

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DESPLIEGUE DE RED DE ACELEROGRAFOS EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO



Por:

Juan Sebastián Ruiz Bonilla



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA EL DESPLIEGUE DE RED DE ACELEROGRAFOS
EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO**

Por:

Juan Sebastián Ruiz Bonilla

Documento final presentado como opción de grado para optar al título profesional de
ingeniero civil

Aprobado por:

Germán Ernesto Chicangana Montón, MSc
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
VILLAVICENCIO
2020**

AUTORIDADES ACADEMICAS

Fray José Gabriel Mesa Angulo, O.P.

Rector General

Fray Eduardo González Gil, O.P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio Balaguera Cepeda, O.P.

Rector Sede Villavicencio

Fray Rodrigo García Jara, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Mg. Julieth Andrea Sierra Tobón

Secretaria de División Sede Villavicencio

I.C. Manuel Eduardo Herrera Pabón

Decano Sede Villavicencio Facultad Ingeniería Civil

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, por su guía en este camino como profesional, por su misericordia en los momentos difíciles.

A mi familia por el apoyo incondicional que tuvieron a lo largo de mi carrera como profesional, sé que el sacrificio que hicieron por mí es parte de un nuevo comienzo para seguir adelante en la vida sin importar cualquier obstáculo.

Al cuerpo docente de la Universidad Santo Tomas de la ciudad de Villavicencio por su compromiso diario, por enseñarnos valores como la honestidad, responsabilidad y la justicia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es mi proyecto de grado es un trabajo que se ha realizado de forma responsable con la ayuda de Dios primero que estuvo conmigo en todo mi proceso como profesional, agradezco a mi director de proyecto de grado Germán Chicangana que fue mi mentor gracias a su vocación como investigador, a mi familia ya que me incentivaron a esforzarme cada día, me ayudaron a centrarme en mi profesión y crecer como persona, este trabajo es el reflejo de las capacidades adquiridas por parte de la universidad Santo Tomas de Villavicencio, agradezco a la universidad ya que fue mi segundo hogar donde aprendí como ser eficaz, honesto y justo frente a cualquier ocasión que me pueda enfrentar en la vida.

Gracias a la vida que me enseñó que un nuevo triunfo es un escalón más que debo subir, a las personas que me apoyaron y siempre creyeron en mi con la realización de esta tesis.

Muchas gracias.

RESUMEN

El presente documento tiene como objetivo hacer un estudio de factibilidad de acelerógrafos en la ciudad de Villavicencio con base a una investigación previa de la ciudad, teniendo en cuenta parámetros importantes como lo es la sismología, de allí se emprende una investigación exhaustiva en las autoridades competentes de sismología como lo es el servicio geológico colombiano.

El estudio de factibilidad se comprende gracias a las utilizaciones de los dispositivos en ciudades que cuyo comportamiento del suelo es de alta sismicidad, con ello se hace una investigación de las ciudades que recurren a la utilización de estos dispositivos en las zonas que tienden a tener movimientos sísmicos fuertes. También es necesario conocer acerca de un poco de la historia de la ciudad frente a los sismos que han presentado a lo largo de muchos años.

Palabras claves: Microzonificación Geotécnica, Sondeos, Sismicidad.

ABSTRACT

The objective of this document is to carry out a feasibility study of accelerometers in the city of Villavicencio based on a previous investigation of the city, taking into account important parameters such as seismology, from there an exhaustive investigation is undertaken in the competent authorities seismology as is the Colombian geological survey.

The feasibility study is understood thanks to the use of the devices in cities whose soil behavior is high seismicity, with this an investigation is made of the cities that resort to the use of these devices in areas that tend to have movements strong seismic. It is also necessary to know a little about the history of the city in the face of earthquakes that have occurred over many years.

