad constante
- Root-mean-square (RMS) de aceleración, velocidad y desplazamiento
- Arias (I_a) e intensidades características (I_c)
- Velocidad absoluta acumulativa (CAV) y densidad de energía específica (SED)
- Intensidad del espectro de aceleración (ASI) y velocidad (VSI)

- Intensidad de la carcasa (HI)
- Aceleración máxima sostenida (SMA) y velocidad (SMV)
- Diseño efectivo de aceleración (EDA)
- Periodos predominantes (T_p) y medios (T_m)

VISTA DE REPORTE DE ACELEROGRAMAS EN EL ACELEROGRAFO: REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph – CÓDIGO DE ESTACIÓN: D875

El acelerógrafo capta tres movimientos NS, EO Y V y el tiempo en cada componente.





Asimismo, se utilizó el Seismoprocessor, software para el Procesamiento de Acelerogramas, desarrollado por:

- Michael Chipana Inti.
- Carmen Ortiz Salas.
- Jorge Alva Hurtado.
- Eduardo Vilchez Deza.

El programa fue distribuido por la Red Acelerográfica CIP CN/UPG-FIC-UNI, bajo el enlace: <http://www.red-acelerografica-peru.com/seismoprocessor>

Seismoprocesor. El software se compone de interfaces de gráfica y de contenido de los resultados procesados que permiten interactuar de manera dinámica para la mejor interpretación y toma de decisiones, una de sus principales fortalezas es que los procedimientos tienen referencias bibliográficas de investigaciones de cada proceso.

Seismoprocessor es un programa simple que le permite al usuario visualizar, modificar y procesar de manera fácil registros sísmicos y acelerográficos. Dentro de sus principales opciones considera:

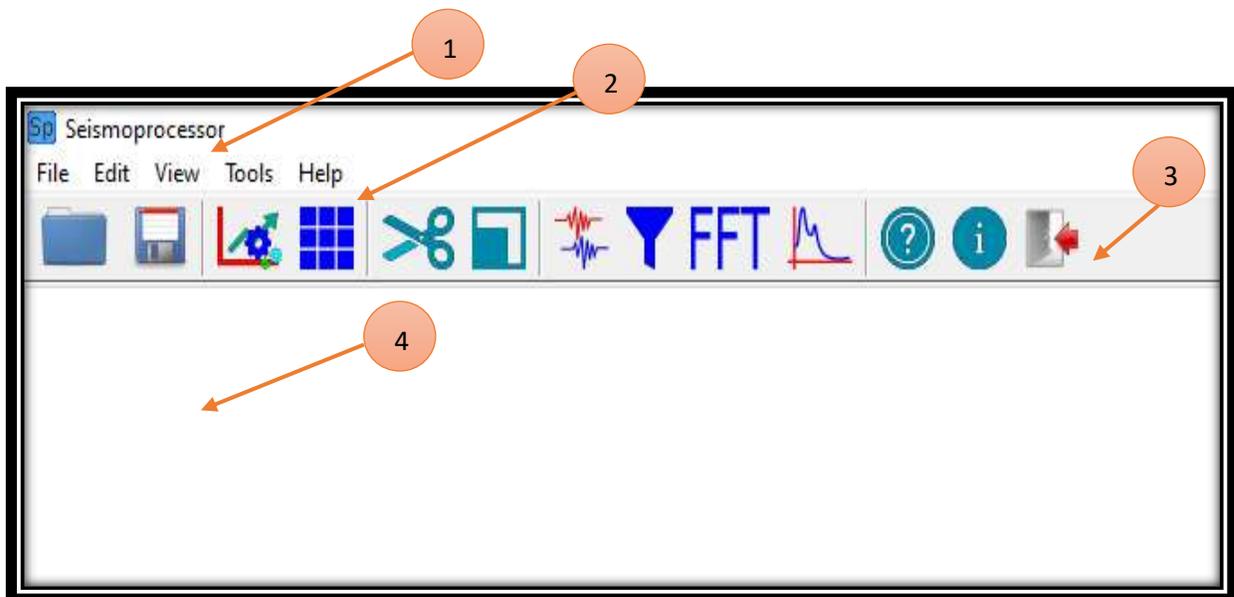
- Corrección por línea base.
- Filtrado de la señal.
- Obtención del tiempo-historia de aceleraciones, velocidades y desplazamientos.
- Espectro de amplitudes de Fourier (EAF).

- Espectro de respuesta.
- Respuesta inelástica.
- Función de transferencia.

El programa soporta los principales estándares de archivos que se usan al almacenar la información de los acelerógrafos. En caso de que se use archivos de texto plano con un formato propio, el programa también cuenta con la capacidad de poder leer estos archivos.

Componentes del Seismoprocessor

1. BarradeTitulo
2. BarradeMenú
3. BarradeHerramientas
4. Áreadetrabajo



Registros sísmicos clasificados

Para fines de la unidad muestral de investigación se tomó como referencia el SISMO DE LAGUNAS –ALTO AMAZONAS –LORETO DEL 26 DE MAYO DE 2019 Mw= 7.5 (IGP), Mw= 8.0 (USGS), por considerarse uno de los sismos de mayor magnitud, producida el 26 de Mayo del 2019.

Se tuvo en cuenta para simplificar el informe, solo se está indicando en el anexo un resumen, ya que el número de líneas varía en función al tiempo del sismo, como es para el caso del sismo de del 26 de mayo, aproximadamente tiene 60000 muestras (filas registradas) con los parámetros de aceleración, velocidad y desplazamiento.

Dato Fuente	Coordenadas geográficas (°)		Profundidad (Km)	Hora Epicentral UTC
	Latitud	Longitud		
	Sur	Oeste		
IGP	-5.74	-75.55	135	07:41:12
USGS	-5.796	-75.298	109.9	07:41:14

NÚMERO DE REPORTES ACELEROGRÁFICOS CON RELACIÓN A LAS MAGNITUDES.

Rango de Magnitud	N° Reportes
ML ≤ 5	1514
5 < Mw ≤ 7	110
Mw > 7	3
TOTAL	1627

NÚMERO DE REPORTES ACELEROGRÁFICOS CON RELACIÓN A LAS ACELERACIONES

Rango de Aceleraciones (cm/s ²)	N° Reportes
<10	1494
<10, 50]	120
<50, 100]	10
<100, 400]	3
TOTAL	1627

Fuente: CISMID-UNI

A. Regresión Lineal Simple y Regresión de mínimos cuadrados ordinarios.

La regresión lineal simple examina la relación lineal entre dos variables continuas: una respuesta (Y) y un predictor (X). Cuando las dos variables están relacionadas, es posible predecir un valor de respuesta a partir de un valor predictor con una exactitud mayor que la asociada únicamente a las probabilidades.

La regresión proporciona la línea que "mejor" se ajusta a los datos. Esta línea se puede utilizar después para:

- Examinar cómo cambia la variable de respuesta a medida que cambia la variable predictora.
- Predecir el valor de una variable de respuesta (Y) para cualquier variable predictora (X).

Para hacer una estimación del modelo de regresión lineal simple, trataremos de buscar una recta de la forma:

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta}X = a + bX$$

de modo que se ajuste a la nube de puntos.

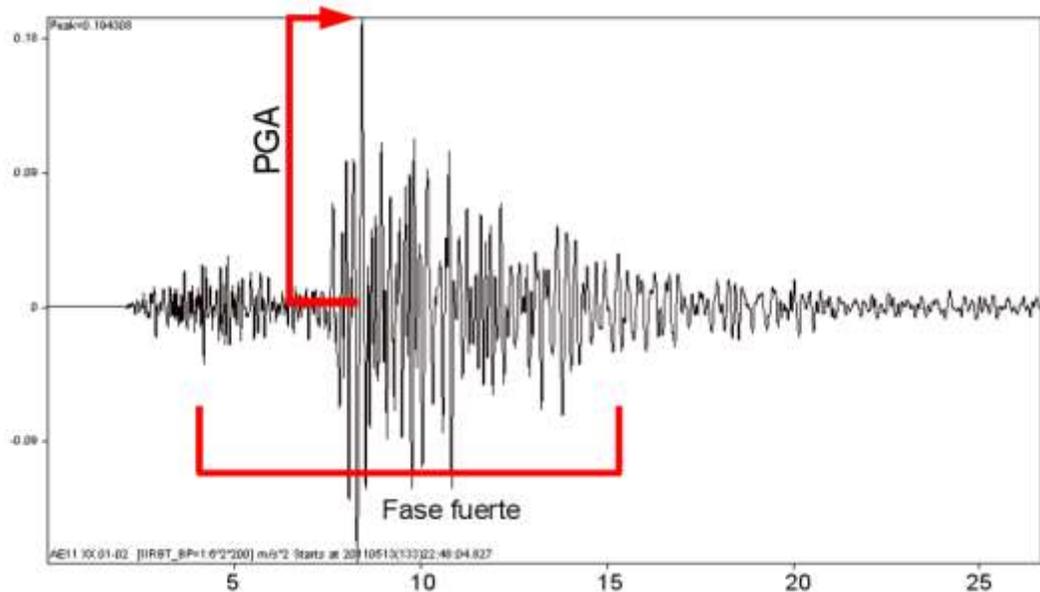
Para esto utilizaremos el método de mínimos cuadrados. Este método consiste en minimizar la suma de los cuadrados de los errores:

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

Es decir, la suma de los cuadrados de las diferencias entre los valores reales observados (y_i) y los valores estimados (\hat{y}_i).

B. Correlación

Se presentan correlaciones estadísticas por regresión lineal. La aceleración sísmica es una medida utilizada en terremotos que consiste en una medición directa de las aceleraciones que sufre la superficie del suelo. Es una medida muy importante en el campo de la ingeniería sísmica. La unidad de aceleración utilizada es la intensidad del campo gravitatorio o galios ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).



A diferencia de otras medidas que cuantifican terremotos, como la escala de magnitud de momento, la aceleración no es una medida de la energía total liberada del terremoto, por lo tanto, no es una medida de magnitud sino de intensidad que se puede medir con acelerógrafos y correlacionar la aceleración sísmica con la magnitud y la escala de intensidad de Mercalli o MMI.

La escala de Mercalli mide la intensidad de un terremoto según los daños que produce. Normalmente, esta escala es directamente relacionable con la intensidad, aunque la existencia en la zona de construcciones mucho

más resistentes (o mucho menos resistentes) de lo normal puede falsear la medición de la escala de Mercalli, perdiéndose la correlación.

Escala de Mercalli	Aceleración sísmica	Velocidad sísmica	Percepción del temblor	Potencial de daño
	(g)	(cm/s)		
I	< 0.0017	< 0.1	No apreciable	Ninguno
II-III	0.0017 – 0.014	0.1 – 1.1	Muy leve	Ninguno
IV	0.014 – 0.039	1.1 – 3.4	Leve	Ninguno
V	0.039 – 0.092	3.4 – 8.1	Moderado	Muy leve
VI	0.092 – 0.18	8.1 – 16	Fuerte	Leve
VII	0.18 – 0.34	16 – 31	Muy fuerte	Moderado
VIII	0.34 – 0.65	31 – 60	Severo	Moderado a fuerte
IX	0.65 – 1.24	60 – 116	Violento	Fuerte
X+	> 1.24	> 116	Extremo	Muy fuerte
XI+
XII+

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. INSTALACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN ACELERÓGRAFICA

El instrumental de la red acelerográfica, se viene instalando en Universidades, Consejos Departamentales del Colegio de Ingenieros del Perú, SENCICO, en edificaciones que tengan mayor a 10 000 m² de área construida, lo cual permite generar información de acelerogramas de distribución, de uso abierto, para desarrollar investigaciones orientadas a la actualización de las normas E.030 Diseño Sismorresistente y E.050 Suelos y Cimentaciones, así como para la definición de criterios base para estudios de micro y macro zonificación, estudios de riesgo sísmico, evaluación de la respuesta de las obras civiles y del daño en edificaciones y obras de infraestructura ante eventos sísmicos severos, generación de información necesaria para la evaluación de la amenaza sísmica y la generación de información para las instituciones vinculadas a la prevención, mitigación y alerta frente a eventos sísmicos.

Para el caso de la presente investigación se tesis se a tomado como referencia los reportes de la red acelerográfica de la Zona 2, la caseta o estación acelerográfica del CIP Concejo Departamental de Ucayali, con la cual se ha hecho los reportes de los acelerogramas, el análisis correspondientes con los parámetros simicos y también en la construcción de la estación acelerográfica ubicada en la Universidad Nacional de Ucayali, específicamente en la escuela de Ingeniería Civil, como resultado de un convenio con la Universidad Nacional de Ingeniería. La estación del CIP CDU fue instalado bajo techo dentro de su infraestructura.

La estación de la Universidad Nacional de Ucayali, terminado consta de sobre cimientos, columnas, vigas, losas, muros cielo raso, pisos,

carpintería metálica, instalaciones sanitarias y eléctricas entre otros, faltando solo instalar el acelerógrafo, su configuración y conexión a la red nacional.

CASETA ACELEROGRÁFICA DEL CIP CDU



CASETA ACELEROGRÁFICA DE LA UNU



El costo total de la estación Acelerográfica de la UNU fue de 28,601.26 soles, incluido IGV.

4.2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO INSTALADO (CIP CDU) **Sensor triaxial de aceleración:**

- Sistema de tres componentes ortogonales.
- Ancho de Banda: DC hasta 100 Hz o más.
- Rango dinámico mayor igual a 90 db

- Rango de medición igual o mayor a $\pm 2g$

Sistema de Registro

- Frecuencia de muestreo: seleccionable a 50, 100, 200 muestras por segundo.
- Resolución: mayor a 16 bits efectivos por canal.

Modos de registro:

- Por nivel aceleración medida
- Por comparación de promedio de energía en ventanas de tiempo (Algoritmo STA/LTA)
- Ventana de Tiempo de registro de 30 segundos antes del inicio del sacudimiento y 30 segundos después de cumplida la condición del fin del evento.
- Referencia de tiempo por GPS y oscilador interno compensado de alta estabilidad. Cuando sea necesario colocar más de una estación de acelerométrica, todas las estaciones deben contar referencia de tiempo GPS o en su defecto solo una de ellas, pero las restantes deben contar con un mecanismo de sincronización especialmente diseñado para ese fin.
- Capacidad de Almacenamiento: mayor o igual a 4 Gigabytes, en dispositivo de memoria fijo o removible, colocado en el interior del equipo.
- Capacidad de Conectividad: puerto Ethernet con interfaz usuario vía web para el control, configuración y descarga de datos.
- Otros medios opcionales: USB2.0, USB3.0, serial, bluetooth, otros.

Software:

- Aplicativos para configuración y control.

- Convertidor de datos registrados por el equipo a formato MINISEED, ASCII, SAC.

Fuente de Energía:

- Externa 12 VDC; con cargador 220VAC.
- Capacidad de mantener al equipo operativo por lo menos dos (02) días ante pérdida del suministro eléctrico.

- **ACELERÓGRAFO**

REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph



Además, se utilizó;

Brújula



GPS

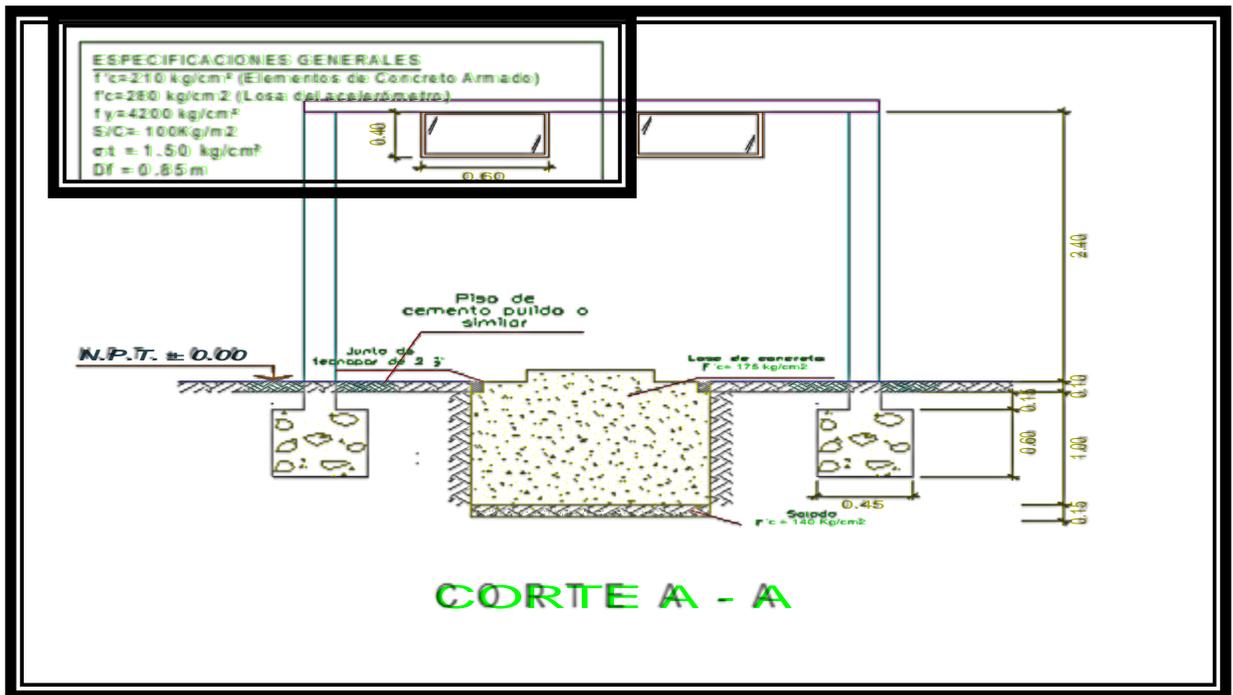
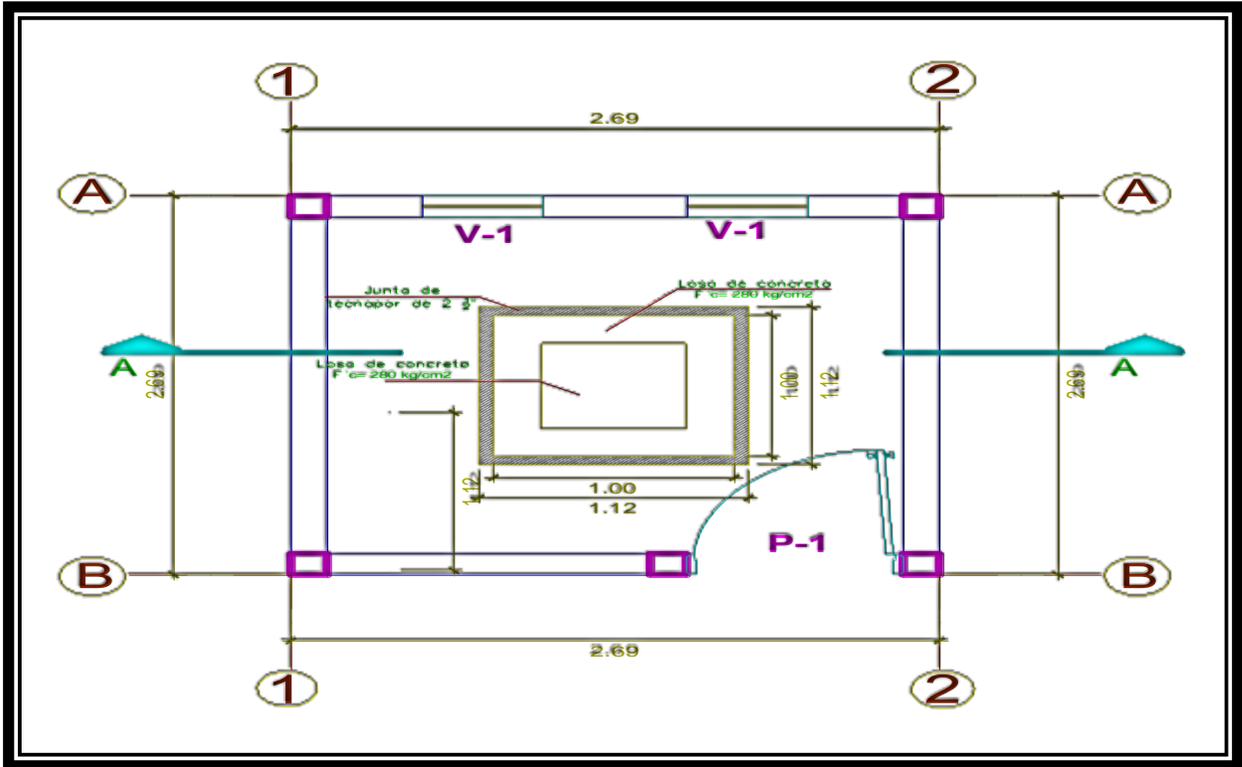


Reuter



Aspectos técnicos de Ingeniería del Proyecto:

Planos:



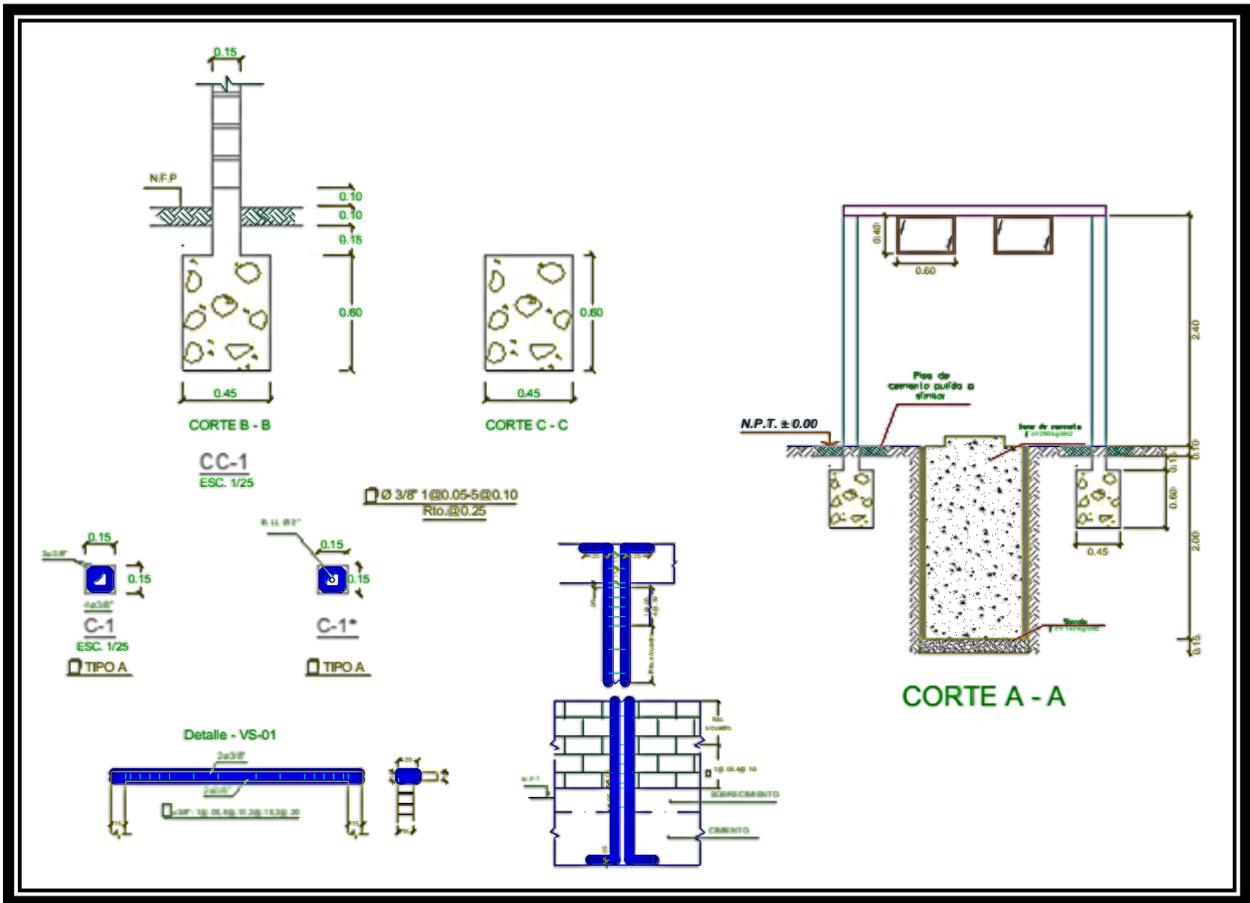


Figura 20. Plano de arquitectura y estructuras de la caseta acelerográfica.

4.3. PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTACIÓN ACELEROGRAFICA

Para la instalación del Acelerógrafo se tuvo que cumplir con todos los requisitos técnicos que establece las especificaciones técnicas relacionado al suelo, distancia de línea de tráfico, orientación, conectividad, entre otros.

OBRAS CIVILES PROCESO DE EXCAVACIÓN PARA EL DADO DE CONCRETO DE $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$ – CIP CDU

EXCAVACIÓN:



SOLADO, COLOCACION DE PLANCHA DE TECNOPOR DE 1" Y PROCESO DE CURADO



INSTALACIÓN DE EQUIPOS Y PERIFERICOS

ACELERÓGRAFO:



REUTER



GPS



INSTALACIÓN DEL SOFTWARE Y CONFIGURACIÓN

El Acelerógrafo modelo REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph, viene con software RT Display para instalación, configuración, visualización y conectividad.

DIAGRAMA DE CONECTIVIDAD LOCAL HACIA EL SERVIDOR

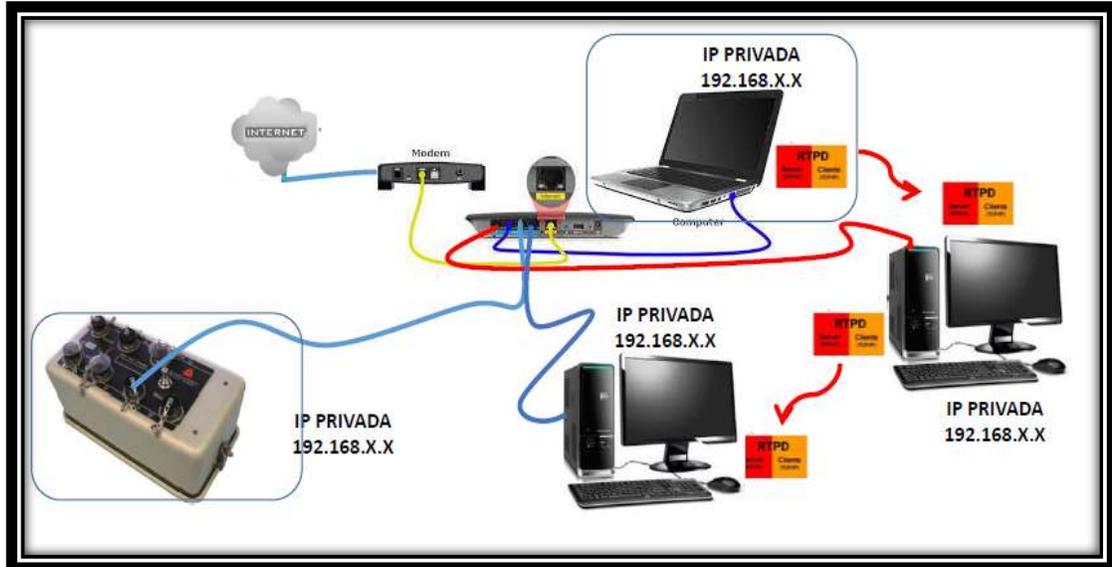


Figura 21. Diagrama de conectividad local hacia el servidor

Fuente: Red Acelerográfica del Perú, EPG-CISMID-UNI.

REDES E INTEGRACIÓN REMOTA

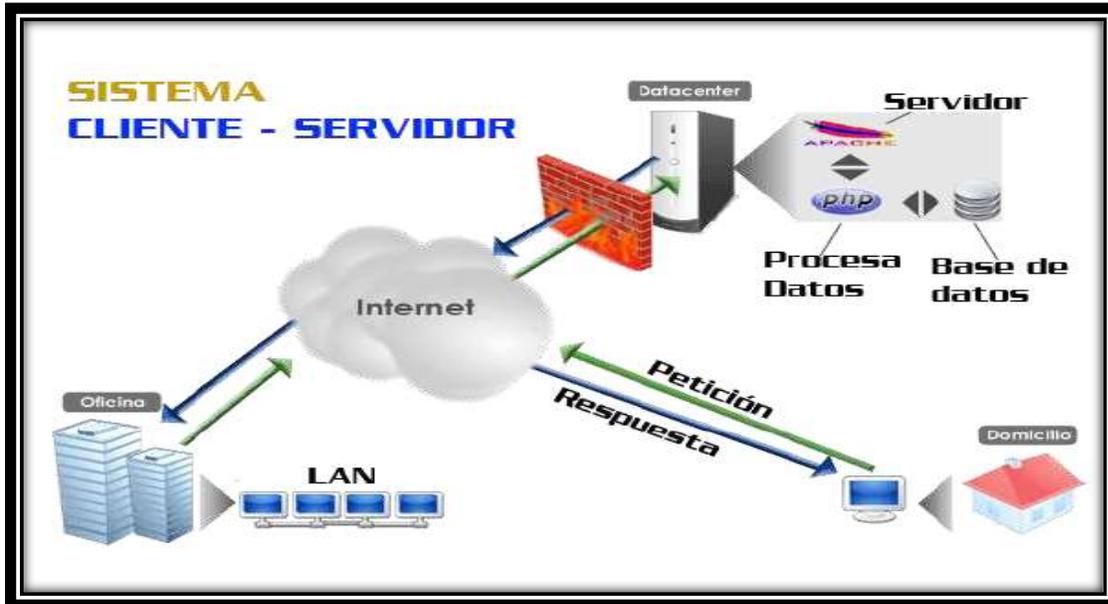


Figura 22. Diagrama de Redes e Integración remota

Fuente: Red Acelerográfica del Perú, EPG-CISMID-UNI.

Para hacer la conexión vía internet el software REFTEK se instala el software en el servidor y configurar el firewall.

ARQUITECTURA DE COMUNICACIÓN REFTEK

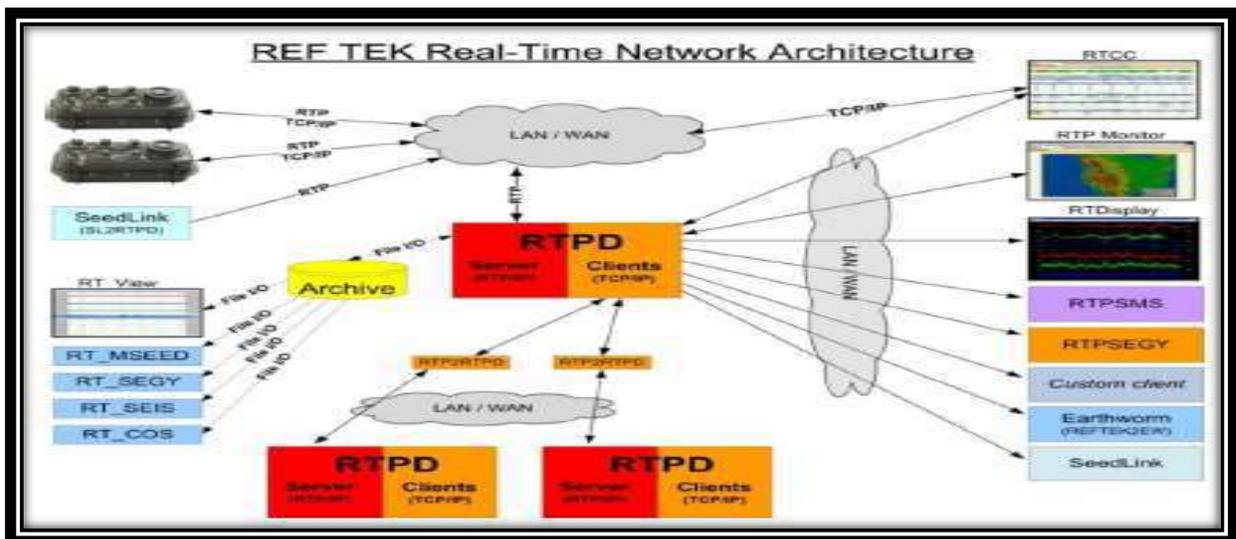


Figura 23. Arquitectura de Comunicación Reftek

Fuente: Red Acelerográfica del Perú, EPG-CISMID-UNI.

4.4. PROCESAMIENTO DIGITAL DE SEÑALES SÍSMICAS USANDO SEISMOPROCESSOR

Estructura de la Base de Datos

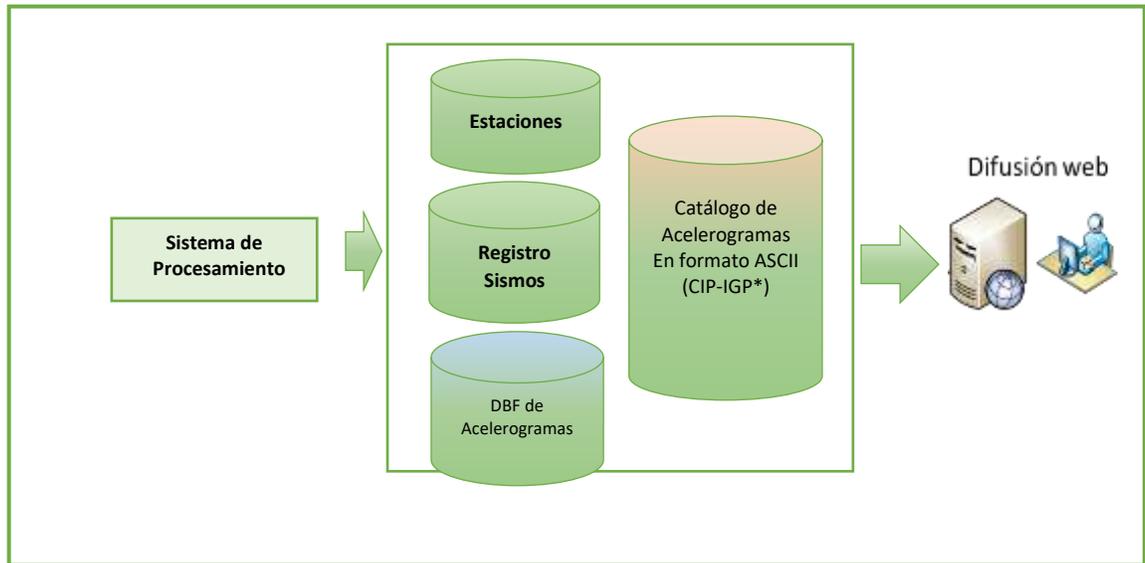


Figura 24. Estructura de la base de datos para el procesamiento digital de señales sísmicas.

(*) Colegio de ingenieros, CISMID-UNI

Para el procesamiento de las señales sísmicas, se instaló dos programas: El SeismoSignal cuya licencia educativa se tuvo que solicitar y asignar y el SeismoProcessor, que es un programa distribuido gracias al Redasoft que pertenece a la Red Acelerografica CIP CN/UPG-FIC-UNI, liderada por el Dr. Jorge Alva Hurtado, Rector de la Universidad Nacional de Ucayali.

El SeismoProcessor es un programa simple que le permite al usuario visualizar, modificar y procesar de manera fácil registros sismográficos y acelerográficos. El programa soporta los principales estándares de archivos que se usan al almacenar la información de los sismógrafos y acelerógrafos.

De los registros realizados desde enero del 2019 hasta agosto del 2022, los 04 eventos sísmicos de mayor intensidad e importancia fueron en la región de la selva amazónica o parte de ella, entre los que figura el sismo de Laguna que se

produjo el 26 de mayo del 2019 con una magnitud de 7.5 Mw. Este sismo es la que se tomó como referencia para el procesamiento de los registros de las señales tomadas por la estación acelerográfica del CIP Ucayali, pero al mismo tiempo se relaciona con los registros de los equipos instalados más cercanos como: Colegio de Ingenieros de Moyobamba, SENCICO Iquitos, Colegio de Ingenieros de Tarapoto, Colegio de Ingenieros de Amazonas, Colegio de Ingenieros de Huánuco, Colegio de Ingenieros de Ucayali, Colegio de Ingenieros de Cajamarca.

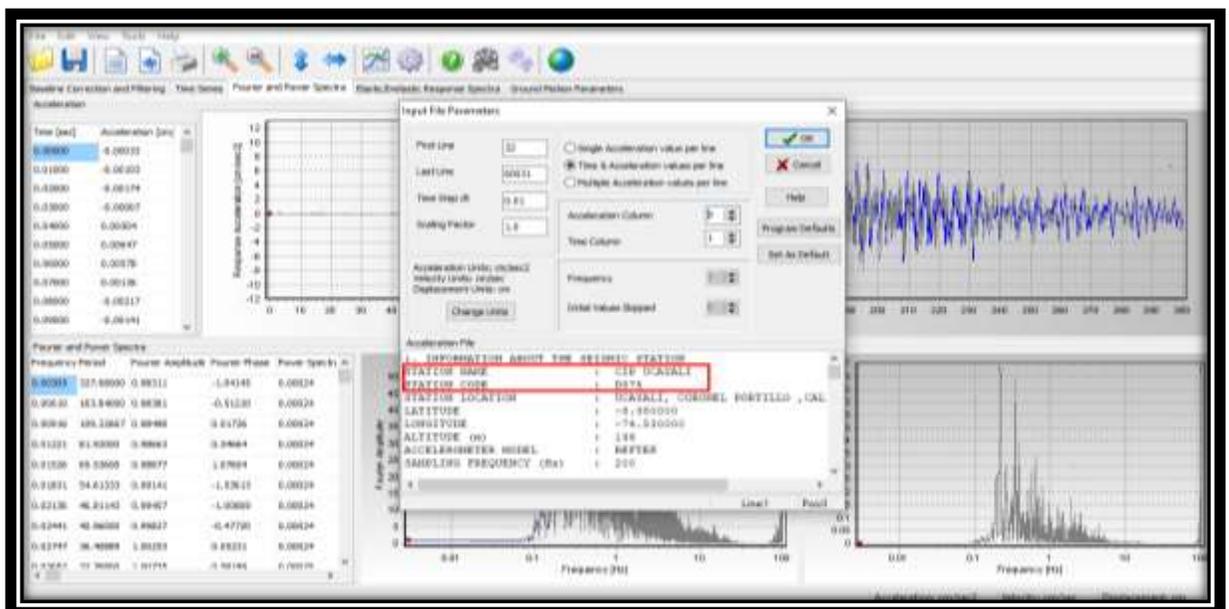
4.5. RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE SEÑALES SISMICAS DEL SISMO DE MAYOR MAGNITUD USANDO EL SEISMOSIGNAL Y SEISMOPROCESSOR

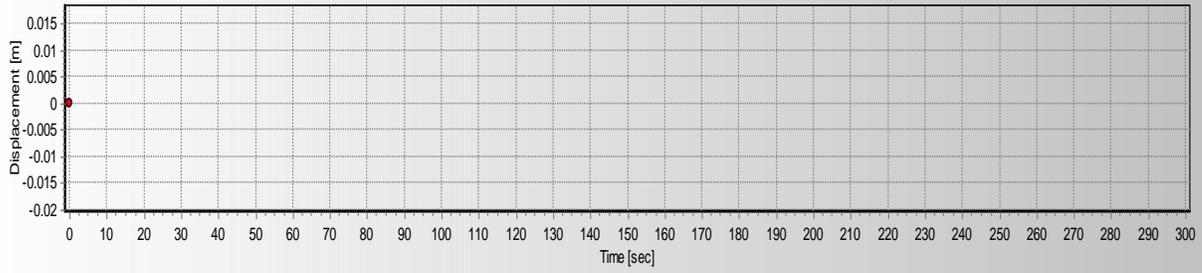
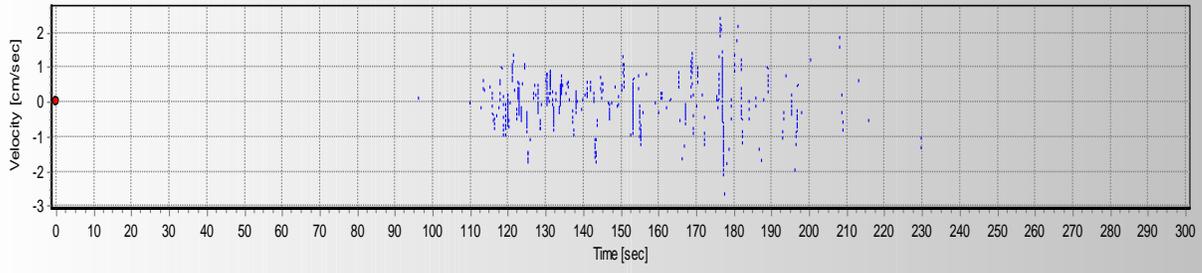
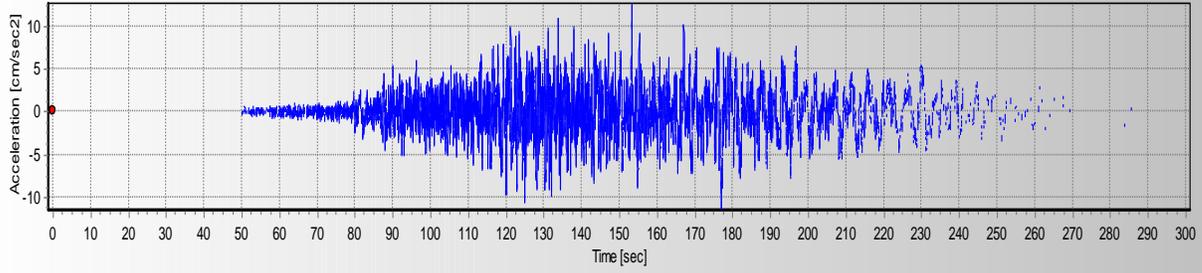
El SeismoProcessor es un programa simple que le permite al usuario visualizar, modificar y procesar de manera fácil registros de sísmicos y acelerográficos.

El programa soporta los principales estándares de archivos que se usan al almacenar la información de los sismógrafos y acelerógrafos.

Procesamientos y Análisis de los Acelerogramas Registrado del Sismo ocurrido el 26 de mayo del 2019

Valores de Parámetros de Intensidad – EO - Procesados con SEISMOSIGNAL.





File Edit View Tools Help

Baseline Correction and Filtering Time Series Power and Power Spectra Modal/Structural Response Spectra Ground Motion Parameters

Acceleration

Time [sec]	Acceleration [cm/sec ²]
0.0000	-8.80643
0.0200	-8.80275
0.0300	8.09247
0.0300	8.09142
0.0400	8.09789
0.0500	8.09433

Velocity

Time [sec]	Velocity [cm/sec]
0.0000	0.00000
0.0200	-0.80802
0.0300	-0.80802
0.0300	8.00012
0.0400	8.00098
0.0500	8.00019

Displacement

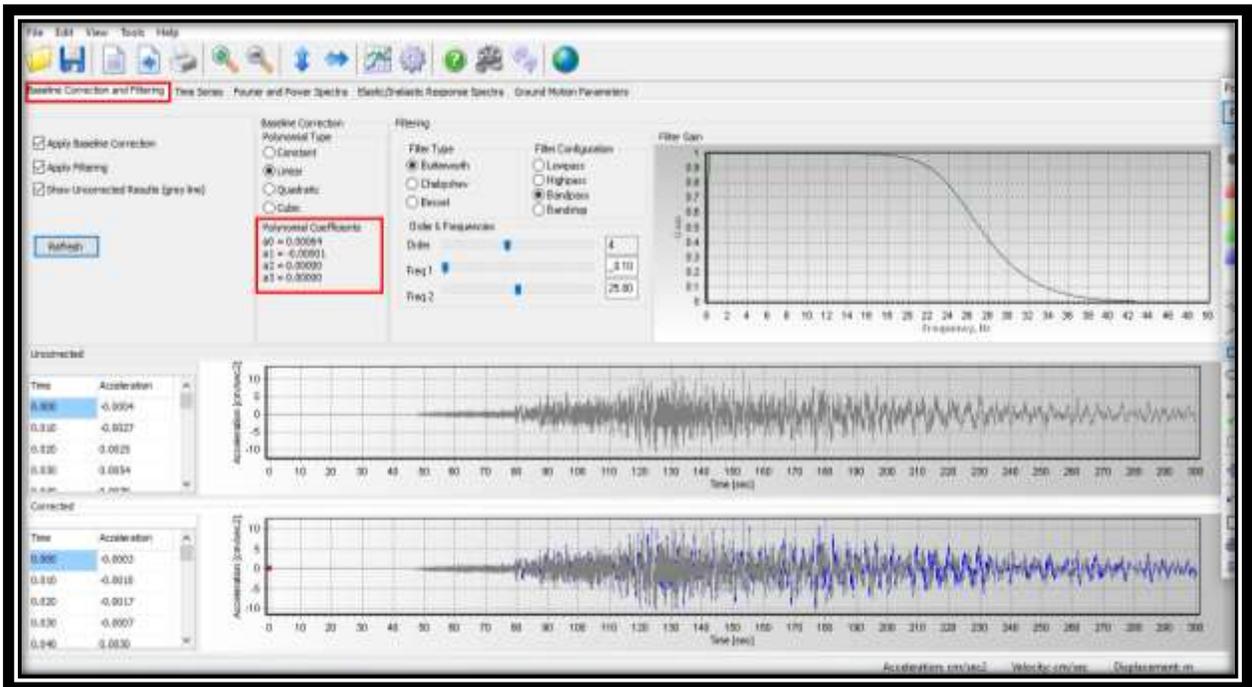
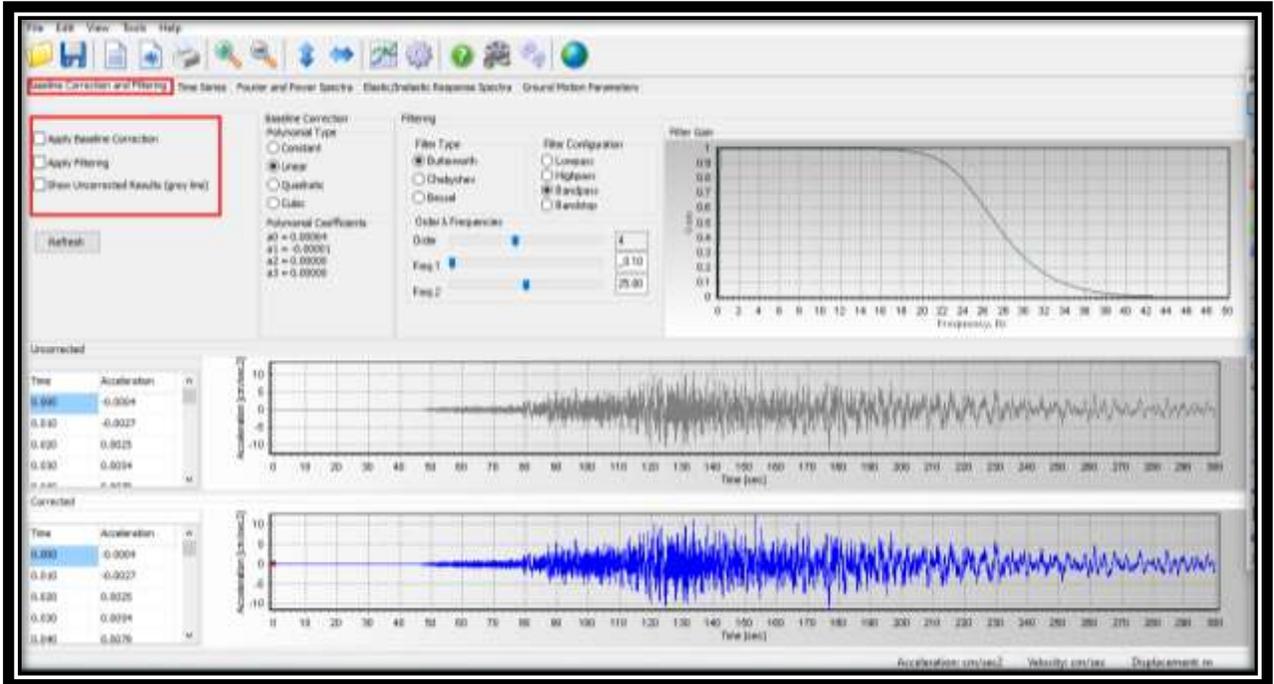
Time [sec]	Displacement [m]
0.0000	0.00000
0.0200	-8.00000
0.0300	-8.00000
0.0300	-8.00000
0.0400	8.00000
0.0500	8.00000

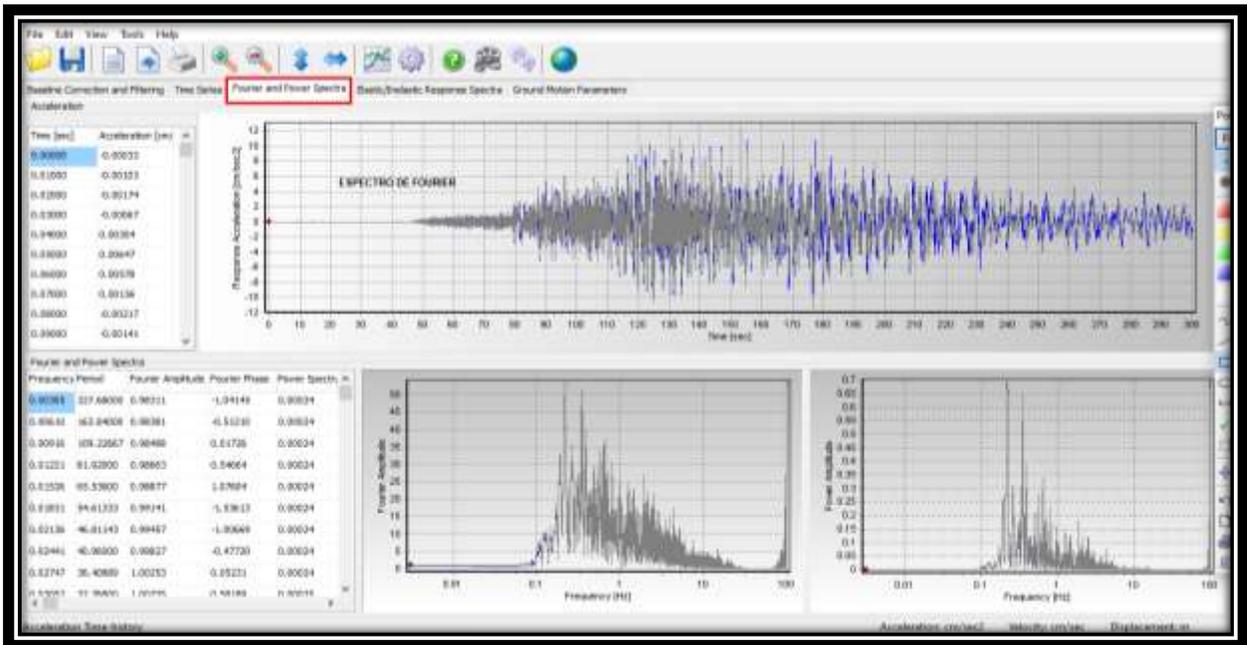
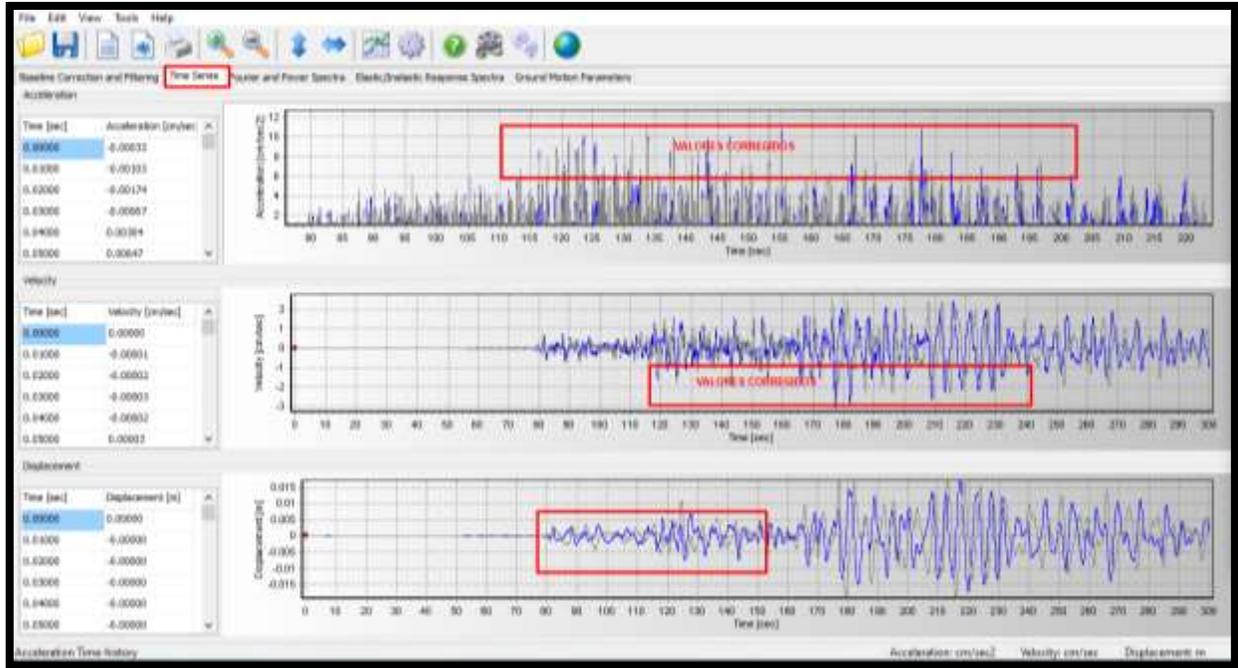
Acceleration Time-History