Key Word: Geotechnical Microzoning, Soundings, Seismicity.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	13
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	14
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
3.	JUSTIFICACIÓN	15
4.	OBJETIVOS.....	1
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	1
4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
5.	ALCANCE	2
6.	MARCO DE REFERENCIA.....	3
6.1.	MARCO TEÓRICO.....	3
6.2.	RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA.....	3
6.3.	CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE DATOS.....	3
6.4.	ELECCIÓN DE ACELERÓGRAFOS.....	4
6.5.	ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS.....	5
6.6.	MICROZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA.....	7
6.7.	MARCO CONCEPTUAL.....	8
6.8.	ESTADO DEL ARTE	9
6.9.	MARCO NORMATIVO	13
6.10.	MARCO GEOGRÁFICO.....	14
7.	METODOLOGÍA.....	16
7.1.	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA EN VILLAVICENCIO.....	16
7.2.	OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE LOS ANTECEDENTES OCURRIDOS EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO	17
7.3.	RECOPIACIÓN DE LOS TIPOS DE ACELERÓGRAFOS UTILIZADOS EN COLOMBIA	23
7.4.	RECOLECCIÓN DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LOS ACELERÓGRAFOS.....	27
7.5.	INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS ACELERÓGRAFOS.....	30
7.6.	RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES SÍSMICOS EN COLOMBIA.....	36
7.7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	40
8.	RECONOCER TODOS LOS REGISTROS SÍSMICOS EN APARTADO RURAL Y URBANA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO.....	43
9.	REALIZAR UN ANÁLISIS CRONOLÓGICO CON LOS REGISTROS ENCONTRADOS TENIENDO EN CUENTA LOS ANTECEDENTES MÁS CRÍTICOS.....	44
10.	RECOLECTAR INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA, GEOLÓGICA, SISMOLOGÍA, HIDROLÓGICA, GEOTÉCNICA DE VILLAVICENCIO.....	47
10.1.	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	47
10.2.	HIDROGRAFÍA	47

10.3.	SISMOLOGÍA.....	48
10.4.	GEOLÓGICA.....	52
11.	DETERMINAR EL TIPO DE ACELERÓGRAFO QUE PRESENTE MAYOR PRECISIÓN Y SE ADAPTE DE MANERA MÁS APROPIADA A UNA RED DESPLEGADA EN VILLAVICENCIO.	54
11.1.	TRIMBLE 130SMHR	54
11.2.	WALEKER SMA-551	54
11.3.	TRIMBLE 130-MC	55
11.4.	AMF-210.....	55
11.5.	KINEMATRICS.....	56
12.	RECOPILAR LAS NORMAS DE USO DE LOS ACELERÓGRAFOS EN CUANTO A LAS APLICACIONES DE OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL.....	59
13.	SUGERIR UN DESPLIEGUE DE RED DE ACELERÓGRAFOS PARA EL ÁREA URBANA DE VILLAVICENCIO CONFORME A LOS RESULTADOS ENCONTRADOS EN ESTE TRABAJO.....	62
14.	CONCLUSIONES.....	64
15.	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA.....	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Datos del Servicio Geológico Colombiano	29
Tabla 2 Continuación de la Tabla 1	29
Tabla 3 Continuación de la Tablas 1,2.....	30
Tabla 4 Datos generales de un sismo.....	31
Tabla 5 Sismos de magnitud mayor o igual a 8 EMS-98	38
Tabla 6 Sismos de magnitud mayor o igual a 8 EMS-98	39
Tabla 10 Registros sísmicos	43
Tabla 11 Continuación Tabla 10	43
Tabla 13 Zona de Amenaza Sísmica Alta	59
Tabla 14 Zona de Amenaza Sísmica Intermedia	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplo de eventos sísmicos	4
Figura 2 Formas espectrales de la roca.....	5
Figura 3 Evento magnitud y distancia	6
Figura 4 Evento magnitud y distancia	6
Figura 5 Ruido Sismico	10
Figura 6 Localización del sismo en la vega cauca	12
Figura 7 Red de acelerógrafos.....	12
Figura 8 Mapa del Municipio de Villavicencio a la izquierda y panorámica del centro de la ciudad a la derecha. Fuente: [20].....	14
Figura 9 Centro de la ciudad de Villavicencio	15
Figura 10 Distribución de intensidades año 1917	19
Figura 11 Intensidad de sismo ocurrido en el año 2016	20
Figura 12 Caída parcial de revestimiento en vivienda de bahareque	20
Figura 13 Separación de muros de bahareque.....	21
Figura 14 Perdida de recubrimiento en ventana y muro	21
Figura 15 Vereda Boca de la Zanja Caída de Rocas fuertes	22
Figura 16 Ruptura en terraplén vereda Ariari.....	22
Figura 17 Vista externa y dimensiones principales	24
Figura 18 Partes del dispositivo	24
Figura 19 Aumento de RNAC y numero de sismos 1993-2008	27
Figura 20 Catalogo de sitio web Servicio Geológico Colombiano.....	28
Figura 21 Formulario del SGC	28
Figura 22 Punto de actividad sísmica	30
Figura 23 Estructura del programa SAQ.....	32
Figura 24 Estado actual	33
Figura 25 Configuración de la estación.....	34
Figura 26 Administración de los archivos	35
Figura 27 Visualización de movimientos producidos por el suelo	36
Figura 28 plataforma de adquisición de información pertinente de acelerógrafos	37
Figura 29 Representación del sondeo previo por parte del acelerógrafo.....	40
Figura 30 Descripción de datos del acelerógrafo.....	41
Figura 31 Registro de la aceleración	42
Figura 32 Grafica de registro de aceleración	42
Figura 33 Cronología de registros sísmicos en Villavicencio	44
Figura 34 Fallas cercanas a Villavicencio	49
Figura 35 Mapa de Zonificación Sismo geotécnica.....	50
Figura 36 Aceleraciones espectrales de la zonificación.....	51
Figura 37 Acelerógrafo movimiento fuerte	54
Figura 38 Acelerógrafo movimiento fuerte	54
Figura 39 Acelerógrafo movimiento fuerte	55
Figura 40 Acelerógrafo movimiento fuerte	55
Figura 41 Acelerógrafo ETNA2.....	56
Figura 42 Localización del Dispositivo	60