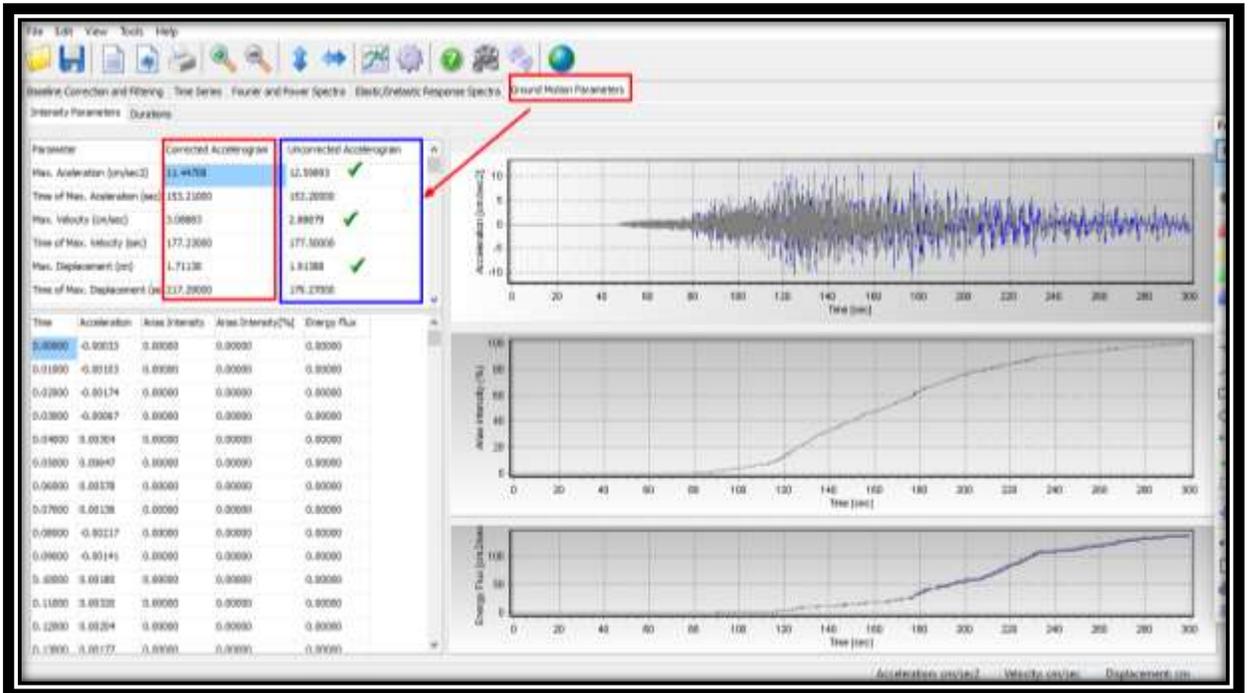
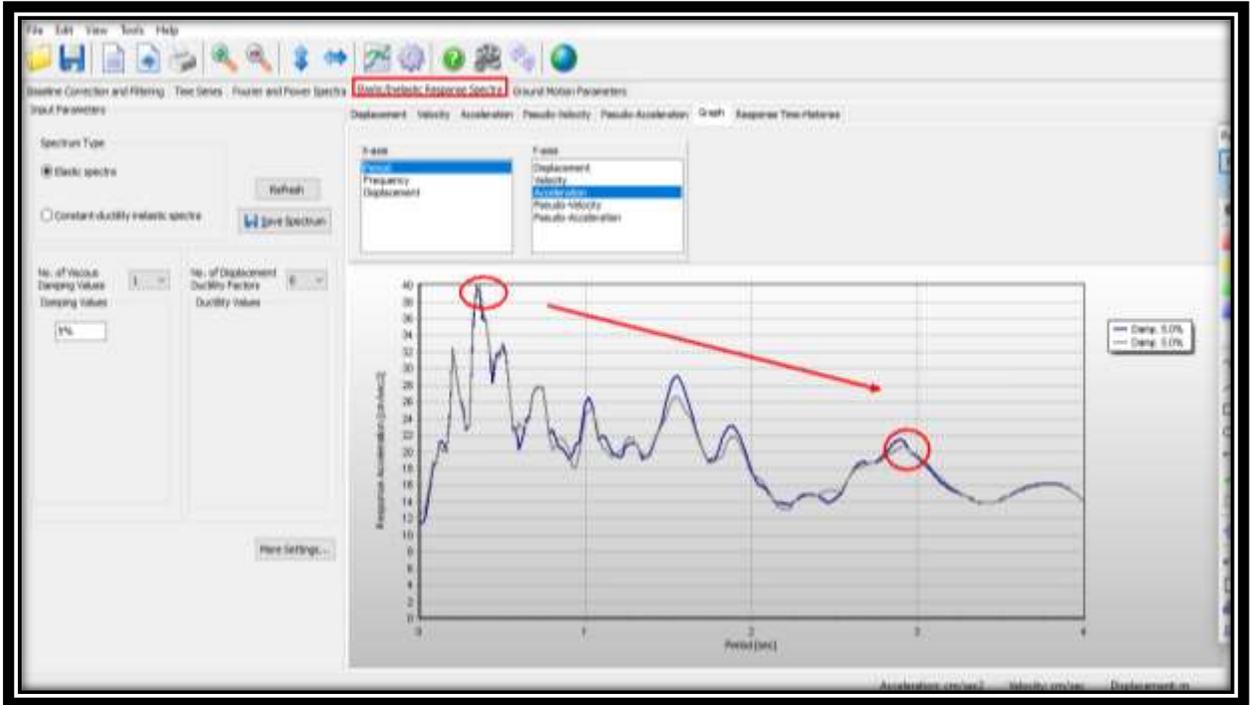
Velocity [cm/sec]

Displacement [m]

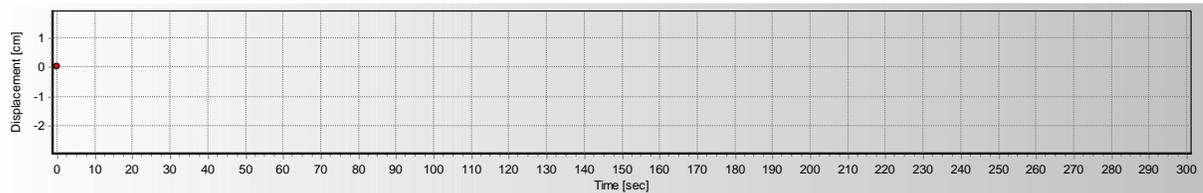
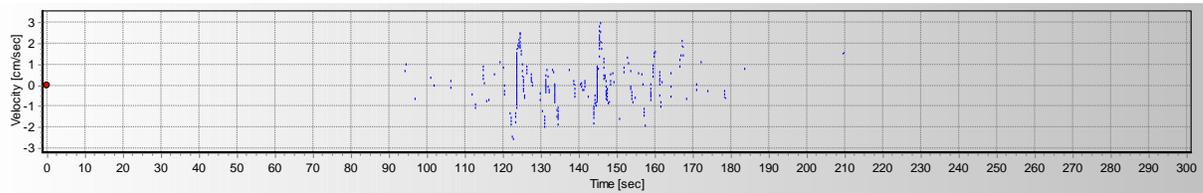
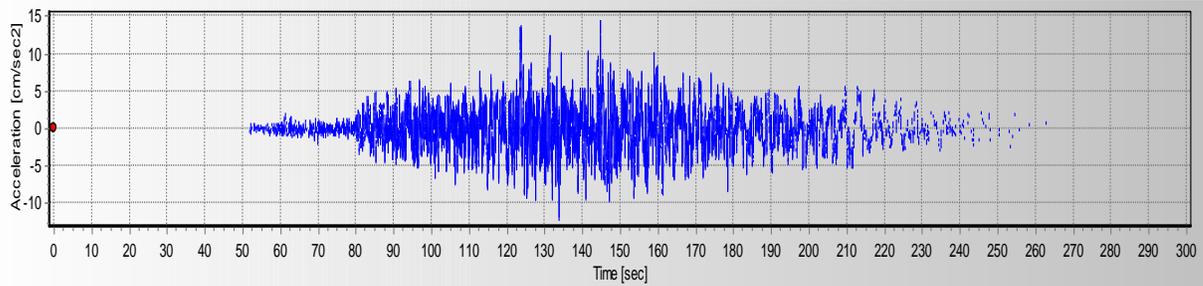
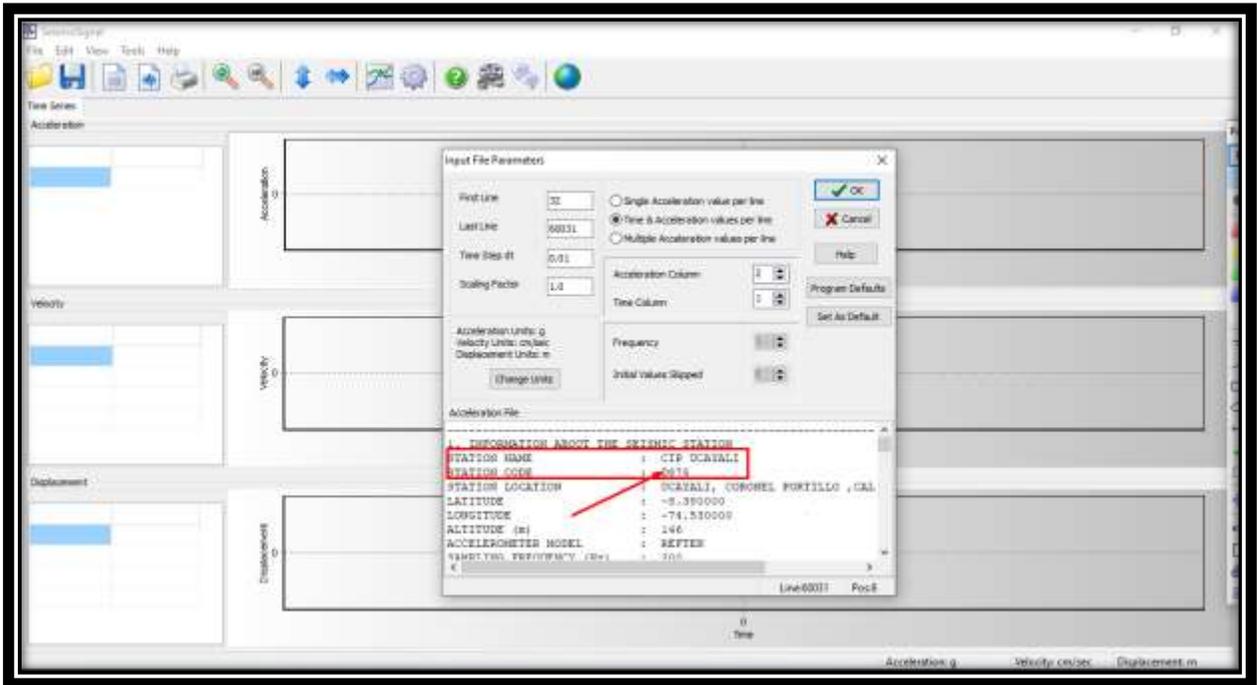
Maximum Absolute Acceleration: 12.58834 at 153.2 sec

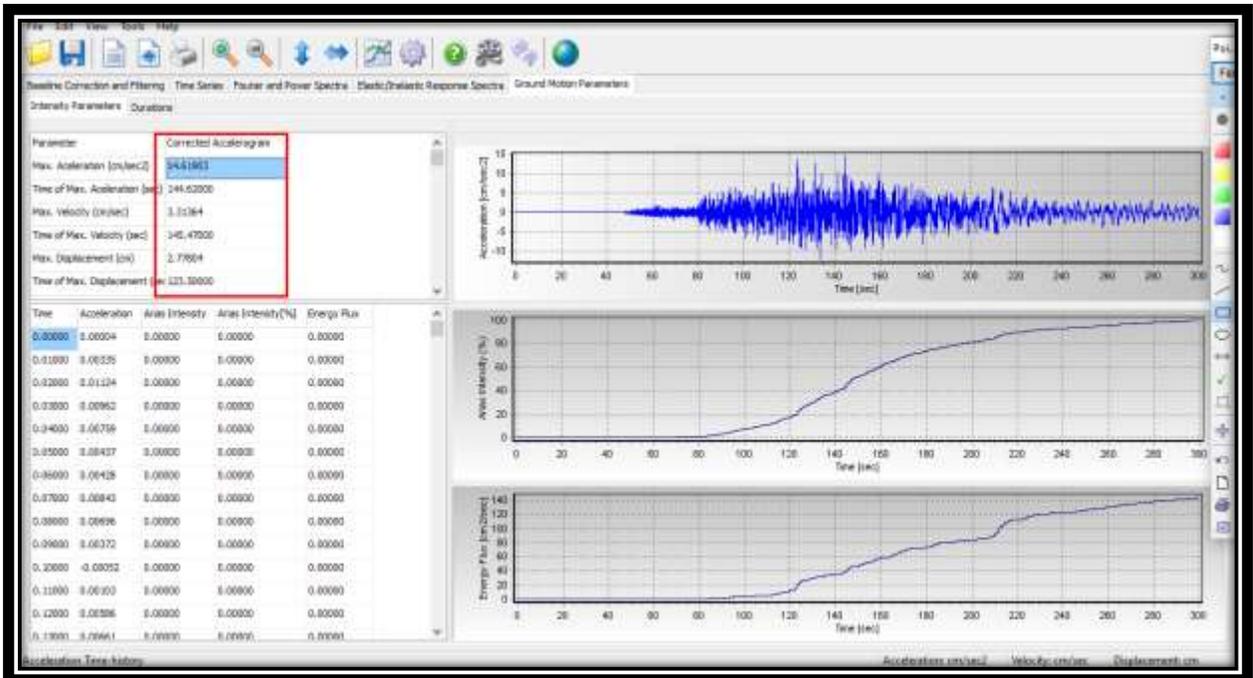
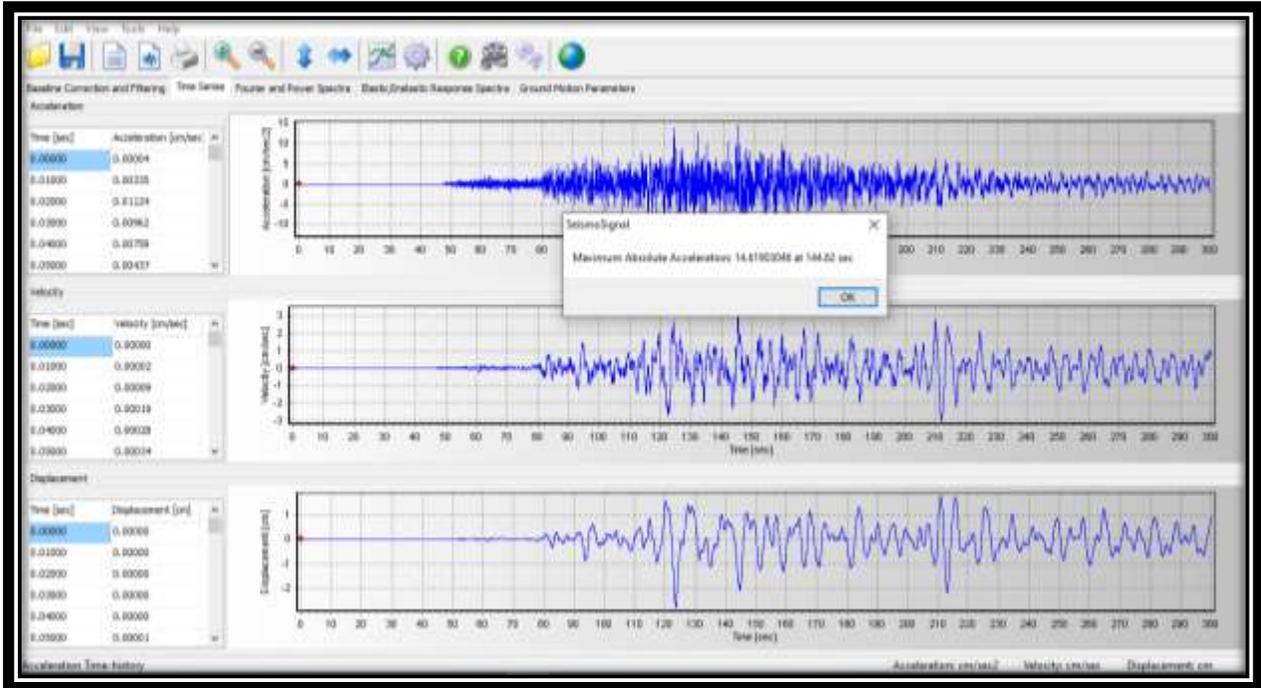


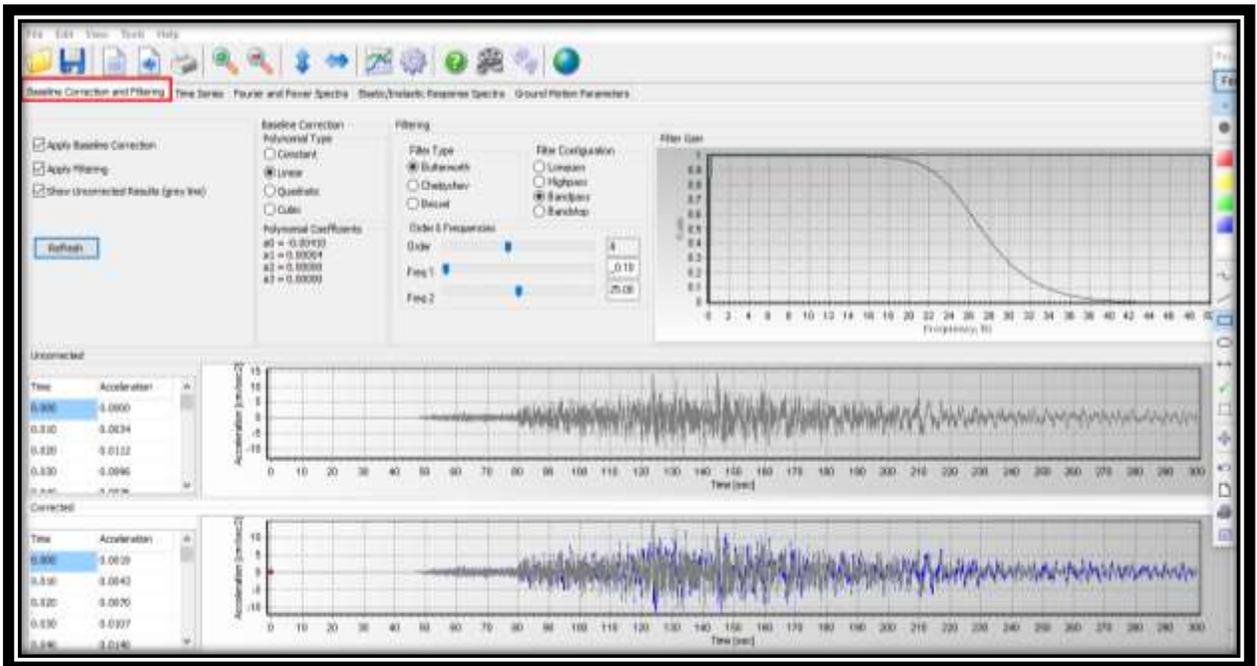
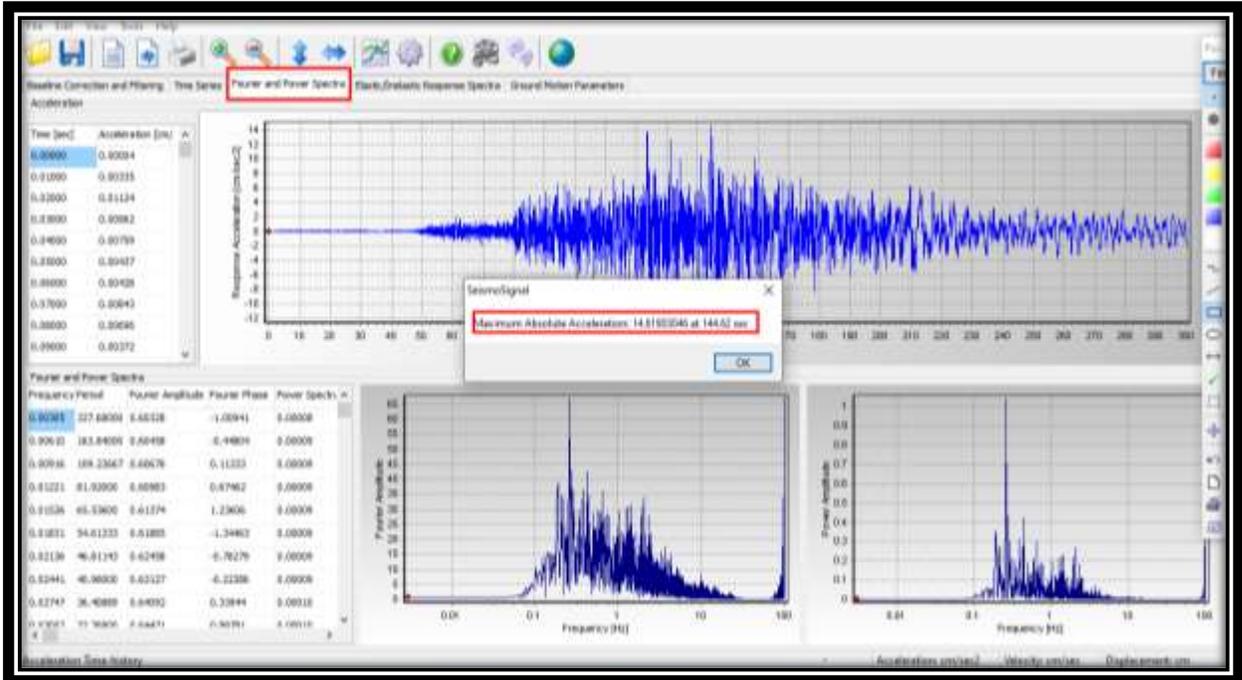


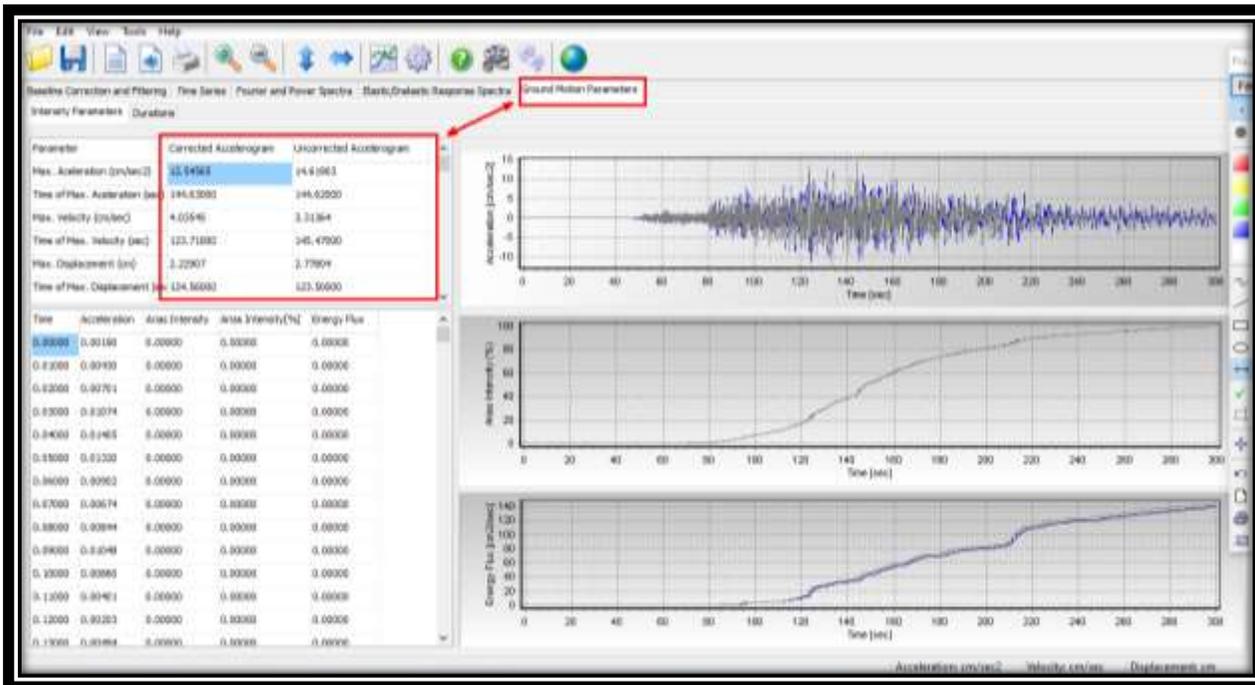
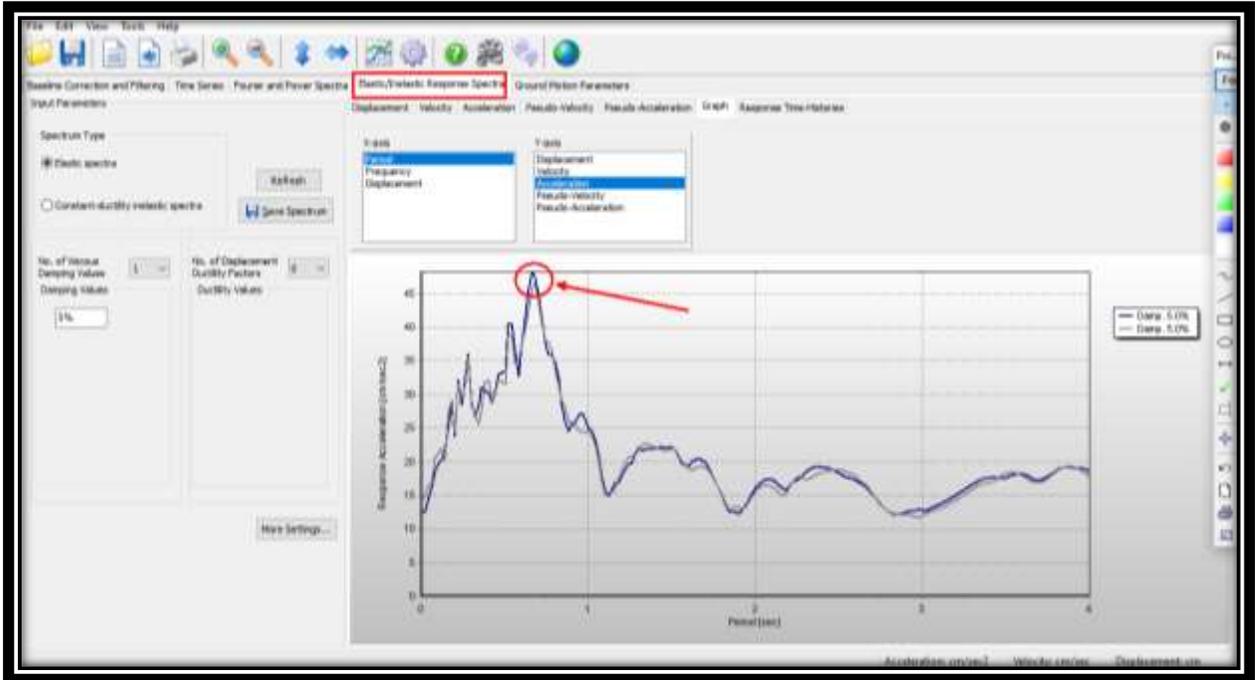


VALORES DE PARAMETROS DE INTENSIDAD – NS

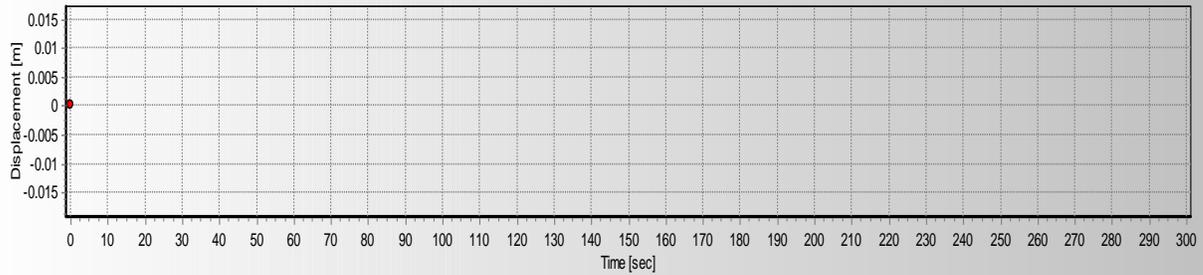
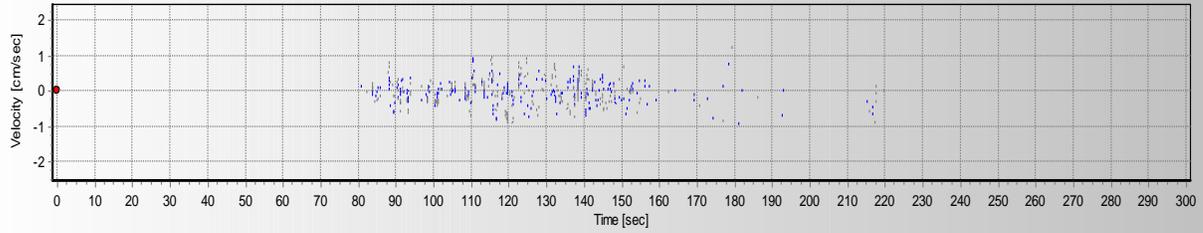
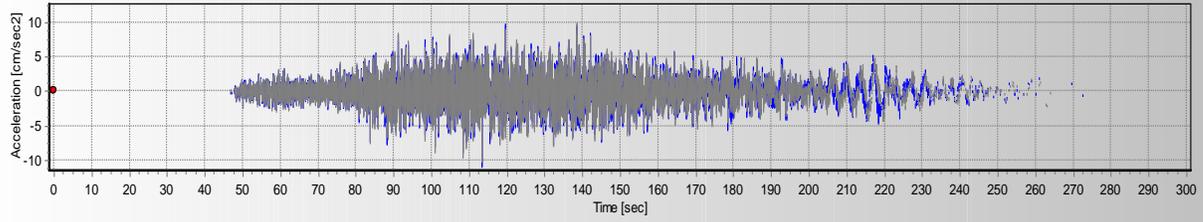








VALORES DE PARAMETROS DE INTENSIDAD – V



Baseline Correction and Filtering

Time Series Fourier and Power Spectra Static/Quasi-Static Response Spectra Ground Motion Parameters

Apply Baseline Correction

Apply Filtering

Show Unconnected Results (grey line)

Refresh

Baseline Correction

Polynomial Type

Constant

Linear

Quadratic

Cubic

Polynomial Coefficients

a0 = 0.000000

a1 = -0.000000

a2 = 0.000000

a3 = 0.000000

Filtering

Filter Type

Butterworth

Chebyshev

Bessel

Filter Configuration

Lowpass

Highpass

Bandpass

Bandstop

Order & Frequencies

Order: 4

Freq 1: 10

Freq 2: 25.00

Filter Gain

Gain vs Frequency (Hz)

Unconnected

Time	Acceleration
0.000	0.0000
0.010	0.0000
0.020	-0.0004
0.030	-0.0009
0.040	-0.0004
0.050	0.0000

Corrected

Time	Acceleration
0.000	-0.0003
0.010	-0.0003
0.020	-0.0003
0.030	-0.0003
0.040	-0.0003
0.050	-0.0003

Acceleration [cm/sec²]

Time [sec]

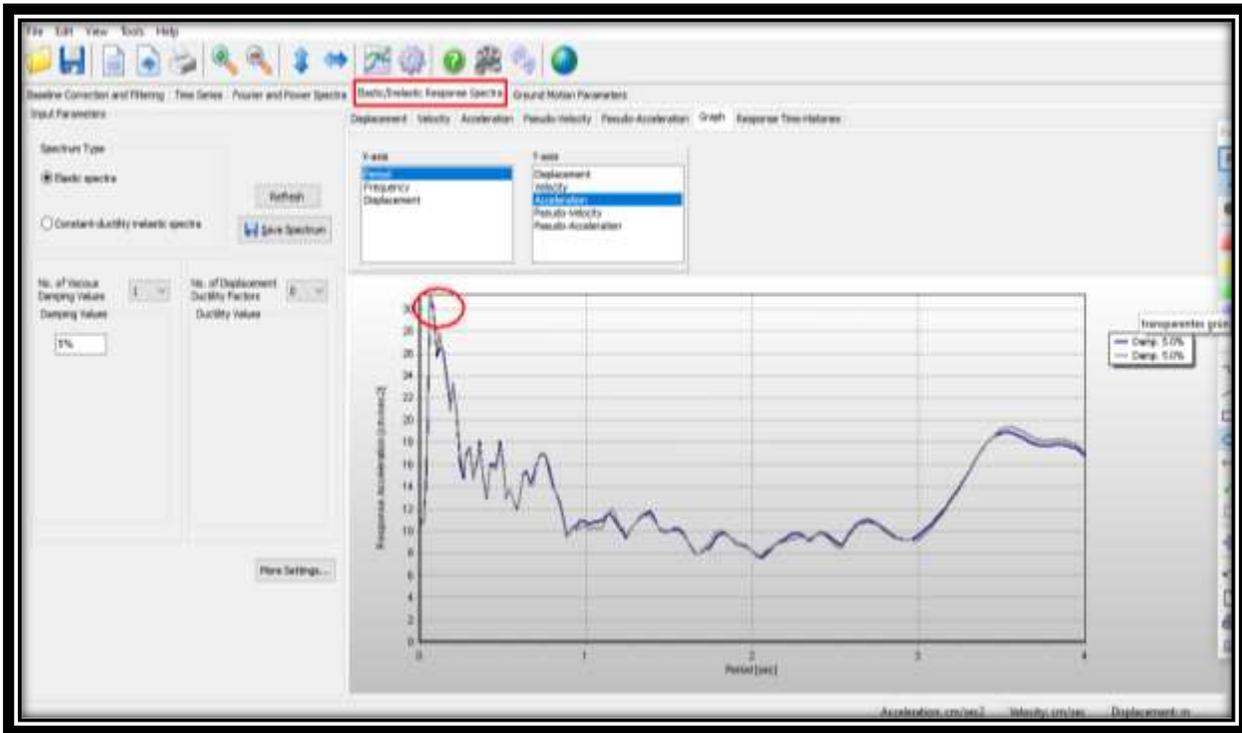
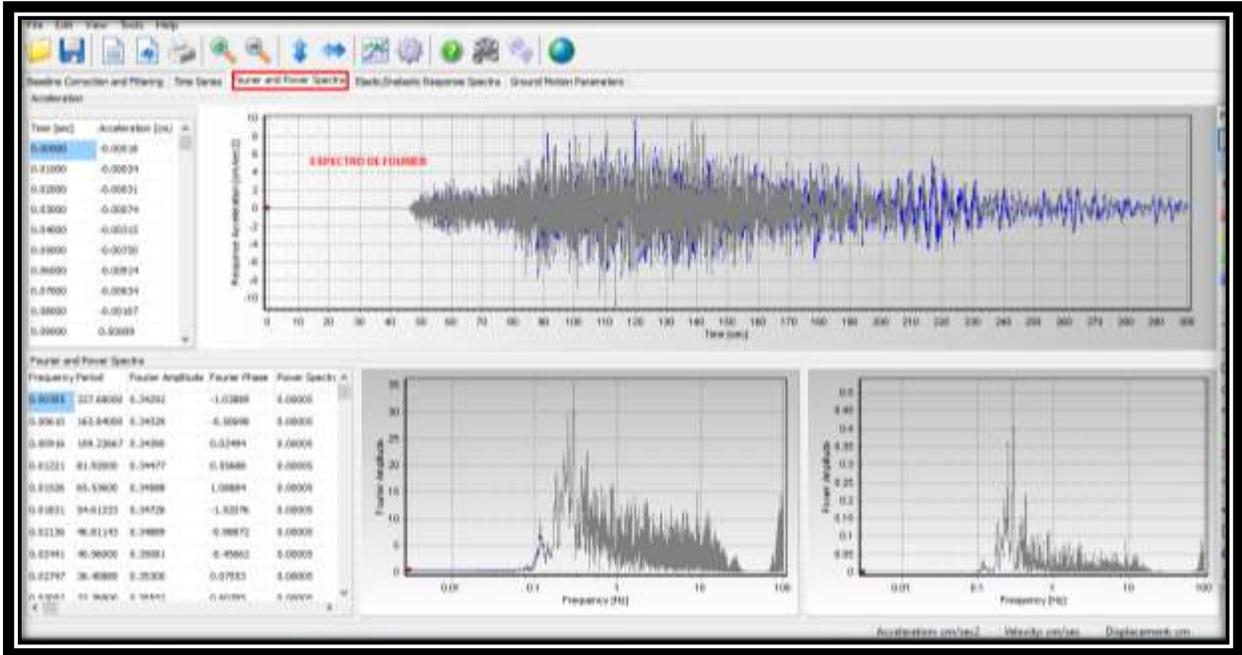
Acceleration [cm/sec²]

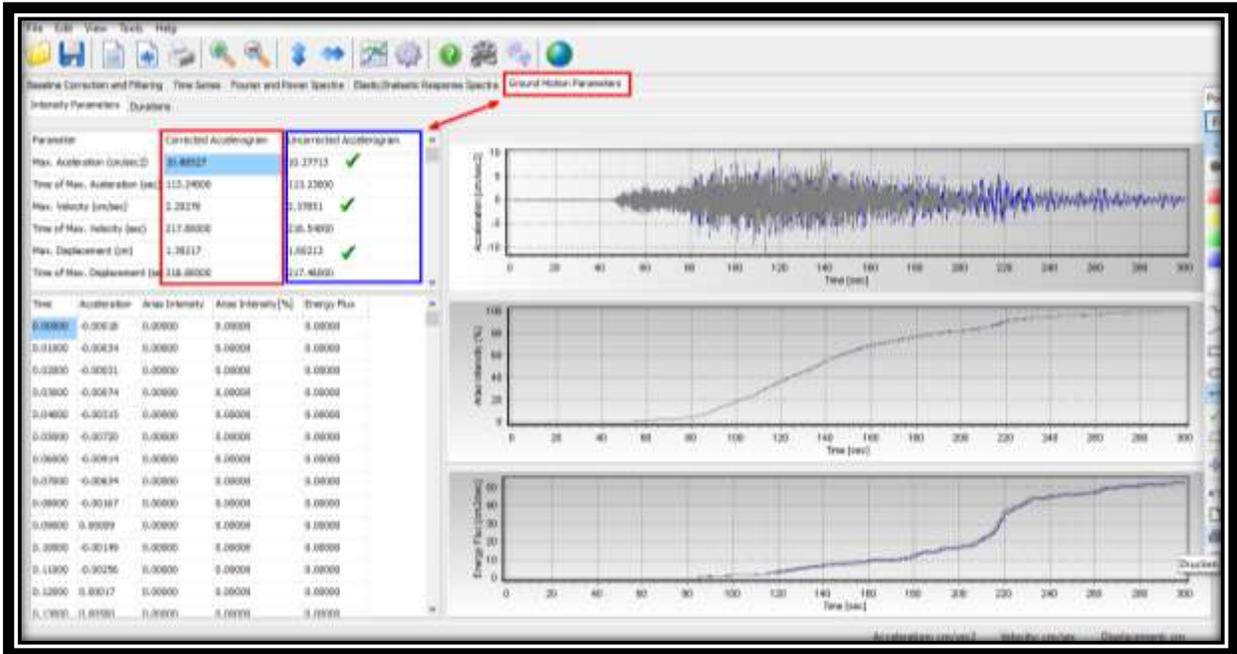
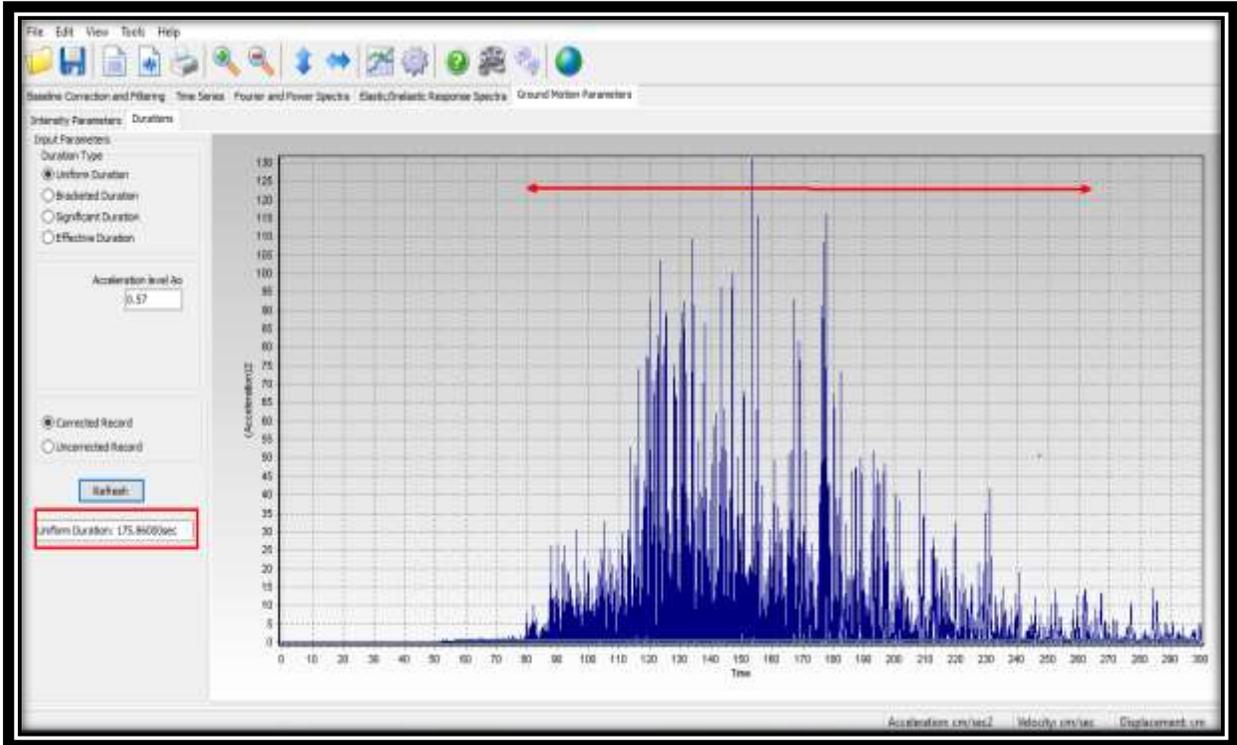
Time [sec]

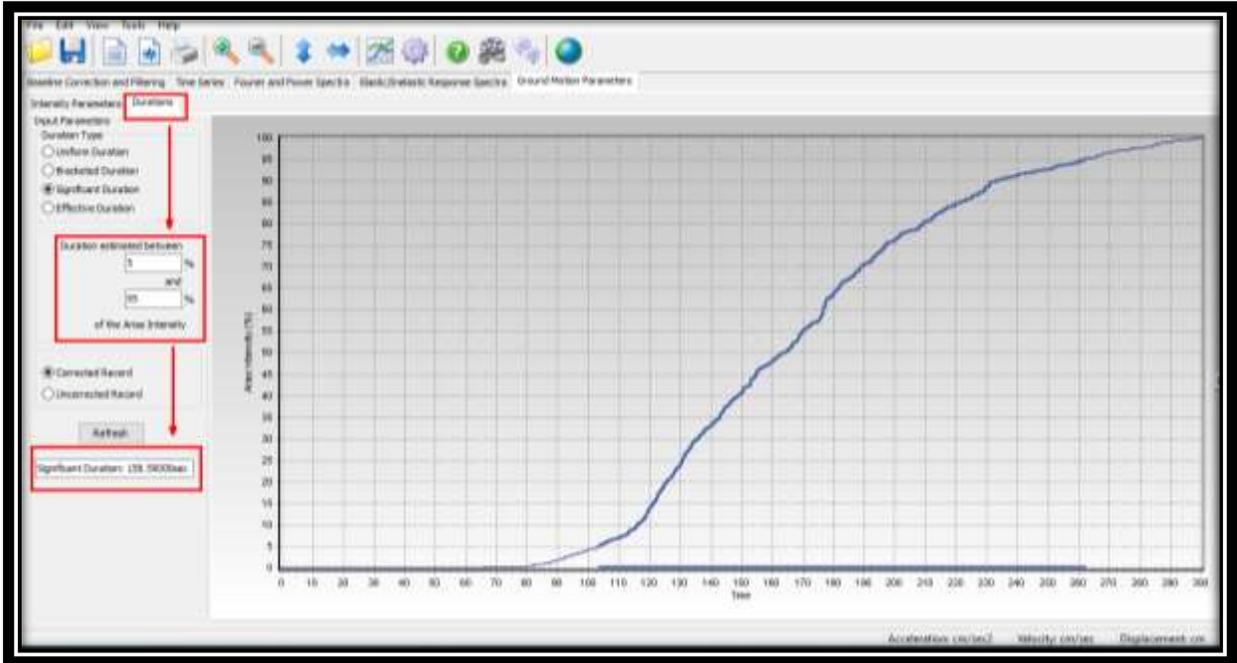
Acceleration [cm/sec²]

Velocity [cm/sec]

Displacement [m]







Análisis de los Acelerogramas Registrado del Sismo ocurrido el 26 de Mayo del 2019