Figura 43 Ubicación del Acelerógrafo	62
Figura 44 Ubicación del Acelerógrafo	63
Figura 45 Ubicación del Acelerógrafo	63

1. INTRODUCCIÓN

Villavicencio está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta y según la Norma de Construcciones Sismoresistentes - NSR-10, es una de las capitales con los mayores coeficientes de aceleración horizontal pico efectiva ($A_a=0.35$). Villavicencio a pesar de contar con un estudio de microzonificación sismo geotécnica indicativa, el cual se presentó a la Alcaldía de dicho municipio en el año 2002, hasta la fecha no cuenta con una red de acelerógrafos. En 1917 Villavicencio sufrió un sismo severo que determino pérdidas de vidas humanas y costos por los daños causados [1].

La sismología cuya definición es la ciencia que estudia los terremotos y sus fenómenos relacionados, comprende también historia y complementos estructurales, inicialmente dentro de los componentes de la tierra se encuentran las ondas, vibraciones, sondeos que son las características de los sismos también en algunos casos son llamados movimiento de fallas geológicas en toda la corteza terrestre.

En este trabajo se pretende elaborar la metodología para desarrollar un diseño de una red de acelerógrafos, recopilando información geológica y tectónica de la ciudad de Villavicencio. Se presenta también un breve análisis de los sismos que históricamente han afectado la ciudad la ciudad, con lo cual se hace un análisis de la vulnerabilidad de la misma. De esta manera se realiza un análisis que con base en el estudio previo de microzonificación sismo geotécnica indicativa, se propone el mejor diseño del despliegue de dicha red de acelerógrafos tanto en alcance como en número [1].

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Villavicencio muestra un alto riesgo por la ocurrencia de eventos sísmicos por lo que se cataloga como altamente vulnerable ante amenaza geológica.

Frente a lo anterior, Villavicencio carece de una red de acelerógrafos y en comparación a otras ciudades que también presenta alta sismicidad estas ciudades como por ejemplo Cali, Armenia o Popayán, entre otras, carece del principal elemento que sustenta el mejor espectro de diseño para su aplicación en el Código Colombiano de Construcciones Sismoresistentes - NSR 10, aportando de una segura el desarrollo urbano y optimizando un uso adecuado de suelo en el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio.

Pero la diferencia con las otras ciudades es la nueva utilización que poseen en tecnología con respecto a la utilización de estos acelerógrafos, esta diferencia la hace el departamento de Nariño que es la más demandante en la utilización de estos dispositivos, la demanda se puede evidenciar en la información que el Servicio Geológico Colombiano (SGC) muestra en su plataforma de datos abiertos [2]. Es por esto que se plantea la necesidad de acelerógrafos en Villavicencio ya que presenta una alta actividad sísmica cuya zonificación Aa es de 0.35, y por ende el monitoreo de geológico debe estar presente a la par con los demás departamentos que tengan las mismas características sismológicas.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Es factible implementar una red de acelerógrafos en el área urbana y rural en la ciudad de Villavicencio?

3. JUSTIFICACIÓN

Este proyecto de investigación tiene como prioridad fundamental proporcionar el estudio factible de acelerógrafos en la ciudad de Villavicencio ya que carece de la recopilación de información referente a la utilización y el despliegue de una red de los acelerógrafos en la ciudad, la ciudad de Villavicencio no cuenta con una herramienta óptima para poder definir con exactitud los espectros de diseño más apropiados en la aplicación del Código de Construcciones Sismo Resistentes en la ciudad.

En Villavicencio es importante desarrollar este tipo de investigaciones, ya que está catalogada como una ciudad de alto riesgo sísmico y es muy vulnerable, porque un alto número de sus edificaciones, fueron construidas antes de la implementación de los códigos de sismo resistencia en Colombia. Con los acelerógrafos se puede conocer el comportamiento del suelo, como las altas vibraciones que se presentan durante un lapso de tiempo, al ocurrir un sismo de gran magnitud cuya fuente sea lejana, o de magnitud menor cuando su fuente es cercana. Es claro indicar que la ciudad de Villavicencio no cuenta con los dispositivos suficientes para que las investigaciones y monitoreo en el área urbana y rural sean más eficientes a la hora de aplicar en la construcción de una obra y que siendo regulada de manera adecuada por las autoridades pertinentes.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Hacer un estudio de factibilidad para el despliegue de una red de acelerógrafos para la ciudad de Villavicencio.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reconocer todos los registros sísmicos en apartado rural y urbana en la ciudad de Villavicencio.
- Realizar un análisis cronológico con los registros encontrados teniendo en cuenta los antecedentes más críticos.
- Recolectar información demográfica, geológica, sismológica, hidrológica, geotécnica de Villavicencio.
- Determinar el tipo de acelerógrafo que presente mayor precisión y se adapte de manera más apropiada a una red desplegada en Villavicencio.
- Recopilar las normas de uso de los acelerógrafos en cuanto a las aplicaciones de obras de ingeniería civil.
- Sugerir un despliegue de red de acelerógrafos para el área urbana de Villavicencio conforme a los resultados encontrados en este trabajo.

5. ALCANCE

El proyecto analizará la sismología, la geología local, y los suelos, para con esta información poder diseñar una red acelerógrafos y poder evidenciar los movimientos y vibraciones que se puedan presentar en el área urbana de la ciudad de Villavicencio.

Hacer uso de grandes fuentes de investigación ya existentes acerca de la sismología y acelerogramas, para emplear esta información en el proyecto, delimitando informaciones no importantes, recopilar información actualizada, información legal y económica, para poder realizar la red de acelerógrafos de manera óptima y factible.

El proyecto tiene como finalidad entregar el diseño de una red de acelerógrafos para que el municipio pueda aplicar de manera óptima el Código de Sismo Resistencia vigente en la ciudad y ajuste de forma adecuada el uso del suelo en la misma con su Plan de Ordenamiento Territorial.

Conocer el uso de estos dispositivos con su respectiva normativa en procesos constructivos estructurales ya que hoy en día el tema de construcción vial, estructural, ambiental y/o publica se desea conocer el tema legal y normativo con referencia a cualquier actividad, ensayos o laboratorios. Conocer el uso económico de los acelerógrafos, hacer una comparación de diferentes dispositivos teniendo en cuenta rendimiento, costo de mantenimiento, prestación de servicio, durabilidad, para con esto poder definir la factibilidad que pueda tener un acelerógrafo en nuestra ciudad de Villavicencio.

6. MARCO DE REFERENCIA

6.1. MARCO TEÓRICO

6.2. RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA

En Bogotá en 1945 fue la primera vez la instalación del acelerógrafo, veinte años después en 1967 estados unidos tuvo la oportunidad de implementar un servicio geológico dando inicio la instalación de siete acelerógrafos entre Colombia y Panamá, dentro de esos cinco fueron instalados en ciudades como Cali, Medellín, Cartagena y Barranquilla.

La RNAC (RED NACIONAL DE ACELERÓGRAFOS DE COLOMBIA) dio su comienzo en el año 1993 iniciando con una instalación de 24 acelerógrafos en Colombia, diez y ocho de los cuales fueron controlados por INGEOMINAS. El trabajo es recopilar y emplear información que sea disponible en boletines de movimiento ya sea medio o fuerte, para poder acceder a la obtención de un registro de aceleró gramas se procede a rellenar una solicitud en donde contempla variadas características e información que se requieran [3].