Valores de Parámetros de Intensidad – EO - Procesados con SEISMOPROCESSOR

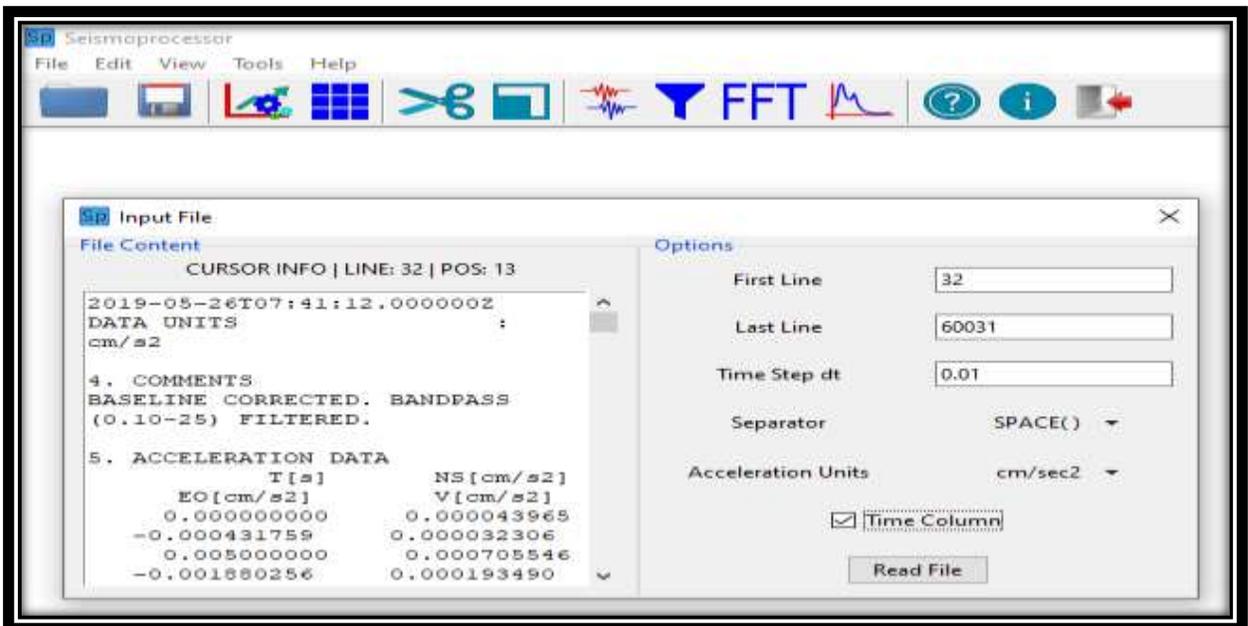
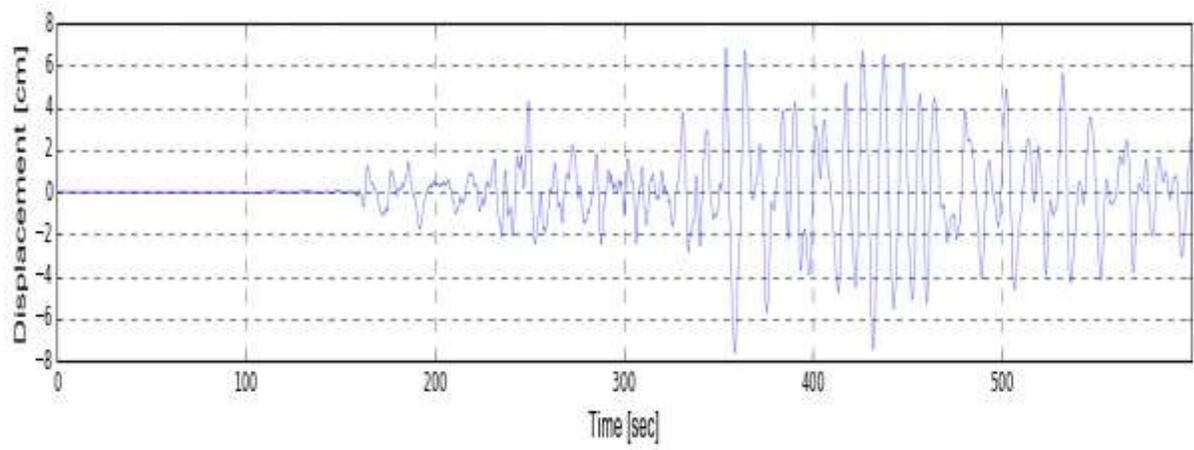
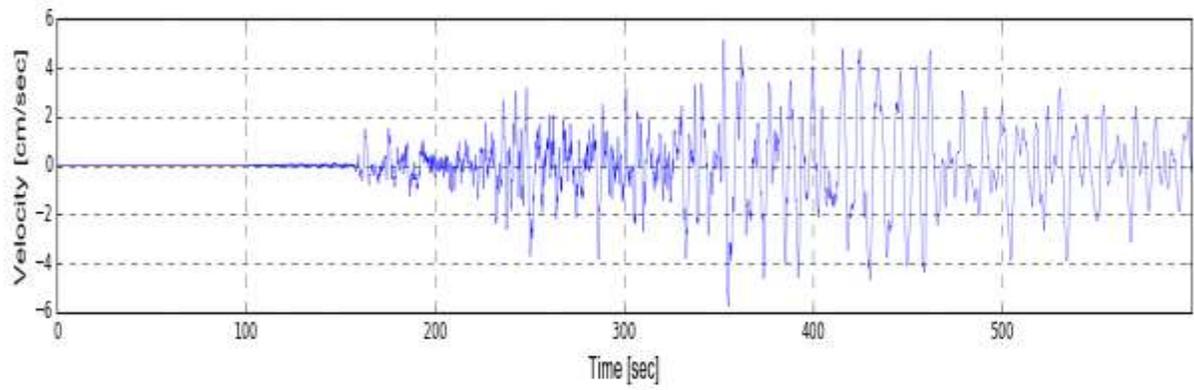
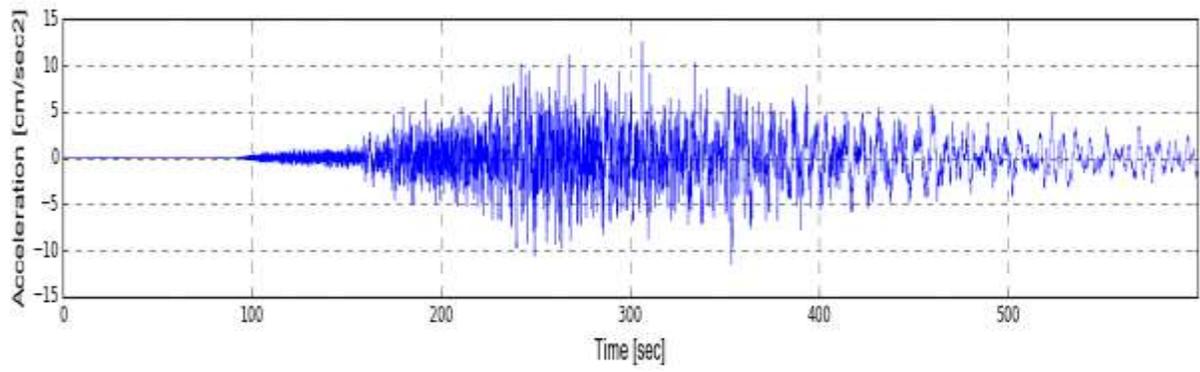
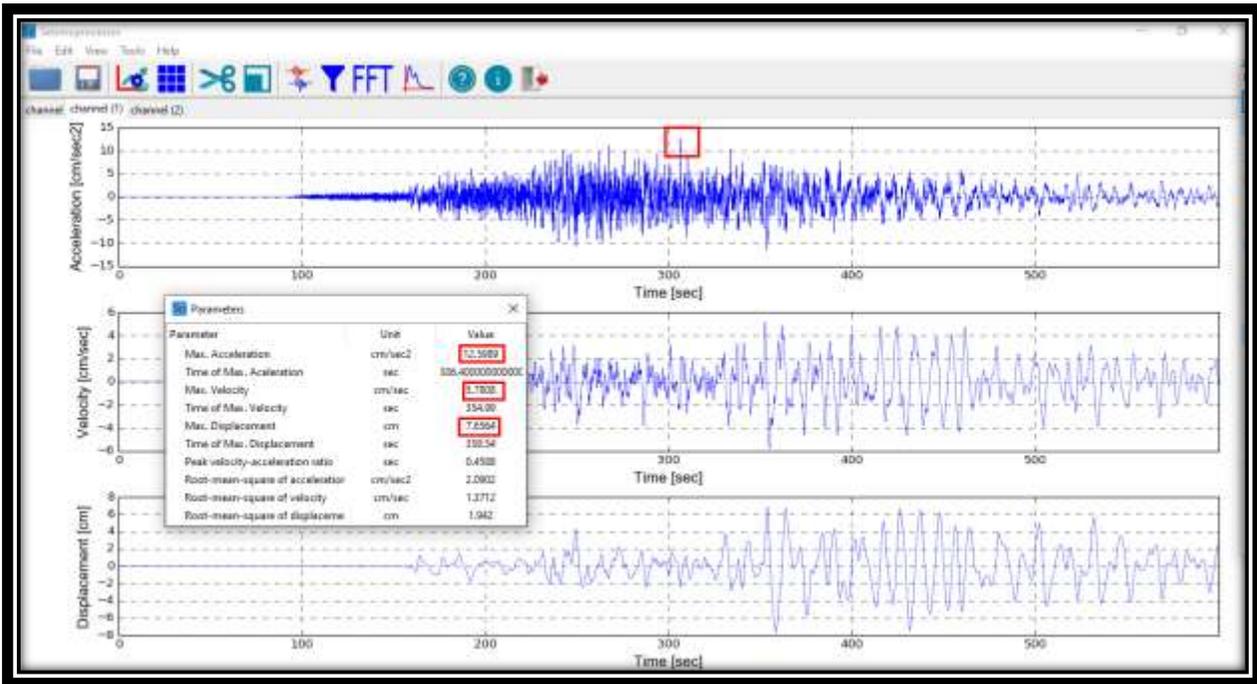
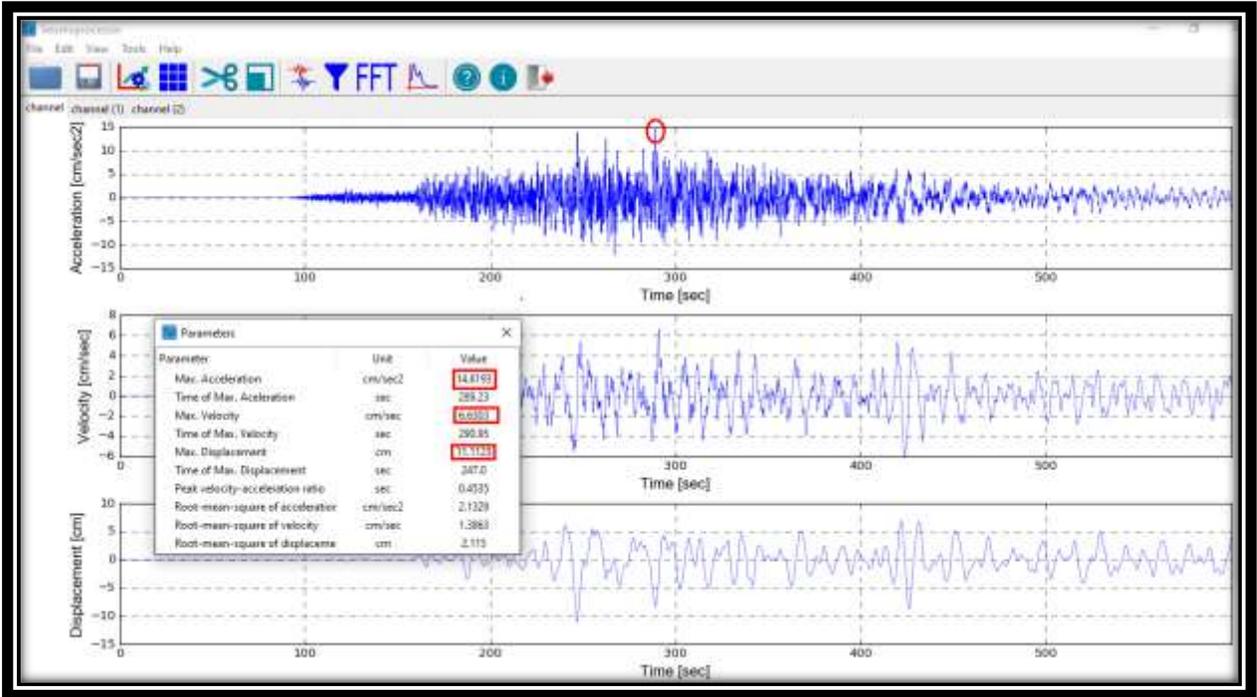
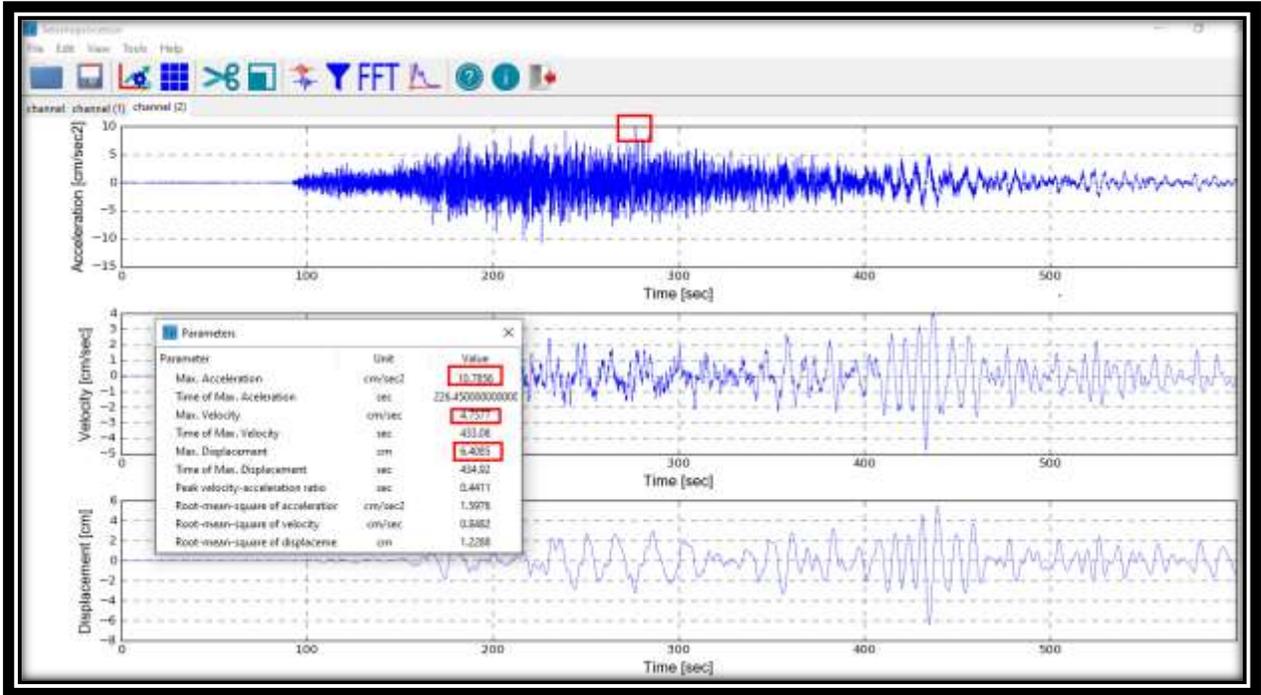


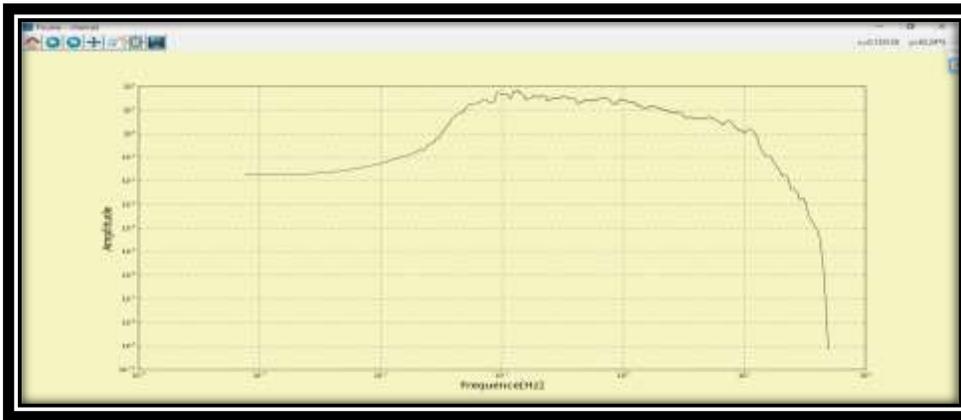
Figura 25. Valores de Parámetros de Intensidad – EO - Procesados con Seismoprocessor



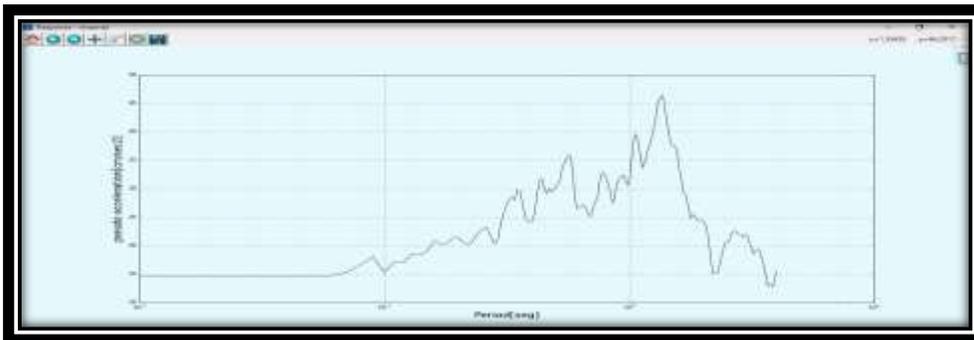




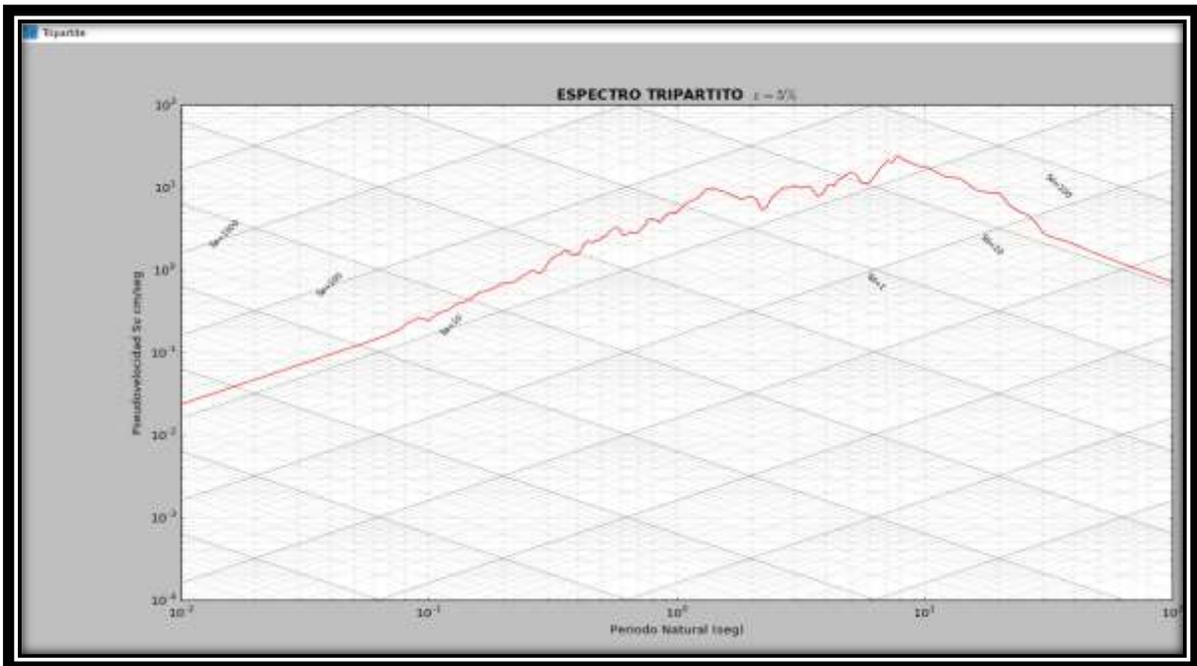
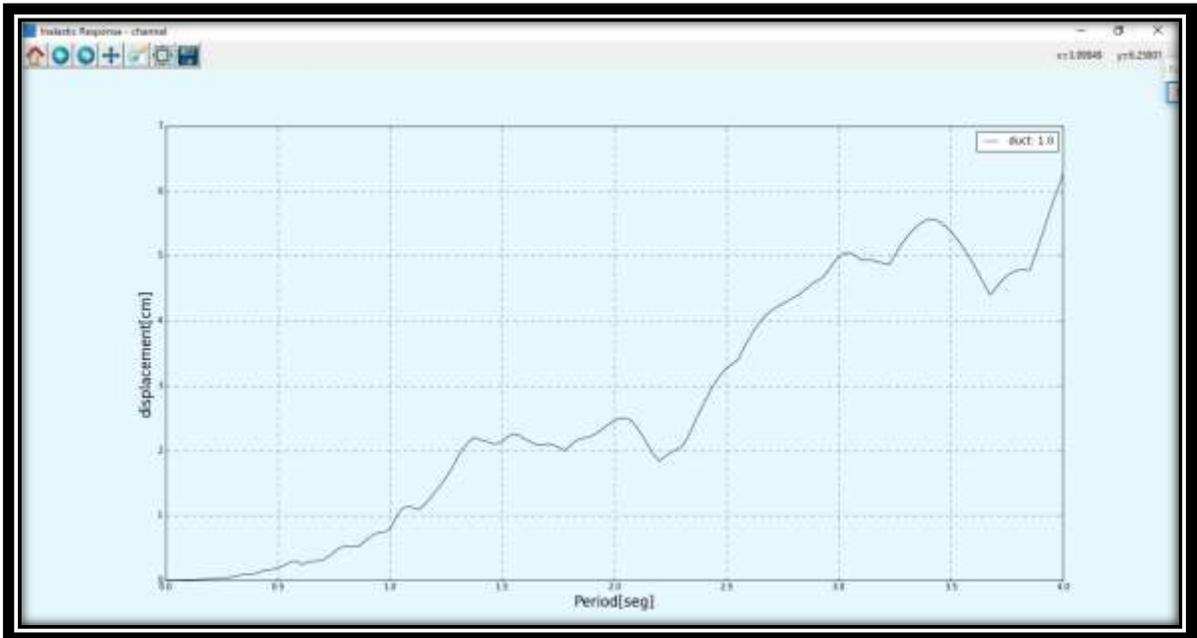
ESPECTRO DE FOURIER



ESPECTRO DE RESPUESTA



RESPUESTA INELASTICA



4.6. RESULTADOS DEL ANÁLISIS CORRELACIONAL Y/O CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.6.1. ANALISIS CORRELACIONAL

Las correlaciones estadísticas por regresión lineal fueron consideradas la aceleración máxima PGmax y la magnitud como variables críticas. La cantidad de datos obtenidos de la exploración directa para la correlación se muestran en el anexo 1.

Considerando los 64 sismos o puntos mayores $\geq 4,5$ Mw producidos de enero 2019 a agosto 2022 y clasificadas de acuerdo con la escala de Intensidad Mercalli Modificada MMI (grado), se determinó la media de la aceleración máxima, la desviación estándar, media de media, desviación de desviación y poder ver la variación o sesgo respecto a la media.

Tabla 3. Media y desviación estándar (σ) del PGA (cm/s²) del conjunto de datos para cada MMI de sismos (enero 2019 – agosto 2022)

Intensidad Mercalli Modificada (MMI)	Numero de puntos	Media (PGA_max)	Desv. Estandar (PGAmáx)	Media (PGA_Media)	Desv. Estandar (PGA_Desv Standar)	Grado
II	3	1.28	1.75	1.02	0.24	II. Muy leve
II-III	2	2.16	1.73	1.29	0.67	II. Muy leve-leve
III	32	2.57	3.14	1.91	0.77	III. Leve
III-IV	9	3.27	2.39	1.94	0.92	III. Leve-moderado
IV	5	15.46	10.81	15.56	4.57	IV. Moderado
V-VI	1	95.48	78.92	95.48	22.42	V-VI. Un poco Fuerte-fuerte.
VI	2	27.89	27.89	24.41	4.07	VI. Fuerte
Grados de intensidad sin evaluación	10	1.86	1.862	1.31	0.52	Por categorizar
Total sismos evaluados	64					

Fuente: SPSS vs 25.00

Estadísticos descriptivos

	Media	Desv. Desviación	n
MAGNITUD (Mw)	4.9484	0.56315	64
ACELE_MAX (cm/seg ²)	5.2906	14.25213	50

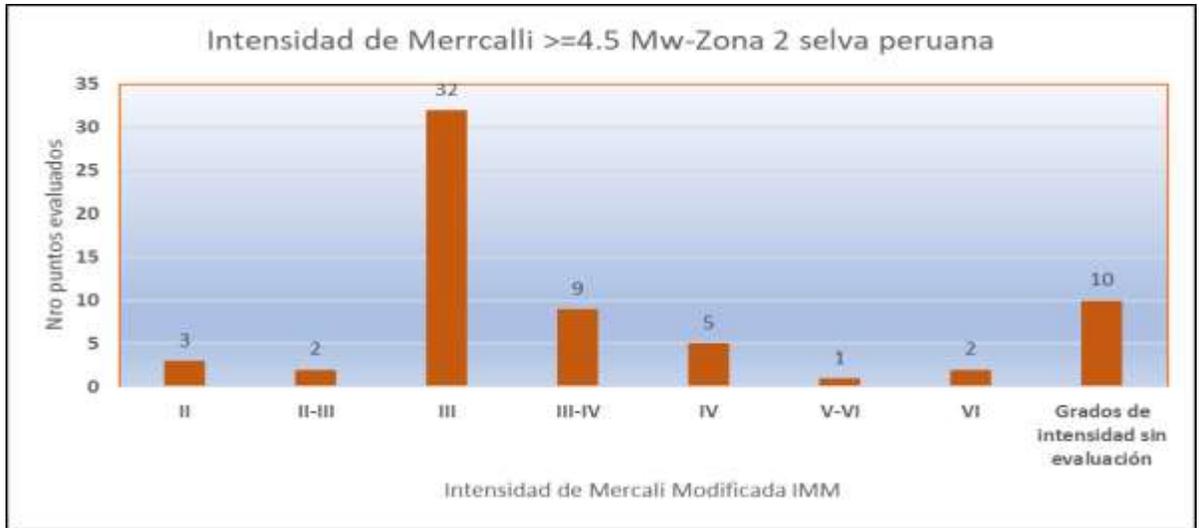


Figura 26. Número de puntos evaluados Vs Intensidad de Mercalli Modificada MMI

Fuente: Base de datos SPSS vs 25.00

Descriptivos			Estadístico	Desv. Error
MAGNITUD	Media		4,9060	,06642
	99% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	4,7280	
		Límite superior	5,0840	
	Media recortada al 5%		4,8467	
	Mediana		4,8000	
	Varianza		,221	
	Desv. Desviación		,46965	
	Mínimo		4,50	
	Máximo		7,20	
	Rango		2,70	
	Rango intercuartil		,53	
	Asimetría		2,765	,337
	Curtosis		10,905	,662
	ACELE_MAX_CM	Media		5,2906
99% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	-,1110	
		Límite superior	10,6922	
Media recortada al 5%			2,7593	
Mediana			1,9700	
Varianza			203,123	
Desv. Desviación			14,25213	
Mínimo			,12	
Máximo			95,48	
Rango			95,36	
Rango intercuartil			3,43	
Asimetría			5,622	,337
Curtosis			34,413	,662

Fuente: Base de datos SPSS vs 25.00

	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Pérdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	FECHA	Fecha	11	0		Ninguno	Ninguno	10	Derecha	Escala	Entrada
2	SISMO	Cadena	54	0		Ninguno	Ninguno	47	Izquierda	Nominal	Entrada
3	MAGNITUD	Numérico	3	2		Ninguno	Ninguno	9	Derecha	Escala	Entrada
4	LATITUD_SUR	Numérico	11	2		Ninguno	Ninguno	11	Derecha	Nominal	Entrada
5	LONGITUD_OESTE	Numérico	14	2		Ninguno	Ninguno	14	Derecha	Nominal	Entrada
6	PROFUNDIDAD	Numérico	16	2		Ninguno	Ninguno	16	Derecha	Nominal	Entrada
7	HORA_LOCAL	Cadena	10	0		Ninguno	Ninguno	10	Centrado	Nominal	Entrada
8	INSTITUCION	Cadena	23	0		Ninguno	Ninguno	23	Centrado	Nominal	Entrada
9	ESTACION	Cadena	16	0		Ninguno	Ninguno	16	Centrado	Nominal	Entrada
10	UBICACION	Cadena	45	0		Ninguno	Ninguno	45	Centrado	Nominal	Entrada
11	LUG_ASIENTO	Cadena	31	0		Ninguno	Ninguno	31	Centrado	Nominal	Entrada
12	LATITUD	Numérico	15	2		Ninguno	Ninguno	15	Derecha	Nominal	Entrada
13	LONGITUD	Numérico	17	2		Ninguno	Ninguno	17	Derecha	Nominal	Entrada
14	DISTANCIA_EPIC	Numérico	25	2		Ninguno	Ninguno	18	Derecha	Nominal	Entrada
15	DISTANCIA_HIPO	Numérico	26	2		Ninguno	Ninguno	17	Derecha	Nominal	Entrada
16	PGA_EO	Numérico	6	2		Ninguno	Ninguno	6	Derecha	Nominal	Entrada
17	PGA_NS	Numérico	6	2		Ninguno	Ninguno	6	Derecha	Nominal	Entrada
18	PGA_V	Numérico	5	2		Ninguno	Ninguno	5	Derecha	Nominal	Entrada
19	ACELE_MAX_CM	Numérico	10	2		Ninguno	Ninguno	19	Derecha	Escala	Entrada
20	ACEL_MAX_GAL	Numérico	22	2		Ninguno	Ninguno	15	Derecha	Nominal	Entrada
21	INT_MERCALLI	Numérico	22	0		Ninguno	Ninguno	16	Derecha	Escala	Entrada
22	FUENTE	Cadena	6	0		Ninguno	Ninguno	6	Centrado	Nominal	Entrada

Figura 27. Vista de variables SPSS VS 25.00

Fuente: Base de datos SPSS

1	FECHA	SISMO	MAGNITUD	LATITUD_SUR	LONGITUD_OESTE	PROFUNDIDAD	HORA_LOCAL	INSTITUCION	ESTACION
1	25-May-2019	SISMO DE LAGUNAS, ALTO AMAZONA.	7.20	-5.70	-75.27	141.00	07:41:12	POSGRADO FIC UNIU	UNTRM AMAZONAS, CHAC
2	05-Jan-2019	SISMO PUERTO ESPERANZA PURUIS.	7.20	-8.87	-71.43	590.00	14:25:32		
3	03-Feb-2002	SISMO DE STA MARIA DE NIEVA CON.	6.80	-4.43	-76.95	102.00	10:58:56		
4	07-Jun-2020	SISMO DE STA. MARIA DE NIEVA, CO.	5.90	-4.34	-77.39	126.00	05:31:18	UPG-FIC-UNIB/CP	CP AMAZON. AMAZONAS, CHAC
5	15-Aug-2021	SISMO DE STA. MARIA DE NIEVA, CO.	5.70	-3.68	-77.23	121.00	00:40:01	UNTRM/UPG-FIC-UN	UNTRM AMAZONAS, CHAC
6	02-Oct-2021	SISMO DE ESPERANZA, PURUIS - UC.	5.60	-8.51	-71.14	808.00	07:52:34	UPG-FIC-UNIB/CP	CP UCAYALI UCAYALI, CORC
7	09-Mar-2021	SISMO DE AUCAYACU, LEONIDO PRA	5.40	-8.87	-75.94	132.00	14:16:30	UPG-FIC-UNIB/UNAS	UNAS HUANUCO, LEON
8	01-Aug-2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	5.30	-8.18	-74.47	162.00	17:18:07	UNIA/UPG-FIC-UN	UNIA UCAYALI, CORC
9	05-Feb-2000	SISMO DE STA. MARIA DE NIEVA, CO.	5.30	-4.35	-77.46	17.00	02:57:17	POSGRADO FIC UNIU	UNIU CAJAMARCA,
10	13-Oct-2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	5.20	-8.42	-74.42	152.00	16:09:25	UNIA/UPG-FIC-UN	UNIA UCAYALI, CORC
11	22-Aug-2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	5.20	-8.28	-74.40	163.00	03:28:09	UNIA/UPG-FIC-UN	UNIA UCAYALI, CORC
12	07-May-2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	5.20	-8.69	-74.89	146.00	21:49:14	UPG-FIC-UNIB/UNAS	UNAS HUANUCO, LEON
13	08-Feb-2021	SISMO DE JUMBILLA, BONGARA - AM	5.20	-5.44	-77.50	20.00	20:40:57	UNTRM/UPG-FIC-UN	UNTRM AMAZONAS, CHAC
14	16-Jul-2021	SISMO DE DE PASTAZA, ALTO AMAZ.	5.20	-3.40	-77.30	30.00	15:42:44	UNTRM/UPG-FIC-UN	UNTRM AMAZONAS, CHAC
15	20-Apr-2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	5.10	-7.94	-74.63	150.00	16:47:35	UPG-FIC-UNIB/UNAS	UNAS HUANUCO, LEON
16	02-Sep-2021	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONA.	5.10	-3.86	-76.57	196.00	03:42:17	UNTRM/UPG-FIC-UN	UNTRM AMAZONAS, CHAC
17	17-Feb-2020	SISMO DE CONTAMANA, UCAYALI - L.	5.00	-7.68	-74.63	126.00	13:53:12	POSGRADO FIC UN	UNIA UCAYALI, CORC
18	25-Jun-2022	SISMO DE SAN IGNACIO SAN IGNACI.	5.00	-4.87	-76.56	120.00	11:11:26		
19	20-Jul-2022	SISMO DE PATAZCA, ALTO AMAZONA.	5.00	-1.99	-79.44	144.00	02:10:19		
20	04-May-2021	SISMO DE BARRANCA, DATEM DEL	4.90	-4.75	-75.75	128.00	03:01:44	UNTRM/UPG-FIC-UN	UNTRM AMAZONAS, CHAC
21	30-Sep-2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	4.90	-8.24	-74.84	161.00	22:06:31	UPG-FIC-UNIB/CP	CP UCAYALI UCAYALI, CORC
22	03-Aug-2022	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PO.	4.90	-8.63	-74.50	157.00	02:33:34		

Figura 28. Vista de datos SPSS VS 25.00

Fuente: Base de datos SPSS vs 25.00

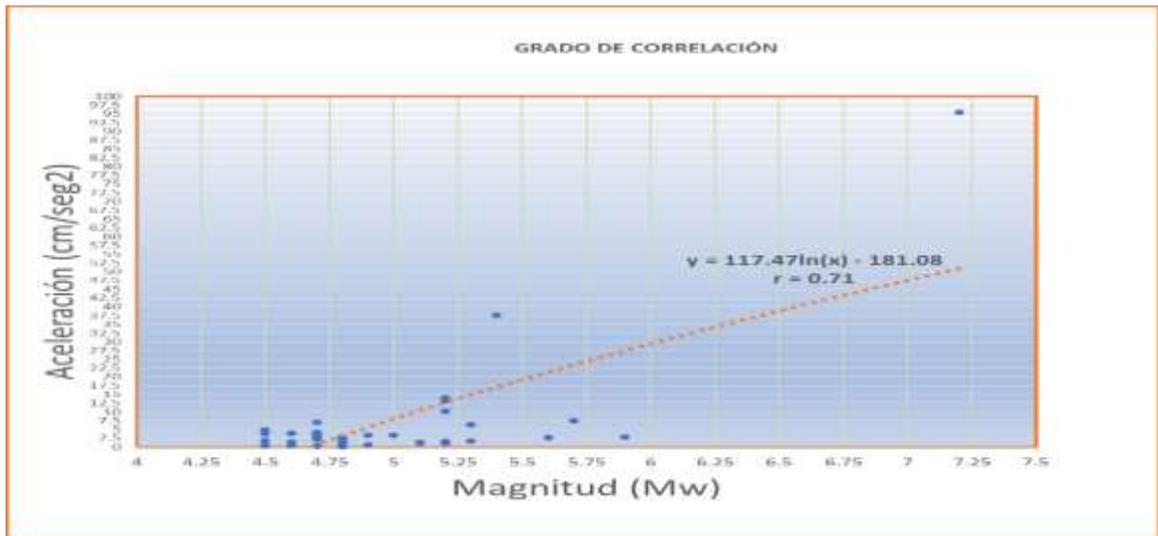
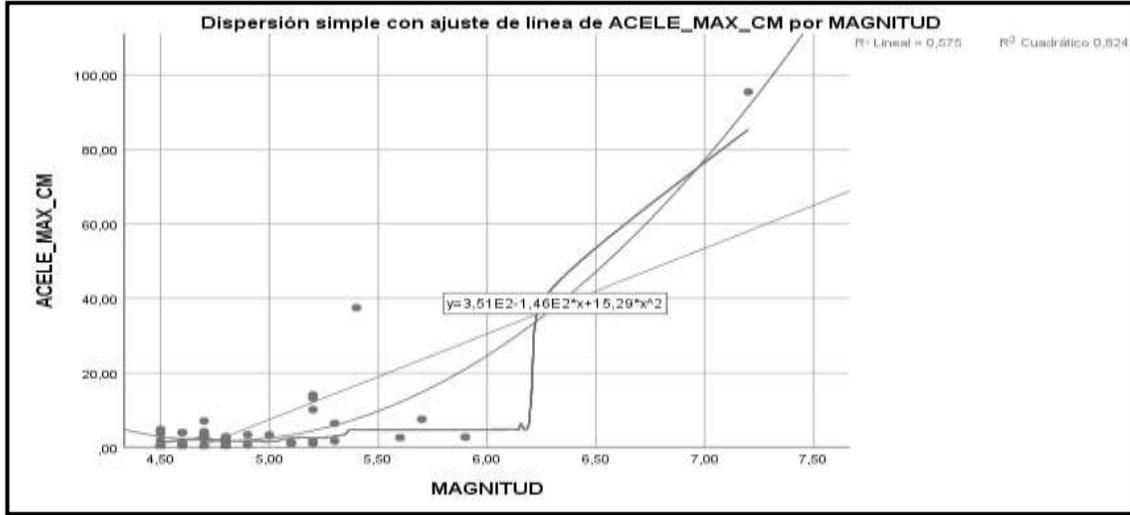


Figura 29. Diagrama de dispersión y línea ajustada de variables críticas (Aceleración máxima y la magnitud Mw).

Fuente: Base de datos SPSS vs 25.00

Para el análisis de correlación se hizo la corrida de varios modelos estadísticos como la lineal, exponencial, polinómica, potencial, media móvil y logarítmica; se impuso el modelo logarítmico por la sencilla razón de ajuste y por qué la progresión de los efectos de un sismo se intensifican con la de las magnitudes de la escala, de acuerdo a las investigaciones desde cuando inicio Richter, es decir, porque cada número representa una intensidad diez veces mayor que la anterior y

eso es una característica del sismo, por ejemplo un sismo de magnitud 4 sería 10 veces más grande y produciría un desplazamiento 10 veces mayor que otro de magnitud 3, y liberaría aproximadamente 32 veces más energía.

Se evidencia que existe una moderada a alta dependencia entre ambas variables, ya que el coeficiente de correlación r es igual a 0.71, asimismo el coeficiente de determinación r^2 es igual a 0.5099 lo que indica que el 51% de los valores de la aceleración (cm/seg^2) y magnitud (Mw) respectivamente están asociados positivamente y explicados por lo valores de la variable magnitud.

Nos muestra una pendiente del 117.47 al comparar aceleración máxima en Kg/cm^2 y magnitud en Mw, esto se traduce en que por cada 7.5 Mw que aumente la magnitud, la aceleración aumentará en 117.47 cm/seg^2 , al menos para valores de magnitud inferiores a 7.5 Mw.

4.6.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

H_0 : La correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental en la zona 2, en el periodo del mes de enero del 2019 a agosto del 2022 es bajo respecto al rango (alto, medio, bajo).

H_1 : La correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental en la zona 2, en el periodo del mes de enero del 2019 a agosto del 2022 es alto respecto al rango (alto, medio, bajo).

Supuesto de la prueba de hipótesis

- Formulamos el H_0 y H_1 .
- Se determinó si la prueba es unilateral o bilateral.
- Se asumió el nivel de significación de la prueba ($\alpha=0.01$)
- Se determinó la distribución muestral en la prueba.
- Se planteó el esquema de la prueba.

- Cálculo del estadístico de la prueba.
- Tomar de decisión.

Tabla 4. CORRELACIONES Y VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

Correlaciones		Magnitud (Mw)	ACel_Max (cm/seg²)
MAGNITUD (Mw)	Correlación de Pearson	1	0.71**
	Sig. (bilateral)		0.000
	n	64	50
ACELE_MAX (cm/seg ²)	Correlación de Pearson	0.71**	1
	Sig. (bilateral)	0.000	
	n	50	50

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: Base de datos SPSS vs 25.00

Decisión: Existe relación moderada a alta entre la magnitud (Mw) y la PGA max (cm/seg²), en los sismos ocurridos entre el mes de enero del 2019 al mes de agosto del 2022, así lo demuestra la prueba de coeficiente de correlación de Pearson que dio como resultado 0.71; siendo una correlación significativa y positiva de acuerdo al grado de significación del 1% bilateral, obteniendo y p-valor de $0.000 < 0.01$; por lo que se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula, es decir la aceleración está influenciada por la magnitud, considerando eso sí que los valores de aceleración registrados en la presente investigación están también en función de las características del terreno (topografía, altitud, geología y composición del suelo), la distancia epicentral, entre otros lo que origina variación significativa.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la presente tesis se han empleado sesenta y cuatro reportes sismos ocurridos desde enero del 2019 a agosto del año 2022, en comparación con el artículo presentado por G.Preethi y B.Santhi de la India, en la Jornada Internacional de aplicaciones informáticas, realizado en el año 2011 en Reino Unido, donde se han empleado cincuenta reportes sísmicos desde el año 2000 al 2011.

Conocer las características del sismo que presumiblemente pueda afectar a una estructura, dependerá de la historia sísmica de cada región. Por tanto, el parámetro intensidad sísmica aún es primordial al momento de realizar cualquier investigación que permita conocer el riesgo sísmico de una determinada región y/o **ciudad (Tavera, 2016, Catálogo General de Isosistas para Sismos Peruanos)**.

Frente a la intensidad sísmica es obvio que la respuesta de las estructuras dependerá del tipo de suelo, topografía y otros factores que es muy diferenciado en la zona de la selva principalmente, por lo tanto, uno de los principales retos en los estudios de atenuación de la intensidad sísmica y la respuesta dinámica de los suelos, es la construcción de una base de datos que considere, al menos todos los mapas de isosistas para sismos históricos e instrumentales, complementado con los acelerogramas y eso es lo que el Instituto Geofísico del Perú (IGP), el CISMID UNI, CIP C.N. nos brinda a la comunidad académica, científica y en general a todos.

Los acelerogramas que se procesa con el software SeismoSignal pueden presentar un máximo de 218 puntos de datos (es decir, 262,144.00). Sin embargo, se observa que los registros originales con un número excesivo de puntos de datos (por ejemplo, > 10,000) pueden conducir a análisis lentos y, en algunos casos, errores del sistema, debido a que requiere de memoria muy grandes.

El Seismoprocessor, es un programa que soporta la mayoría de los formatos estándares, tales como: SAC, MiniSEED, GSE2, SEISAN, Q, EVT, etc. Si estos archivos contienen múltiples canales, el programa lanza una ventana donde se tiene que seleccionar los canales con los que se desea trabajar.

Para el cálculo de los espectros de respuesta el software SeismoSignal, usa la metodología del método analítico exacto que coincide o son muy similares con Seismoprocessor, software con la que se hizo la corrida en la presente tesis.

La corrección de línea de base en el SeismoSignal, se determina mediante análisis de regresión (método de mínimos cuadrados), la curva polinómica que mejor se ajusta a los pares de valores de aceleración de tiempo y luego lo resta de la aceleración real, obtenidas con la ecuación derivada de la regresión.

Los espectros de respuesta de aceleración, velocidad y desplazamiento elásticos e inelásticos se calculan mediante la integración en el tiempo de la ecuación de movimiento de una serie de sistemas de un solo grado de libertad, a partir de los cuales se obtienen y grafican las cantidades de respuesta de desplazamiento máximo, velocidad y aceleración. vs. gráficos de amplitud, comúnmente conocidos como espectros de respuesta. Además, y solo para el caso de espectros elásticos, también se dan los valores de respuesta de pseudovelocidad y pseudoaceleración, obtenidos mediante la multiplicación de los valores de respuesta de desplazamiento por ω y ω^2 , respectivamente.

Para poder filtrar la señal del ruido de alta y baja frecuencia se limita la banda de frecuencia de trabajo desde 0.1 Hz a 25 Hz, debido a que los sismos se encuentran en este rango y así evitar los errores que puede contener la señal.

CONCLUSIONES

- Se logró conocer los requisitos técnicos mínimos para la instalación, implementación de una caseta acelerográfica en Pucallpa modelo Reftek, 130 SMA, detalle de planos para instalación, suelo, los procedimientos constructivos de obras civiles en el sistema de instalación, funcionamiento y configuración del acelerógrafo, sus periféricos como GPS, Reuter, Memorias, Brújula, Servidor, UPS, puertos, IP, relay, convertidores y comunicaciones, configuraciones internas (modo continua y modo evento) y remota, en general Hardware y Software.
- La caracterización de los registros sísmicos permitió organizar una base de datos de los diferentes sismos registrados, con magnitud mayor o igual a 4.5. Mw, ocurridos desde el mes de enero del año 2019 a agosto del año 2022, tomado como fuente las estaciones acelerográficas instaladas en la zona 2 de la selva peruana con la cual se procesó mediante la aplicación de software SeismoSignal y Seismoprocesor, obteniendo los resultados de los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta y que puede ser empleada para posteriores investigaciones o como data de información para proyectos de ingeniería.

Los cuatro últimos sismos de mayor magnitud ocurridos en el Perú se han producido en la Selva Peruana, eso amerita una reflexión y podemos concluir que se está viviendo un periodo de “silencio sísmico” y cada vez es más frecuente en la selva peruana y Ucayali forma parte de ella, mencionamos dos de ellos:

- ✓ Sismo de 7.2 ML a 205 km al N de Esperanza, Purús – Ucayali, fecha 05 de enero del 2019.
 - ✓ Sismo de 7.2 ML a 70 km al SE Distrito de Lagunas, Alto Amazonas Loreto, fecha 26 de mayo del 2019, 141 km de profundidad, duración 127 seg.
- La máxima aceleración obtenida fue de 95.84 cm/seg² en la componente EO, registrado en la estación de la UNTRM como código fuente; en la estación del

CIP Ucayali, escalado mediante software fue de 14.6193 cm /seg², en la componente EO. La amplitud de la aceleración espectral fue mayor en la componente EO; para un amortiguamiento del 5% el máximo del espectro de pseudo aceleración fue de 347.34 cm/seg², en la componente EO y la amplitud de la aceleración espectral es mayor en la componente EO. En la estación del CIP CDU Ucayali fue de 40.12 cm/seg², en la componente EO y considerada como lugar de asiento de arcilla de alta compresibilidad.

- Los valores de aceleración registrados durante un sismo están en función de las características del terreno (topografía, altitud, geología y composición del suelo) lo que origina una variación, la distancia que separa es importante a tomar en cuenta, la diferencia de altitudes presenta un cambio significativo en las amplitudes generadas por el sismo, como es el caso ocurrido en el sismo de Laguna tomado en cuenta para el análisis de la presente tesis.

Para el análisis de regresión se hizo la corrida de varios modelos estadísticos como la lineal, exponencial, polinómica, potencial, media móvil y logarítmica; se impuso el modelo logarítmico de ajuste, porque la progresión de los efectos de un sismo se intensifica con la de las magnitudes de la escala cuya función de regresión resultó $y=117.47\ln(x)-181.08$. Se evidencia que existe una moderada a alta dependencia entre ambas variables, ya que el coeficiente de correlación r es igual a 0.71, asimismo el coeficiente de determinación r^2 es igual a 0.5099 lo que indica que el 51% de los valores de la aceleración (cm/seg²) y magnitud (Mw) respectivamente están asociados positivamente y explicados por los valores de la variable magnitud.

Para la validación de la hipótesis se tomó como referencia el 1% de significación bilateral y resultó un p-valor de $0.000 < 0.01$; por lo que se acepta la hipótesis de investigación y se rechaza la hipótesis nula, es decir la aceleración está influenciada por la magnitud, considerando eso sí que los valores de aceleración registrados en la presente investigación están también en función de las

características del terreno (topografía, altitud, geología y composición del suelo), la distancia epicentral, entre otros lo que origina variación significativa.

SUGERENCIAS

- Para estudios posteriores se recomienda se aumente la cantidad de parámetros instrumentales a correlacionar, como la velocidad, desplazamiento, Intensidad de Mercalli Modificada MMI, espectros de Furrier, etc. utilizando nuevas tecnologías como la lógica difusa de inteligencia artificial.
- Que la Universidad Nacional de Ucayali, sea de la iniciativa para ampliar su red de acelerógrafos, ahora que está próximo a inaugurar, pudiendo establecerse la instalación en la sede de Aguaytía y conformar una red regional con el CIP CDU, UNIA, SENCICO, Hospital Regional de Ucayali y la Sede del Gobierno Regional en etapa de construcción, para realizar estudios de microzonificación de suelos, de esa manera tener un mejor conocimiento del comportamiento del suelo en la ciudad, siendo ello indispensable para los diseños antisísmicos y realizar planes de prevención y mitigación de desastres.
- Se recomienda la supervisión de las autoridades de competencia para el cumplimiento de la E.030 Diseño Sismorresistente en la que indica que edificaciones iguales o mayores a 10000 m² de área techada, deben de instalarse obligatoriamente en Acelerografo. Caso del Hospital Regional de Pucallpa a un 90% de avance, la construcción de las Sede del Gobierno Regional, que está en proceso de ejecución con un 70% de avance aproximadamente en su primera etapa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, Z. (2004). Análisis de peligro sísmico y estimado del movimiento sísmico de diseño. LIMA-PERÚ: Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (CISMID-UNI).
- Alva Hurtado, Miriam Escalaya. (Abril del 2011). Actualización de los Parámetros Sismológicos en la Evaluación del Peligro Sísmico en el Perú. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres-Lima-Perú: Guzlop.
- Alayo, Lincolnd. (2007). cronología histórica de los terremotos más destructivos en el Perú 1533- 2007. Centro de Capacitación y Prevención para el Manejo de Emergencias y Medio Ambiente S.O.S Vidas Perú.
- Chipana, Michael, Ortiz, Carmen y Alva, Jorge. 2018. Seismoprocessor. [Software] Lima Red Acelerográfica CIP CN/UPG-FIC-UNI, 2018.
- Colegio de Ingenieros del Perú, disponible en <http://www.red-acelerografica-peru.uni.edu.pe/es/main/home>
- Felices Gilvonio, Christian Andree (2020), Instrumentación Estructural de Edificios en Países Sísmicos, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Instituto geofísico del Perú, IGP, recuperado en <https://portal.igp.gob.pe/norma-e030-diseno-sismorresistente>, <https://www.igp.gob.pe/servicios/aceldat-peru/glosario>
- Ficha técnica de Acelerógrafo, vista en <https://www.lunitek.it/>, <https://kinemetrics.com/>, <https://www.nanometrics.ca/>, <https://reftek.com/>
- Jiménez Vilcherrez, J., Quiñones Huatangari, L., Timana Jaramillo, P., & Vallejo Huamán, A. A. (2017). Sistemas Difusos. Universidad Nacional de Piura, Piura.
- M. Chipana, J. Alva, C. Ortiz, J. Oviden. (2016). Sistema Inteligente para Procesamiento Acelerográfico.