6.3. CARACTERÍSTICAS DE LA BASE DE DATOS

La obtención de un boletín de un movimiento fuerte contiene una unos parámetros de fecha, hora, magnitud, profundidad y coordenadas de centro de la corteza terrestre, también contiene información acerca de la estación acelerografica cuyos parámetros son un código, coordenadas, distancia, aceleración máxima.

La Figura 1 Ejemplo de eventos sísmicos presenta la caracterización de los eventos registrados, en el eje de la x obtención de distancia y el eje de las y la magnitud y aceleración [3].

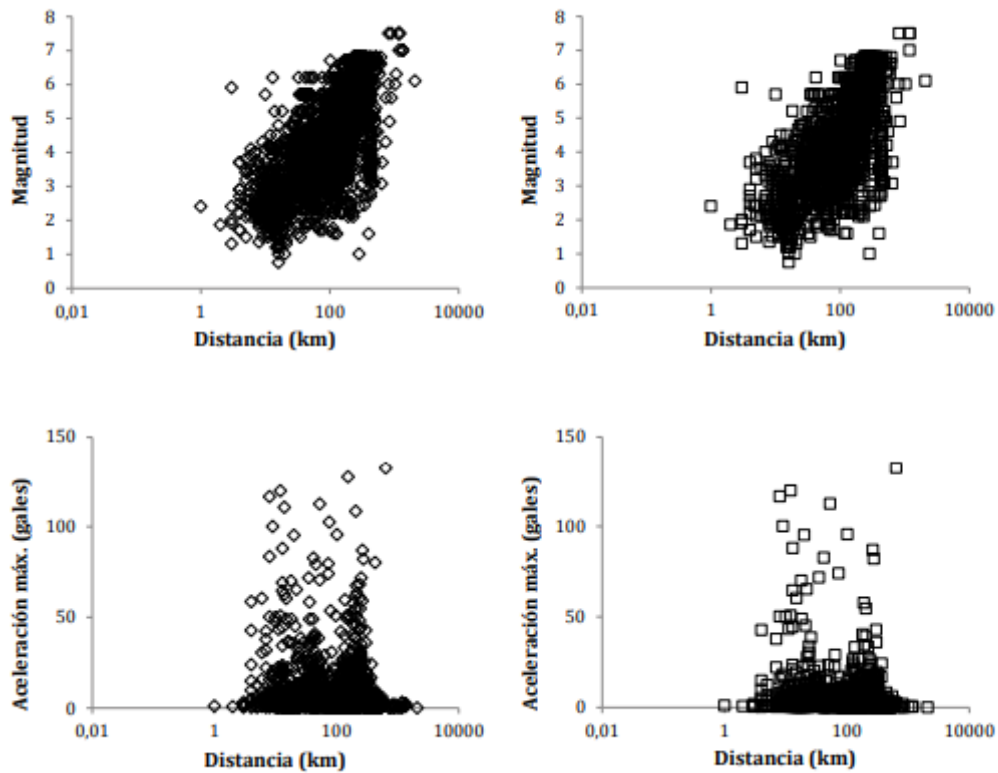


Figura 1 Ejemplo de eventos sísmicos

Fuente: [3]

6.4. ELECCIÓN DE ACELEROGRAFOS

La elección de los acelerógrafos de acuerdo a la norma colombiana está basada en parámetros sismológicos. Uno de estos parámetros es representar movimientos esperados del suelo en efecto deben provenir como el ejemplo de la figura anterior con magnitudes vs distancia. También contemplar espectros respuesta cuyas ordenadas espectrales deben estar entre 0,8 del periodo T y 1,2 T , T estos parámetros son catalogados como periodos constantes de vibraciones.

Para la ubicación de los acelerógrafos la norma colombiana define la aplicación en un terreno sísmico, el terreno debe contemplar un estudio o análisis de amenaza que represente el sismo claro y aplicativo esto se puede encontrar en el sistema geológico colombiano.

El criterio magnitud es la más influenciada en el espectro de respuesta, [4] sugiere usar valores de magnitud de más o menos de 0,25 unidades, ya que influye de forma contenida frecuencial. Por ende, si se aplica un sismo con características de magnitudes como de 0,25 unidades, habrá un alto nivel de energía en cuanto al sismo determinado.