- M. Herraiz (1997). Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, Lima, Perú.
- Medrano V, Análisis del Comportamiento Sísmico en una Zona de Suelos Blandos del Valle de Oaxaca (2012), Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ordaz M y Montoya D. (2012), Programa DEGTRA, versión 3.2.4. Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Portal del Instituto Geofísico del Perú Actualizada, disponible en:
<https://www.geoidep.gob.pe/instituto-geofisico-del-peru>,
https://repositorio.igp.gob.pe/bitstream/handle/IGP/791/catalogo_Isosistas_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Román Claros, Walter. (2018). Pautas para formular Proyectos de Tesis y Trabajos de Investigación en Ingeniería. UNMSM, Perú.
- Teresa Susagna Vidal, Luis Cabañas Rodríguez, Xavier Goula Suriñach, Juan Manuel Alcalde Camino & Myriam Belvaux (2011), Análisis de los parámetros de los acelerogramas registrados en los seísmos de Lorca, de interés para la Ingeniería, Institut Geològic de Catalunya – Barcelona, Instituto Geográfico Nacional – Madrid, Lorca Murcia, España.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “Instalación e Implementación de una Caseta Acelerográfica para el Registro, Procesamiento, Análisis y Correlación de Parámetros de Señales Sísmicas en Ucayali”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicadores	Metodología
<p>Problema general</p> <p>¿La instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica permitirá generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos y correlacionar parámetros de señales sísmicas en Ucayali?.</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>1. ¿De qué manera el sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa permitirá conocer el comportamiento dinámico del suelo y tener aplicaciones favorables con los reportes analizados en el periodo enero del 2019 hasta agosto del 2022?.</p> <p>2. ¿Permitirá la base de datos de los registros acelerográficos de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022, procesar mediante la aplicación de software e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento, espectros de respuesta?</p> <p>3. ¿Cuál será la Correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental, en el periodo de agosto del 2018 hasta enero del 2022?.</p>	<p>Objetivo General</p> <p>Instalar, implementar y poner en funcionamiento una caseta acelerográfica para generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos mediante el procesamiento y correlación de los parámetros de señales sísmicas en Ucayali.</p> <p>Objetivos Específicos.</p> <p>1. Conocer el sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa para conocer el comportamiento dinámico del suelo y tener aplicaciones favorables con los reportes analizados en e periodo enero del 2019 hasta agosto del 2022?.</p> <p>2. Analizar y caracterizar los registros acelerográficos de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022 y procesar mediante la aplicación de software e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento, espectros de respuesta.</p> <p>3. Determinar la Correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental, en el periodo de enero del 2019 hasta agosto del 2022.</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>La instalación, implementación y funcionamiento una caseta acelerográfica permitirá generar un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos mediante el procesamiento y correlación de los parámetros de señales sísmicas en Ucayali.</p> <p>Hipótesis Especificas</p> <p>1. Los registro del sistema de instalación, implementación y funcionamiento de una caseta acelerográfica en Pucallpa tiene aplicaciones favorables, porque permitirá conocer el comportamiento dinámico del suelo y correlación en el periodo enero del 2019 hasta agosto del 2022?.</p> <p>2. La instalación e implementación de una caseta acelerográfica permitirá caracterizar, procesar y analizar los registros de sismos con magnitud mayores a 4,5 Mw ocurridos desde enero del año 2019 hasta agosto del 2022 e interpretar los parámetros de aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta</p> <p>3. La correlación entre la aceleración máxima del suelo y la magnitud correspondiente a la sismicidad instrumental en la zona 2, en el periodo del mes de enero del 2019 a agosto del 2022 es positivo (alto, medio, bajo)..</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>• Registro del movimiento del suelo (acelerogramas)</p> <p>a) Magnitud del sismo en la escala de Richter y Mw.</p> <p>b) Hipocentro del sismo.</p> <p>c) Tiempo historia de velocidades y desplazamiento.</p> <p>d) Aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta.</p> <p>e). Instrumentación sísmica.</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>• Intensidad, Análisis e interpretación de parámetros sísmicos.</p> <p>a). Tratamiento de acelerogramas por componentes ortogonales (V, NS, NO).</p> <p>b). Intensidad en escala de Mercalli Modificado - MMI.</p>	<p>• Instrumentación sísmica.</p> <p>• Magnitud en la escala de Richter.</p> <p>• Intensidad en escala de Mercalli Modificada.</p> <p>• Tratamiento de acelerogramas por componentes ortogonales (V, NS, NO).</p> <p>• Tiempo historia de velocidades y desplazamiento.</p> <p>• Aceleración máxima, velocidad máxima, desplazamiento y espectros de respuesta.</p> <p>• Intensidad en escala de Mercalli modificada MMI..</p>	<p>Magnitud</p> <p>Latitud</p> <p>Longitud</p> <p>Profundidad</p> <p>Fuente</p> <p>Fecha</p> <p>Hora</p> <p>Distancia</p> <p>Aceleración</p> <p>Velocidad</p> <p>Tiempo</p> <p>Desplazamiento</p> <p>Periodo</p> <p>Amplitud</p> <p>Frecuencia</p>	<p>Tipo de Investigación: Aplicada (mixto: cuantitativa, cualitativa), nivel descriptivo no experimental, longitudinal.</p> <p>Diseño:</p> <p>Diseño 2: Además, para el diseño no experimental correlacional.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>M ----> P ----->O</p> </div> <p>Donde: M= muestra de sismos (archivo.prn) P= Procesamiento son software O= Observaciones y análisis de resultados</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> </div> <p>Población y Muestra</p> <p>Población: La población estuvo constituido por todo los sismos con registros acelerograficos en el periodo de enero 2019 a agosto del 2021, mayor o igual a 4.5 Mw, en total N=4560 sismos.</p> <p>Muestra: Por la característica del proyecto, el muestreo fue no probabilístico, o intencional a juicio de valor o conveniencia, es decir los eventos sísmicos de la zona 2, parte de 1 y 3 de la selva peruana con una magnitud mayor o igual a 4.5 Mw, en total fueron (n=64) sismos registrados por las estaciones acelerográficas.</p> <p>Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos</p> <p>Equipos e Instrumentos: REF TEK 130-SMHR 24-bit Strong Motion Accelerograph.</p> <p>Técnicas Estadísticas de Análisis y Procesamiento de Datos:</p> <p>Correlación lineal</p> <p>Software: SPSS v 25, Autocad, Excel, SeismoSignal y el Sismoprocessor.</p>

ANEXOS

ANEXO 1. Reporte sísmico (enero 2019-agosto 2022)

RED ACCELEROMÉTRICA NACIONAL CENSIS																									
Reporte IGP/ACELDAT-PERU 2022-0557																									
REPORTES HIPOCENTRALES																									
Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			PGAmax	MediaPGAMAX	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente	
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGA EO	PGA NS	PGA V							
1	02/10/2021	SISMO DE ESPERANZA, PURUS - UCAYALI	5.6	-9.51	-71.14	608.00	07:52:34	UPG-FIC-UNI/CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	393.16	724.04	1.62	2.60	0.74	2.60	1.65	0.93	0.003	III	IGP	
2	01/08/2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	5.3	-8.18	-74.47	162.00	17:18:07	UNIA/UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	22.59	163.57	6.41	4.66	2.26	6.41	4.44	2.08	0.007	III	IGP	
3	07/05/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	5.2	-8.69	-74.89	146.00	21:49:14	UPG-FIC-UNI/UNAS	UNAS	HUANUCO, LEONCIO PRADO, RUPA RUPA	Arcilla	-9.31	-76.00	140.05	202.31	1.25	1.55	0.46	1.55	1.09	0.56	0.002	III	IGP	
4	08/02/2021	SISMO DE JUMBILLA, BONGARA - AMAZONAS	5.2	-5.44	-77.5	20.00	20:40:57	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	96.31	98.36	14.07	13.42	6.66	14.07	11.38	4.10	0.014	III	IGP	
5	02/09/2021	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	5.1	-3.86	-76.57	106.00	03:42:17	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	298.80	317.04	0.97	0.98	0.54	0.98	0.83	0.25	0.001	III	IGP	
6	25/06/2022	SISMO DE SAN IGNACIO, SAN IGNACIO - CAJAMARCA	5.0	-4.87	-78.56	120.00	11:11:26																III		
7	20/07/2022	SISMO DE PATAZCA, ALTO AMAZONAS - LORETO	5.0	-1.99	-78.44	144.00	02:10:19																	III	
8	30/09/2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO	4.9	-8.24	-74.84	161.00	22:06:31	UPG-FIC-UNI/CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	37.48	165.31	0.62	0.72	3.37	3.37	1.57	1.56	0.003	III	IGP	
9	03/08/2022	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.9	-8.63	-74.5	157.00	02:33:34																	III	
10	11/03/2022	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.9	-8.3521	-74.2103	160.00	15:02:27																	III	
11	14/04/2022	SISMO DE TOCACHE NUEVO, TOCACHE - SAN MARTIN	4.9	-7.7152	-76.2349	135.00	12:51:37																	III	
12	20/11/2020	SISMO DE CONTAMANA, UCAYALI	4.8	-7.51	-74.67	159.00	20:48:51	UNIA-UPG-FIC-UNI	UNIA	Ucayali-Coronel Portillo-Pucallpa	Arcilla	-8.35	-74.59	93.01	184.01	2.84	1.96	1.76	2.84	2.19	0.57	0.003	III	IGP	
13	01/11/2021	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	4.8	-2.91	-76.28	130	19:02:56	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	407.10	427.35	0.21	0.22	0.16	0.22	0.20	0.03	0.000	III	IGP	
14	26/09/2021	SISMO DE AGUAYTIA, PADRE ABAD - UCAYALI	4.8	-8.97	-75.22	140	01:59:40	UNIA/UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	120.19	169.49	2.68	2.74	1.03	2.74	2.15	0.97	0.003	III	IGP	
15	28/06/2020	SISMO DE CURIMANA, UCAYALI	4.8	-8.01	-75	150	08:37:22	UPG-FIC-UNI/CIP	CIP HUANUCO	HUANUCO, HUANUCO, HUANUCO	Grava Arcillosa	-9.94	-76.24	253.10	294.21	0.37	0.39	0.22	0.39	0.33	0.09	0.000	III	IGP	
16	08/08/2020	SISMO DE ATALAYA, UCAYALI	4.8	-11.25	-73.36	35	10:13:14	UPG-FIC-UNI/CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	342.03	343.82	0.27	0.38	0.30	0.38	0.32	0.06	0.000	III	IGP	
17	22/05/2021	SISMO DE STA. MARIA DE NIEVA, CONCORDANCQUI - AMAZONAS	4.8	-3.91	-77.52	107.00	14:45:12	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	259.78	280.95	0.86	1.11	0.43	1.11	0.80	0.34	0.001	III	IGP	
18	19/08/2022	SISMO DE CONTAMANA, UCAYALI - LORETO	4.8	-7.83	-74.7	151.00	14:06:52																	III	
19	04/10/2020	SISMO DE MOYOBAMBA, MOYOBAMBA - SAN MARTIN	4.7	-5.98	-76.91	35.00	15:21:10	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	108.34	113.85	2.64	2.25	1.08	2.64	1.99	0.81	0.003	III	IGP	
20	19/05/2021	SISMO DE DE ATALAYA, ATALAYA - UCAYALI	4.7	-10.88	-73.93	100.00	02:59:14	UAC/UPG-FIC-UNI	UAC	CUSCO, CUSCO, SANTIAGO	Arcilla gravosa	-13.53	-71.97	362.37	375.91	0.74	3.24	2.24	3.24	2.07	1.26	0.003	III	IGP	
21	25/09/2020	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	4.7	-2.86	-76.87	127.00	09:19:42	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	388.89	409.10	0.28	0.30	0.16	0.3	0.25	0.08	0.000	III	IGP	

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGAV						
1	20/04/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	5.1	-7.94	-74.63	150.00	18:47:35	UPG-FIC-UNI/UNAS	UNAS	HUANUCO, LEONCIO PRADO, RUPA RUPA	Arcilla	-9.31	-76.00	213.77	261.14	1.25	1.22	0.59	1.25	1.02	0.37	0.001	II-III	IGP
2	08/05/2020	SISMO DE MOYOBAMBA, MOYOBAMBA - SAN MARTIN	4.7	-5.67	-76.79	39.00	23:27:38	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	133.45	139.03	3.08	2.94	1.34	3.08	2.45	0.97	0.003	II-III	IGP

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGAV						
1	17/02/2020	SISMO DE CONTAMANA, UCAYALI - LORETO	5.0	-7.68	-74.63	126.00	13:53:12	POSGRADO FIC UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilloso	-8.35	-74.59	73.91	146.08	2.34	2.33	3.31	3.31	2.66	0.56	0.003	II	IGP
2	28/04/2020	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	4.7	-2.91	-77.52	15.00	04:06:06	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	369.56	369.56	0.14	0.12	0.06	0.14	0.11	0.04	0.000	II	IGP
3	17/05/2020	SISMO DE STA. MARIA DE NIEVA, CONDORCANQUI - AMAZONAS	4.5	-4.19	-77.41	30.00	14:27:04	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	231.46	233.40	0.41	0.34	0.18	0.41	0.31	0.12	0.000	II	IGP

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGAV						
1	05/01/2019	SISMO PUERTO ESPERANZA PURUS, UCAYALI	7.2	-8.07	-71.43	598.00	14:25:32																IV	
2	09/03/2021	SISMO DE AUCAYACU, LEONCIO PRADO - HUANUCO	5.4	-8.87	-75.94	132.00	14:16:30	UPG-FIC-UNI/UNAS	UNAS	HUANUCO, LEONCIO PRADO, RUPA RUPA	Arcilla	-9.31	-76.00	49.11	140.84	37.49	24.24	10.79	37.49	24.17	13.35	0.038	IV	IGP
3	13/10/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	5.2	-8.42	-74.42	152.00	16:09:25	UNIA/UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	20.19	153.33	7.13	10.12	5.02	10.12	7.42	2.56	0.010	IV	IGP
4	22/08/2021	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	5.2	-8.28	-74.4	163.00	03:28:08	UNIA/UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	22.00	164.48	9.17	13.18	10.34	13.18	10.90	2.06	0.013	IV	IGP
5	16/07/2021	SISMO DE DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	5.2	-3.4	-77.3	38.00	15:42:44	UNTRM/UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	319.49	321.74	1.05	0.83	0.42	1.05	0.77	0.32	0.001	IV	IGP

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGA V						
1	26/05/2019	SISMO DE LAGUNAS, ALTO AMAZONAS - LORETO	7.2	-5.7	-75.27	141.00	07:41:12	POSGRADO FIC-UNI/UNTRM	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.88	292.21	324.45	95.84	87.45	53.49	95.48	78.93	22.42	0.098	V-VI	

La magnitud local 7.2 es equivalente a 8 Mw ((IGP), (Mw= 8.0 (USGS)

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Desv. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGA V						
1	04/05/2021	SISMO DE BARRANCA, DATEM DEL MARAÑON - LORETO	4.9	-4.76	-76.75	128.00	03:01:44	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	203.96	240.79	0.58	0.55	0.32	0.58	0.48	0.14	0.001	_	IGP
2	21/06/2021	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	4.8	-3.09	-74.41	150	08:23:03	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	382.95	411.28	0.12	0.11	0.07	0.12	0.10	0.03	0.000	_	IGP
3	05/10/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.8	-8.16	-74.51	156	05:38:56	UNIA/ UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	22.40	157.60	1.07	1.73	1.49	1.73	1.43	0.33	0.002	_	IGP
4	08/04/2021	SISMO DE CONTAMANA, UCAYALI - LORETO	4.7	-7.49	-74.70	141.00	02:59:43	UNIA/ UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	95.58	170.34	1.79	2.05	3.75	3.75	2.53	1.06	0.004	_	IGP
5	06/11/2020	SISMO DE DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.7	-8.73	-74.8	138.00	02:16:15	UNIA/ UPG-FIC-UNI	UNIA	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, PUCALLPA	Arcilla	-8.35	-74.59	48.36	146.23	2.05	2.43	7.06	7.06	3.85	2.79	0.007	_	IGP
6	04/12/2021	SISMO DE NUEVA CAJAMARCA, RIOJA - SAN MARTIN	4.6	-5.79	-77.43	146.00	06:41:27	UNTRM/ UPG-FIC-UNI	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-6.23	-77.85	68.09	161.10	3.82	3.94	3.05	3.94	3.60	0.48	0.004	_	IGP
7	26/10/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.6	-7.95	-74.56	156.00	19:25:38	UPG-FIC-UNI/ CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	48.11	163.25	0.50	0.32	0.32	0.5	0.38	0.10	0.001	_	IGP
8	08/07/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.5	-8.10	-74.56	170.00	18:39:57	UPG-FIC-UNI/ CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	31.57	172.91	0.25	0.39	0.37	0.39	0.34	0.08	0.000	_	IGP
9	05/05/2020	SISMO DE PUCALLPA, CORONEL PORTILLO - UCAYALI	4.5	-7.92	-74.49	150.00	01:10:53	UPG-FIC-UNI/ CIP	CIP HUANUCO	HUANUCO, HUANUCO, HUANUCO	Grava Arcillosa	-9.94	-76.24	294.76	330.73	0.18	0.15	0.28	0.28	0.20	0.07	0.000	_	IGP
10	11/01/2021	SISMO DE NAUTA, LORETO - LORETO	4.5	-3.68	-74.90	130.00	01:05:51	UPG-FIC-UNI/ CIP	CIP UCAYALI	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	Arcilla de alta compresibilidad	-8.38	-74.53	521.80	537.75	0.13	0.08	0.27	0.27	0.16	0.10	0.000	_	IGP

Item	Fecha	Sismo	Magnitud	Coordenadas Geográficas		Profundidad (km)	Hora local	Institución	Estación	Ubicación	Lugar de asiento	Coordenadas Geográficas		Distancia epicentral (km)	Distancia hipocentral (km)	Aceleraciones máximas con filtrado (cm/seg ²)			Aceleración máxima (cm/seg ²)	Media de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Dev. de la Aceleración máxima (cm/seg ²)	Aceleración máxima (g)	Intensidad MMI-Mercalli	Fuente
				Latitud Sur	Longitud Oeste							Latitud Sur (°)	Longitud Este (°)			PGAEO	PGANS	PGAV						
1	14/04/2021	SISMO DE PASTAZA, ALTO AMAZONAS - LORETO	4.8	-3.13	-75.82	147.00	22:13:25	UPG-FIC-UNI/CIP	CIP MOYOBAMBA	SAN MARTIN, MOYOBAMBA, MOYOBAMBA	Arcilla	-6.03	-76.97	345.61	375.57	0.16	0.04	0.19	0.19	0.13	0.08	0.000	VI	
2	03/02/2022	SISMO DE STA. MARÍA DE NIEVA, CONDORCANQUII - AMAZONAS	6.8	-4.4349	-76.9517	102.00	10:58:56	POSGRADO FIC-UNI/UNTRM	UNTRM	AMAZONAS, CHACHAPOYAS, CHACHAPOYAS	Arcilla de alta compresibilidad	-5.93	-79.97	292.00	333.50	55.00	51.50	39.60	55.6	48.70	8.07	0.032	VI	

ANEXO 2. Resumen de Valores máximos de aceleraciones registradas en las estaciones tomadas como referencia

N°	INSTITUCIÓN	ESTACIÓN	UBICACION	LUGAR DE ASIENTO	ACELERACIONES MÁXIMAS CON FILTRADO (cm/seg ²)			ACELERACION MAXIMA (cm/seg ²)	ACELERACION
					EO	NS	V		
1	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Moyobamba	San Martin, Moyobamba.	ARCILLA	91.29	78.76	90.16	91.29	0.093
2	SENCICO-CISMID	SENCICO IQUITOS	IQUITOS, LORETO		83.17	75.27	66.82	83.17	0.083
3	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Tarapoto	SAN MARTIN, TARAPOTO	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	58.18	79.56	67.86	79.56	0.081
4	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Amazonas	AMAZONAS, CHACHAPOYAS	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	78.91	53.98	53.05	78.91	0.08
5	POSGRADO FIC UNI / UNTRM	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza	AMAZONAS, CHACHAPOYAS	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	95.84	87.45	53.49	95.84	0.098
6	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Huánuco	HUANUCO, HUANUCO.	GRAVA ARCILLOSA	40.11	42.61	19.6	42.61	0.043
7	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Ucayali	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	12.60	14.62	10.79	14.62	0.015
8	Colegio de Ingenieros de Cajamarca	Colegio de Ingenieros de Cajamarca	CAJAMARCA, CAJAMARCA	GRAVA ARCILLOSA	17.27	17.63	9.44	17.63	0.018

Fuente: Registro de Estaciones acelerográficas

ANEXO 3. Valores máximos de espectros de pseudoaceleración en las estaciones acelerográficas tomadas como referencia

N°	INSTITUCIÓN	ESTACIÓN	UBICACION	LUGAR DE ASIENTO	SEUDOACELERACIÓN ESPECTRAL (cm/seg ²) 5% DE AMORTIGUAMIENTO (CON FILTRADO)			SEUDOACELERACIÓN ESPECTRAL MÁXIMA (cm/seg ²)
					EO	NS	V	
1	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Moyobamba	San Martin, Moyobamba.	ARCILLA	289.81	226.45	277.50	289.81
2	SENCICO-CISMID	SENCICO IQUITOS	IQUITOS, LORETO		373.51	316.28	333.73	321.93
3	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Tarapoto	SAN MARTIN, TARAPOTO	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	172.33	321.93	234.74	321.93
4	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Amazonas	AMAZONAS, CHACHAPOYAS	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	241.89	197.38	166.23	241.89
5	POSGRADIFIC UNI / UNTRM	Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza	AMAZONAS, CHACHAPOYAS	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	347.34	323.49	267.10	347.34
6	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Huánuco	HUANUCO, HUANUCO.	GRAVA ARCILLOSA	139.38	137.04	59.32	139.38
7	Colegio de Ingenieros	Colegio de Ingenieros de Ucayali	UCAYALI, CORONEL PORTILLO, CALLERIA	ARCILLA DE ALTA COMPRESIBILIDAD	40.12	46.40	32.64	46.40
8	Colegio de Ingenieros.	Colegio de Ingenieros de Cajamarca	CAJAMARCA, CAJAMARCA	GRAVA ARCILLOSA	57.58	72.85	32.85	72.85

Fuente: Registro de Estaciones acelerográficas

Otros Valores de Intensidad.

ESTACIÓN	COMPONENTE	PGA cm/seg ²	PGV cm/seg	PGD cm	Vmax/Amax seg
Colegio de Ingenieros de Moyobamba	EO	91.29	19.13	6.62	0.21
	NS	78.76	20.85	9.14	0.26
	V	90.16	13.08	4.21	0.15
Colegio de Ingenieros de Tarapoto	EO	58.18	9.00	3.04	0.15
	NS	79.56	10.70	3.34	0.13
	V	67.86	4.74	1.26	0.07
Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza	EO	95.84	13.46	2.62	0.14
	NS	87.45	8.34	1.49	0.10
	V	53.49	3.52	0.92	0.07
Colegio de Ingenieros de Huánuco	EO	40.11	2.01	0.62	0.05
	NS	42.61	2.59	0.43	0.06

	V	19.60	1.22	0.38	0.06
Colegio de Ingenieros de Ucayali	EO	12.60	2.89	2.32	0.23
	NS	14.62	3.32	3.18	0.23
	V	10.79	2.38	1.63	0.22
Colegio de Ingenieros de Cajamarca	EO	17.27	2.71	1.23	0.16
	NS	17.63	3.35	1.09	0.19
	V	9.44	1.64	0.56	0.17

Fuente: Registro de Estaciones acelerográficas

ANEXO 4. DATOS DE REGISTRO DE SISMO EN EL ACELEROGRAFO DEL 26 DE MAYO DEL 2019.

RED ACELEROGRAFICA

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : CIP UCAYALI
STATION CODE : D875
STATION LOCATION : UCAYALI, CORONEL PORTILLO ,CALLERIA
LATITUDE : -8.380000
LONGITUDE : -74.530000
ALTITUDE (m) : 146
ACCELEROMETER MODEL: REFTEK
SAMPLING FREQUENCY (Hz): 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : 26 de Mayo del 2019
ORIGIN TIME (UTC) : 07:41:12
LATITUDE : -5.7
LONGITUDE : -75.27
DEPTH (km) : 141.0
MAGNITU DE : 7.5
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD

RECORD TIME (UTC) : 2019-05-26T07:41:12.000000Z
DATA UNITS : cm/s²

4. COMMENTS

BASELINE CORRECTED. BANDPASS (0.10-25) FILTERED.

5. ACCELERATION DATA

T[s]	NS[cm/s ²]	EO[cm/s ²]	V[cm/s ²]
0.00000000	0.000188150	-0.000263253	-0.000148904
0.00500000	0.001108397	-0.001327319	-0.000885785
0.01000000	0.003049599	-0.002520629	-0.002261759
0.01500000	0.005295981	-0.002022906	-0.003150664
0.02000000	0.006252647	-0.000907610	-0.002385726
0.02500000	0.004133973	-0.003041826	-0.000766656
0.03000000	-0.001589583	-0.008130429	-0.001001490
0.03500000	-0.008510630	-0.011097090	-0.005640371
0.04000000	-0.011950111	-0.009595514	-0.014940285
0.04500000	-0.008815187	-0.005213388	-0.025895679
0.05000000	-0.000886898	0.000728161	-0.033228354
0.05500000	0.006560035	0.005898267	-0.032077525
0.06000000	0.009167893	0.006145374	-0.020584781
0.06500000	0.006201368	0.000699324	-0.000917969
0.07000000	-0.000221850	-0.006781409	0.021231062
0.07500000	-0.006742297	-0.012935117	0.038391418
0.08000000	-0.009445324	-0.015815287	0.044339377
0.08500000	-0.006524427	-0.013745358	0.037315417
0.09000000	-0.000844452	-0.007113692	0.021147401
0.09500000	0.003508852	0.001038904	0.003241847
0.10000000	0.005506179	0.007566468	-0.009318801
0.10500000	0.005583042	0.010242497	-0.013306455
0.11000000	0.003490405	0.008056574	-0.010439765
0.11500000	0.000079723	0.003082139	-0.005282053
0.12000000	-0.002182837	-0.000428778	-0.001425915
0.12500000	-0.002444028	0.000219969	0.000914187
0.13000000	-0.001640854	0.005182063	0.003878899
0.13500000	0.000570763	0.012349914	0.008963243
0.14000000	0.004139440	0.016859491	0.015189433
0.14500000	0.006056342	0.014607285	0.019644902
0.15000000	0.004068943	0.006997623	0.019378286
0.15500000	-0.000033072	-0.001655531	0.013326465
0.16000000	-0.003267558	-0.008861627	0.003238863
0.16500000	-0.004702460	-0.012583556	-0.006935811
0.17000000	-0.004551816	-0.010568369	-0.012879230
0.17500000	-0.003033142	-0.004203630	-0.011932179
0.18000000	-0.001408154	0.002109570	-0.004330634
0.18500000	-0.001128071	0.005887511	0.006635430
0.19000000	-0.001478537	0.006935835	0.015613929
0.19500000	-0.000609613	0.005456589	0.017484827
0.20000000	0.001314104	0.002899051	0.010187480
0.20500000	0.001938167	0.001294198	-0.003787226
0.21000000	0.000245378	0.000350154	-0.018649748
0.21500000	-0.001758452	-0.001459160	-0.028423157

0.220000000	-0.002283005	-0.003463423	-0.029509290
0.225000000	-0.001990154	-0.003920344	-0.021685683
0.230000000	-0.001732780	-0.003024804	-0.007953687
0.235000000	-0.001035451	-0.002024895	0.006679373
0.240000000	-0.000084596	-0.001465710	0.017119323
0.245000000	-0.000597217	-0.001844515	0.019799649
0.250000000	-0.002936426	-0.003461576	0.013869637
0.255000000	-0.004969650	-0.005075852	0.002022235
0.260000000	-0.005208640	-0.004954277	-0.010320876
0.265000000	-0.003883268	-0.002764157	-0.017883330
0.270000000	-0.001028005	0.000604009	-0.018179551
0.275000000	0.002852383	0.003318506	-0.011902175
0.280000000	0.005333382	0.003194945	-0.001710679
0.285000000	0.004650820	0.000290345	0.009114531
0.290000000	0.002349200	-0.002748103	0.017653880
0.295000000	0.000684519	-0.003885176	0.021888286
0.300000000	-0.000098160	-0.002545842	0.020873118
0.305000000	0.000062769	0.001438176	0.014888132
0.310000000	0.001664206	0.006418586	0.005569427
0.315000000	0.003414813	0.009304688	-0.004487788
0.320000000	0.003327356	0.009537864	-0.012749556
0.325000000	0.001966951	0.008873052	-0.017553580
0.330000000	0.001398119	0.007559244	-0.018132858
0.335000000	0.001644704	0.005373104	-0.014312747
0.340000000	0.001155758	0.003784231	-0.006503203
0.345000000	-0.000145162	0.002766060	0.003877563
0.350000000	-0.000759004	-0.000282317	0.014052046
0.355000000	0.000233904	-0.005629028	0.020323884
0.360000000	0.002109837	-0.010174079	0.019330437
0.365000000	0.003329125	-0.011715448	0.009836488
0.370000000	0.003006175	-0.009374330	-0.005399665
0.375000000	0.001198412	-0.002332185	-0.019502769
0.380000000	-0.001268750	0.006993754	-0.024652483
0.385000000	-0.002857577	0.012716849	-0.016874858
0.390000000	-0.002688789	0.011695185	0.001014712
0.395000000	-0.001710128	0.005505457	0.020123761
0.400000000	-0.001267269	-0.003218654	0.029670102
0.405000000	-0.001026484	-0.011263953	0.023089906
0.410000000	-0.000033472	-0.014454518	0.002539794
0.415000000	0.000915477	-0.010933454	-0.021867861
0.420000000	0.001012283	-0.002450829	-0.037805483
0.425000000	0.001745881	0.007517124	-0.037388660
0.430000000	0.004053473	0.014407619	-0.021102629
0.435000000	0.006207973	0.014660657	0.002713416
0.440000000	0.006696987	0.009251754	0.022762818
0.445000000	0.005632944	0.001565792	0.031137889

0.450000000	0.002706463	-0.006661333	0.026724594
0.455000000	-0.002281808	-0.013333606	0.013929352
0.460000000	-0.007042264	-0.014978688	-0.001088010
0.465000000	-0.008901945	-0.011297947	-0.013488300
0.470000000	-0.008015817	-0.004998297	-0.020876629
0.475000000	-0.005504792	0.002755005	-0.023005452
0.480000000	-0.001450253	0.010494208	-0.020835707
0.485000000	0.003147992	0.014066900	-0.015508487
0.490000000	0.005828189	0.011758187	-0.007878625
0.495000000	0.005289980	0.005957990	0.000989811
0.500000000	0.002358267	-0.001970055	0.009170961
0.505000000	-0.001457135	-0.010766831	0.014353479
0.510000000	-0.004631089	-0.015699106	0.015136792
0.515000000	-0.005610580	-0.013938168	0.011636872
0.520000000	-0.003741439	-0.008731745	0.005195831
0.525000000	-0.000179304	-0.003336304	-0.002005226
0.530000000	0.002547534	0.002083352	-0.007585222
0.535000000	0.002550725	0.006217042	-0.009839880
0.540000000	0.000429190	0.007260627	-0.008007831
0.545000000	-0.001999730	0.006178969	-0.002179719
0.550000000	-0.004096472	0.003816084	0.006391672
0.555000000	-0.005711187	-0.000192906	0.015176879
0.560000000	-0.005777613	-0.003681522	0.021309348
0.565000000	-0.003974344	-0.003963312	0.022981618
0.570000000	-0.001729438	-0.001886343	0.020063988
0.575000000	0.000446019	0.001398348	0.013836323
0.580000000	0.003197619	0.006271703	0.006372653
0.585000000	0.005167105	0.011111215	-0.000297676
0.590000000	0.004498869	0.013661513	-0.004915403
0.595000000	0.002331769	0.014074226	-0.007046072
0.600000000	0.000259772	0.011949699	-0.006675742
0.605000000	-0.002291020	0.006607356	-0.004074380
0.610000000	-0.004805181	0.001436314	-0.000156435
0.615000000	-0.004777871	-0.000183921	0.003297104
0.620000000	-0.002410989	-0.000089231	0.004361333
0.625000000	-0.000847549	-0.000099605	0.002232612
0.630000000	-0.001116921	0.000722567	-0.002289028
0.635000000	-0.001581570	0.000875139	-0.007386300
0.640000000	-0.001015968	-0.001784543	-0.011203446
0.645000000	0.000953139	-0.004518879	-0.012802889
0.650000000	0.004307604	-0.004441430	-0.012539820
0.655000000	0.007767869	-0.003109642	-0.011370243
0.660000000	0.008853648	-0.001353727	-0.009818118
0.665000000	0.006155631	0.001616995	-0.007776821
0.670000000	0.001341146	0.002930895	-0.005145403
0.675000000	-0.002229682	-0.000414308	-0.002322500

0.680000000	-0.003061701	-0.005348928	-0.000115404
0.685000000	-0.002567623	-0.007585765	0.000501520
0.690000000	-0.002102320	-0.006909774	-0.001350023
0.695000000	-0.001061957	-0.003805618	-0.005671298
0.700000000	0.000595838	0.001439362	-0.010633397
0.705000000	0.001239395	0.005888963	-0.012892352
0.710000000	0.000670172	0.006993768	-0.009549016
0.715000000	0.000269567	0.005380468	-0.000348906
0.720000000	-0.000376933	0.001437501	0.011546995
0.725000000	-0.002459399	-0.004572267	0.020930424
0.730000000	-0.004768960	-0.009387884	0.023258890
0.735000000	-0.005869482	-0.010001200	0.017089749
0.740000000	-0.006329210	-0.006606246	0.004904292
0.745000000	-0.005378244	0.000085316	-0.008168402
0.750000000	-0.000690496	0.008276842	-0.016777313
0.755000000	0.006030110	0.013364535	-0.017501705
0.760000000	0.009228492	0.012820591	-0.010225242
0.765000000	0.006334178	0.008532709	0.001649340
0.770000000	-0.000128020	0.001988732	0.012640757
0.775000000	-0.006307156	-0.005693436	0.017796675
0.780000000	-0.009296984	-0.010129602	0.015042046
0.785000000	-0.007407626	-0.008305066	0.006016085
0.790000000	-0.001567638	-0.003378208	-0.004855205
0.795000000	0.004646910	0.000965765	-0.012505639
0.800000000	0.008211838	0.004419248	-0.013646387
0.805000000	0.008610284	0.005584704	-0.008251055
0.810000000	0.006496741	0.002349198	0.000709812
0.815000000	0.002497455	-0.002958584	0.009069799
0.820000000	-0.002095768	-0.006589422	0.013531890
0.825000000	-0.004692036	-0.008509475	0.012791511
0.830000000	-0.003195710	-0.008978662	0.007646817
0.835000000	0.001300534	-0.006184743	0.000411474
0.840000000	0.005426672	-0.000598016	-0.006140974
0.845000000	0.007337064	0.004822450	-0.009777444
0.850000000	0.007510169	0.008725638	-0.009372901
0.855000000	0.006386760	0.010636514	-0.005129219
0.860000000	0.004355161	0.009437208	0.001477640
0.865000000	0.002950303	0.005826159	0.008253043
0.870000000	0.002583674	0.002185348	0.013158427
0.875000000	0.001254932	-0.000368995	0.014734029
0.880000000	-0.001655120	-0.001422280	0.012180080
0.885000000	-0.003864411	-0.000452014	0.005862471
0.890000000	-0.004260426	0.001221418	-0.002252366
0.895000000	-0.004181232	0.001616103	-0.009380907
0.900000000	-0.004041575	0.000985677	-0.013555302
0.905000000	-0.003253774	-0.000128664	-0.014523767

0.910000000	-0.002892880	-0.002530862	-0.013398866
0.915000000	-0.004046319	-0.005491672	-0.011844420
0.920000000	-0.005161451	-0.007034683	-0.011125084
0.925000000	-0.004447960	-0.007205033	-0.011113237
0.930000000	-0.002359879	-0.006178165	-0.010261578
0.935000000	0.000248281	-0.002427666	-0.006932693
0.940000000	0.003205496	0.002859759	-0.000692312
0.945000000	0.005345578	0.005275358	0.007617362
0.950000000	0.004761464	0.003616001	0.016501252
0.955000000	0.001318149	0.000301576	0.024134571
0.960000000	-0.002920929	-0.003611169	0.028530858
0.965000000	-0.005700782	-0.007098907	0.028166314
0.970000000	-0.005817272	-0.006821041	0.022538477
0.975000000	-0.003091391	-0.001798978	0.012205031
0.980000000	0.001539198	0.004545961	-0.001065257
0.985000000	0.006015963	0.009457457	-0.014201442
0.990000000	0.008083629	0.012399762	-0.023644799

.....
.....
.....
.....

Nota: Solo se está indicando 197 filas como referencia, ya que es muy extenso, por ejemplo solo del sismo del 26 de mayo del 2019 son 59,999 datos registrados por el acelerógrafo y así de las otras 64 estaciones acelerográficas de la zona 2, región selva tomadas como referencia para la presente tesis.

ANEXO 5. PANEL FOTOGRAFICO DEL PROCESO DE INSTALACION DEL ACELEROGRAFO EN EL CIP CDU.



ANEXO 6. PANEL FOTOGRAFICO DEL PROCESO DE INSTALACION DEL ACELEROGRAFO EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI



ANEXO 7. INSTRUMENTACION DE ACELEROGRAFOS SEGÚN NORMA TÉCNICA E.030 - “DISEÑO SISMORRESISTENTE”



NORMA TÉCNICA E.030 - “DISEÑO SISMORRESISTENTE”

CAPÍTULO 9 INSTRUMENTACIÓN

9.1 Estaciones Acelerométricas

Las edificaciones que individualmente o en forma conjunta, tengan un área techada igual o mayor que 10 000 m², deberán contar con una estación acelerométrica, instalada a nivel del terreno natural o en la base del edificio.

Dicha estación acelerométrica deberá ser provista por el propietario, siendo las

especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de datos debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

En edificaciones con más de 20 pisos o en aquellas con dispositivos de disipación sísmica o de aislamiento en la base, de cualquier altura, se requerirá además de una estación acelerométrica en la base, otra adicional, en la azotea o en el nivel inferior al techo.

9.2 Requisitos para su Ubicación

La estación acelerométrica deberá instalarse en un área adecuada, con acceso fácil para su mantenimiento y apropiada iluminación, ventilación, suministro de energía eléctrica estabilizada. El área deberá estar alejada de fuentes generadoras de cualquier tipo de ruido antrópico. El plan de instrumentación será preparado por los proyectistas de cada especialidad, debiendo indicarse claramente en los planos de arquitectura, estructuras e instalaciones del edificio.

9.3 Mantenimiento

El mantenimiento operativo de las partes, de los componentes, del material fungible, así como el servicio de los instrumentos, deberán ser provistos por los propietarios del edificio y/o departamentos, bajo control de la municipalidad y debe ser supervisado por el Instituto Geofísico del Perú. La responsabilidad del propietario se mantendrá por 10 años.

9.4 Disponibilidad de Datos

La información registrada por los instrumentos será integrada al Centro Nacional de Datos Geofísicos y se encontrará a disposición del público en general.

ANEXO 8. FICHA TECNICA DE ACELERÓGRAFO O ACELERÓMETRO

FICHA DE EVALUACIÓN

MARCA	LUNITEK, Italia
MODELO	<ul style="list-style-type: none"> • TRITON-M90-T • TRITON M110 T • TRITON-FB160-HHV
FUENTE DE INFORMACIÓN	Hoja técnica descargada de página web www.lunitek.it



ESPECIFICACIÓN TECNICA	Lunitek TRITON-M90-T:	Lunitek TRITON M110 T	Lunitek TRITON-FB160-HHV:
1.SENSOR TRIAXIAL DE ACELERACIÓN:			
Sistema de tres componentes ortogonales.	SI	SI	SI
Ancho de Banda: DC hasta 100 Hz o más.	SI	SI	SI
Rango dinámico mayor igual a 90 dB	SI	SI	SI
Rango de medición igual o mayor a $\pm 2g$	SI	SI	SI
2.SISTEMA DE REGISTRO:			
Frecuencia de muestreo: seleccionable a 50, 100, 200 muestras por segundo	SI	SI	SI
Resolución: mayor a 16 bits efectivos por canal:	SI	SI	SI
Modos de registro de eventos			
<ul style="list-style-type: none"> • Por nivel aceleración medida 	SI	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Por comparación de promedio de energía en ventanas de tiempo (Algoritmo STA/LTA) 	SI	SI	SI
Ventana de Tiempo de registro de 30 segundos antes del inicio del sacudimiento y 30 segundos después de cumplida la condición del fin del evento.	SI	SI	SI
Referencia de tiempo por GPS y oscilador interno compensado de alta estabilidad.	SI	SI	SI
Capacidad de Almacenamiento: mayor o igual a 4 Gigabytes, en dispositivo de memoria fijo o removible, colocado en el interior del equipo.	SI	SI	SI

Capacidad de Conectividad: puerto Ethernet con interface usuario vía web para el control, configuración y descarga de datos.	Si	Si	Si
3. SOFTWARE:			
Aplicativos para configuración y control.	SI	SI	Si
Convertidor de datos registrados por el equipo a formato MINISEED, ASCII, SAC.	SI	SI	Si
4. FUENTE DE ENERGÍA			
Externa 12 VDC; con cargador 220VAC.	SI	SI	SI
UPS dos (02) días	*	*	*

(*) Requiere batería externa



Acelerógrafo TRITON

Triton Accelerograph es un sistema integrado de adquisición de datos más sensor que fue concebido para aplicaciones donde se requiere una solución combinada y que ahorra espacio. Se consiguen niveles de ruido sísmico muy bajos gracias a que el sensor está blindado en el interior de la carcasa y al cableado corto.

Triton Accelerograph está disponible con MEMS o sensor acelerométrico de balance de fuerza mecánico verdadero. Dos rangos dinámicos diferentes están disponibles para el sensor MEMS 90dB y 110dB, mientras que el sensor de equilibrio de fuerza es de 160dB.

El Acelerógrafo Triton puede equiparse con entradas adicionales para 3 o 6 canales de 24 bits. En esta configuración, además del sensor interno, el instrumento se puede conectar externamente a otros dos sensores de alta dinámica.

FICHA DE EVALUACIÓN

MARCA

KINEMATRICS, USA

MODELO

- ETNA 2
- OBSIDIAN
- BASALT



FUENTE DE INFORMACIÓN

Hoja técnica descargada de página web
<https://kinemetrics.com/>

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	Kinemetrics ETNA2:	Kinemetrics OBSIDIAN:	Kinemetrics BASALT:
1.SENSOR TRIAXIAL DE ACELERACIÓN:			
Sistema de tres componentes ortogonales.	SI	SI	SI
Ancho de Banda: DC hasta 100 Hz o más.	SI	SI	SI
Rango dinámico mayor igual a 90 dB	SI	SI	SI
Rango de medición igual o mayor a $\pm 2g$	SI	SI	SI
2.SISTEMA DE REGISTRO:			
Frecuencia de muestreo: seleccionable a 50, 100, 200 muestras por segundo	SI	SI	SI
Resolución: mayor a 16 bits efectivos por canal:	SI	SI	SI
Modos de registro de eventos			
<ul style="list-style-type: none"> • Por nivel aceleración medida 	SI	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Por comparación de promedio de energía en ventanas de tiempo (Algoritmo STA/LTA) 	SI	SI	SI
Ventana de Tiempo de registro de 30 segundos antes del inicio del sacudimiento y 30 segundos después de cumplida la condición del fin del evento.	SI	SI	SI
Referencia de tiempo por GPS y oscilador interno compensado de alta estabilidad.	SI	SI	SI
Capacidad de Almacenamiento: mayor o igual a 4 Gigabytes, en dispositivo de memoria fijo o removible, colocado en el interior del equipo.	SI	SI	SI

Capacidad de Conectividad: puerto Ethernet con interface usuario vía web para el control, configuración y descarga de datos.	Si	Si	Si
3. SOFTWARE:			
Aplicativos para configuración y control.	SI	SI	Si
Convertidor de datos registrados por el equipo a formato MINISEED, ASCII, SAC.	SI	SI	Si
4. FUENTE DE ENERGÍA			
Externa 12 VDC; con cargador 220VAC.	SI	SI	SI
UPS dos (02) días	*	*	*

(*) Requiere batería externa



Next Generation of Web Based, Cost Effective, Strong Motion Accelerographs

El acelerógrafo ETNA de Kinematics estableció el mundo estándar para la grabación de movimiento fuerte durante casi dos décadas con más de 6000 instalaciones en todo el mundo. El ETNA 2 representa la próxima generación de acelerógrafos de clase ETNA ofreciendo monitoreo NUEVO y rentable basado en la web capacidades combinadas con otro Kinematics' establecido estándar mundial, el ejemplar acelerómetro EpiSensor.

El ETNA 2 es fácil de usar ya que fue diseñado pensando en el software de aplicación Rockhound implementado por primera vez en los instrumentos Basalt y continuó ahora en el nuevo Instrumentos de obsidiana.

ETNA 2 ofrece las funciones de acelerógrafo más esenciales apoyando una amplia gama de monitoreo de terremotos aplicaciones en un pequeño, ligero y fácil de usar paquete. Si está interesado en Alerta Temprana de Terremotos, en monitoreo estructural, en

estudios de réplicas o incluso en monitoreo de terremotos inducidos relacionados con el petróleo y el gas, y actividades de inyección de fluidos geotérmicos, el ETNA 2 es el indicado producto para usted.

FICHA DE EVALUACIÓN

MARCA	REFTEK, USA
MODELO	<ul style="list-style-type: none"> • 130-SMA • 130-SMHR • Registrador WRANGLER con acelerómetro triaxial 147A (Estos equipos juntos forman un sistema completo).
FUENTE DE INFORMACIÓN	Hoja técnica descargada de página web https://reftek.com/

ESPECIFICACIÓN TÉCNICA	REFTEK 130-SMA:	REFTEK 130-SMHR:	REFTEK Wrangler con 147A Triaxial
1.SENSOR TRIAXIAL DE ACELERACIÓN:			
Sistema de tres componentes ortogonales.	SI	SI	SI
Ancho de Banda: DC hasta 100 Hz o más.	SI	SI	SI
Rango dinámico mayor igual a 90 dB	SI	SI	SI
Rango de medición igual o mayor a $\pm 2g$	SI	SI	SI
2.SISTEMA DE REGISTRO:			
Frecuencia de muestreo: seleccionable a 50, 100, 200 muestras por segundo	SI	SI	SI
Resolución: mayor a 16 bits efectivos por canal:	SI	SI	SI
Modos de registro de eventos			
<ul style="list-style-type: none"> • Por nivel aceleración medida 	SI	SI	SI
<ul style="list-style-type: none"> • Por comparación de promedio de energía en ventanas de tiempo (Algoritmo STA/LTA) 	SI	SI	SI
Ventana de Tiempo de registro de 30 segundos antes del inicio del sacudimiento y 30 segundos después de cumplida la condición del fin del evento.	SI	SI	SI
Referencia de tiempo por GPS y oscilador interno compensado de alta estabilidad.	SI	SI	SI
Capacidad de almacenamiento: mayor o igual a 4 Gigabytes, en dispositivo de	SI	SI	SI

memoria fijo o removible, colocado en el interior del equipo.			
Capacidad de conectividad: puerto Ethernet con interface usuario vía web para el control, configuración y descarga de datos.	Si	Si	Si
3. SOFTWARE:			
Aplicativos para configuración y control.	SI	SI	Si
Convertidor de datos registrados por el equipo a formato MINISEED, ASCII, SAC.	SI	SI	Si
4. FUENTE DE ENERGÍA			
Externa 12 VDC; con cargador 220VAC.	SI	SI	SI
UPS dos (02) días	*	*	**

(*) Requiere adicionar una batería interna o externa.

(**) Requiere batería externa

REF TEK
SYSTEMS INC.

130-SMHR

STRONG MOTION ACCELEROGRAPH

REF TEK® strong motion and earthquake engineering products combine the 3rd generation Broadband Seismic Recorder (REF TEK 130S) and advanced low-noise force-balance accelerometers.



The 130-SMHR Strong Motion Accelerographs provide accurate and timely data and information for seismic events, including their effects on buildings and structures by employing modern monitoring methods and technologies. Both models are made for continuous monitoring of earthquakes and other seismic events, and the recording of strong earthquake shaking at ground sites, in buildings and critical structures.

The 130-SMHR advanced communications features include TCP/IP over Ethernet and Asynchronous Serial. An LCD continuously displays state-of-health and status information.

The 130-SMHR has three channels connected to an internal triaxial accelerometer. When ordered as a six-channel unit, the three additional channels can be connected to an external sensor.

The 130-SMHR family:

- » Has provision for an optional internal V.90 modem for communication over standard telephone lines;
- » Includes a battery charger for maintaining a lead-acid battery;
- » Is housed in an anodized aluminum instrument case with single point mounting and 3-point leveling.

KEY FEATURES

- » State-of-the-Art 24-Bit ADC
- » Wide Dynamic Range
- » Low Noise, Force-Balance accelerometer
- » Simultaneous Telemetry/Self Recording
- » IP over Ethernet and Asynchronous Serial
- » Embedded / Removable Mass Storage
- » Low Power

APPLICATIONS

- » Free Field Recording
- » Structural Monitoring
- » Dam Monitoring
- » Building Arrays
- » Telemetry Networks
- » Aftershock Studies

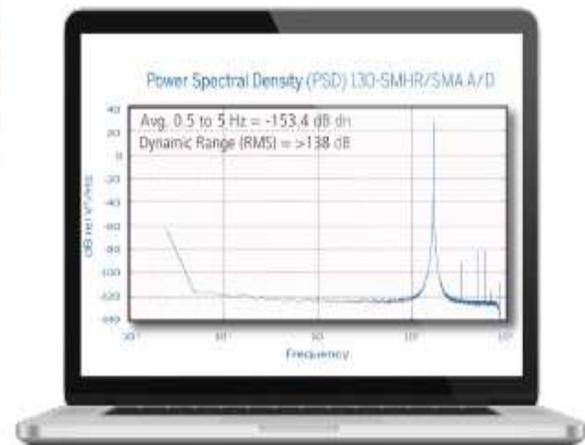
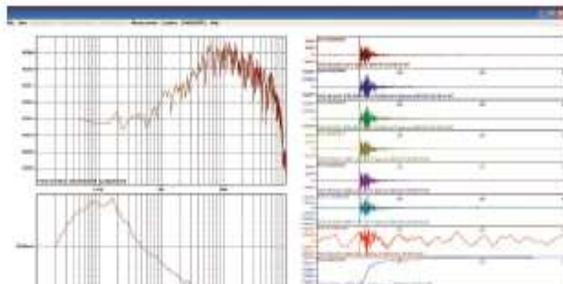
130-SMHR

STRONG MOTION ACCELEROGRAPH

SPECIFICATIONS	FULL FEATURED ACCELEROGRAPH, MODEL 130-SMHR (STANDARD)	ACCELEROGRAPH, MODEL 130-SMHR COMMAND LINE
RECORDING MODE		
Trigger Type	Continuous, Event (STA/LTA), External, Level, Time, Time List, Cross, and Vote Trigger (0.0001 to 4g)	Continuous, External, Level and Vote Trigger (0.0001 to 4g)
Media	Compact Flash, Ethernet	Compact Flash, Ethernet
Format	PASSCAL Recording Format	PASSCAL Recording Format
Relay Closure	N/A	3 Independently programmable relay closures
RECORDING CAPACITY		
Battery Backed SRAM	8 MB	8 MB
Flash Disk (2 per unit)	8GB or 16GB	8 GB or 16 GB
COMPLIANCE		
Compliance	CE	CE
INTERNAL ACCELEROMETER		
Type	Force-balance (Internal)	Force-balance (Internal)
Full Scale Range	> ±4 g	> ±4 g
Full Scale Output	±10V, 20 VPP	±10V, 20 VPP
Dynamic Range	>155 dB (DC to 2 Hz)	>155 dB (DC to 2 Hz)
Sensitivity	2.5V/g nominal (exact value in EEPROM)	2.5V/g nominal (exact value in EEPROM)
Linearity	< 0.03 % of full scale	< 0.03 % of full scale
Cross-axis Sensitivity	< 0.001 g/g	< 0.001 g/g
Frequency Response	Flat DC-100 Hz +/- 0.05 dB ; DC-250 Hz +/- 3 dB	Flat DC-100 Hz +/- 0.05 dB ; DC-250 Hz +/- 3 dB



COMPASS: Strong Motion Processing Software



Power Spectral Density

Acelerógrafo de movimiento fuerte de 24 bits

130-SMHR Strong Motion High Resolution Recorder proporciona datos precisos e información relacionada sobre eventos sísmicos, especialmente en lo que se refiere a edificios y estructuras.

El 130-SMHR cumple con las especificaciones del Sistema Sísmico Nacional Avanzado (ANSS) del USGS para estaciones de referencia de movimiento fuerte para su despliegue en áreas urbanas. También está certificado bajo el Programa de Instrumentación de Movimiento Fuerte de California (CSMIP) y el programa de Acelerógrafo del Departamento de Construcción y Seguridad de Los Ángeles (LADBS).

Ambos modelos están hechos para el monitoreo continuo de terremotos y otros eventos sísmicos, y el registro de fuertes sacudidas sísmicas en sitios de tierra, en edificios y estructuras críticas. Las características avanzadas de comunicaciones 130-SMHR incluyen TCP/IP a través de Ethernet y Serie asíncrona. Una pantalla LCD muestra continuamente información sobre el estado de salud y el estado. El 130-SMHR tiene tres canales conectados a un acelerómetro triaxial interno. Cuando se solicita como una unidad de seis canales, los tres canales adicionales se pueden conectar a un sensor externo.



Mientras que la interfaz de comando y control en el sitio (software iFSC) y la pantalla LCD permiten una configuración rápida y comprobaciones de estado, las opciones de comunicación mejoradas incluyen TCP / IP a través de Ethernet y comunicación serie asíncrona. El conjunto de software RTI permite la configuración remota y la recuperación y el análisis avanzados de datos.

Funciones

- Acelerómetro triaxial de bajo balance de fuerza de ruido
- Amplio rango dinámico, >155 db
- Oscilador de alta precisión para mantener el tiempo, preciso para $\pm 10 \mu\text{sec}$ con GPS bloqueado y fijación 3D
- Telemetría simultánea y grabación local
- Baja potencia
- Batería interna opcional para hasta 48 horas de energía de respaldo
- Almacenamiento masivo integrado / extraíble
- IP a través de Ethernet y serie asíncrona