El criterio de distancia también es importante ya que la aplicación es una forma espectral menos sensible a la de magnitud, la figura a continuación representa la aceleración vs distancia que determina claramente la sensibilidad de la forma espectral [3].

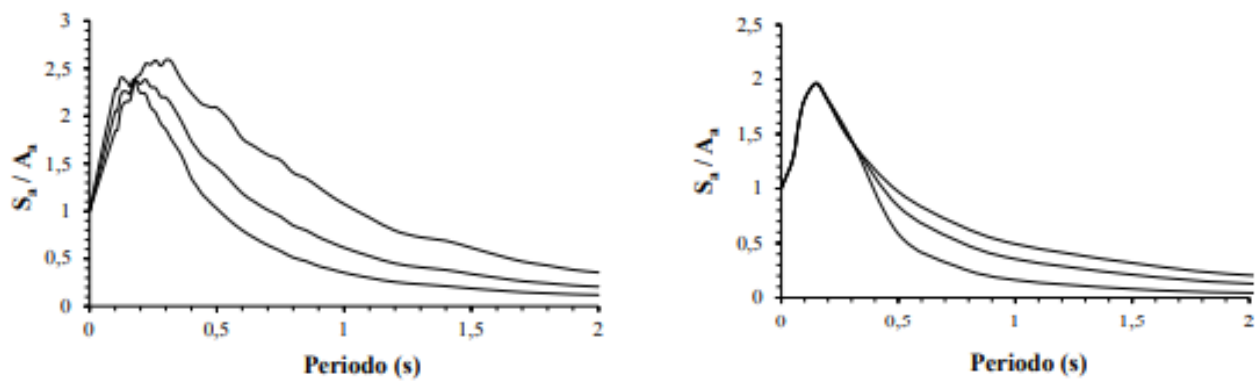


Figura 2 Formas espectrales de la roca

Fuente: [3]

Figura 2 Formas espectrales de la roca muestra un espectro de cómo es el comportamiento del suelo con respecto a un periodo y una aceleración, estas graficas ayudan a ver el comportamiento del suelo para ver el cambio que pueda estar sometido el suelo que presente la actividad sísmica.

6.5. ANÁLISIS DE LA BASE DE DATOS

Según la red nacional de acelerógrafos de Colombia muestra la inclusión de los métodos como por ejemplo distancia y magnitud, también el tipo de suelo, para el análisis se mostrará el ejemplo de un sismo de 0,2 unidades, contiene una magnitud de 20km de distancia, la siguiente figura representa muestra claramente los resultados, de seguido otra imagen mostrara la comparación de los registros en roca [3].

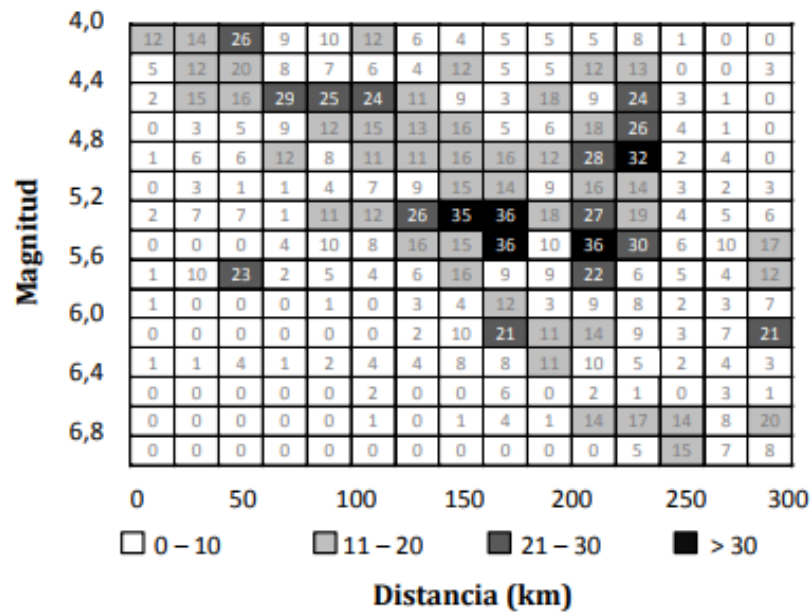


Figura 3 Evento magnitud y distancia
Fuente: [3]

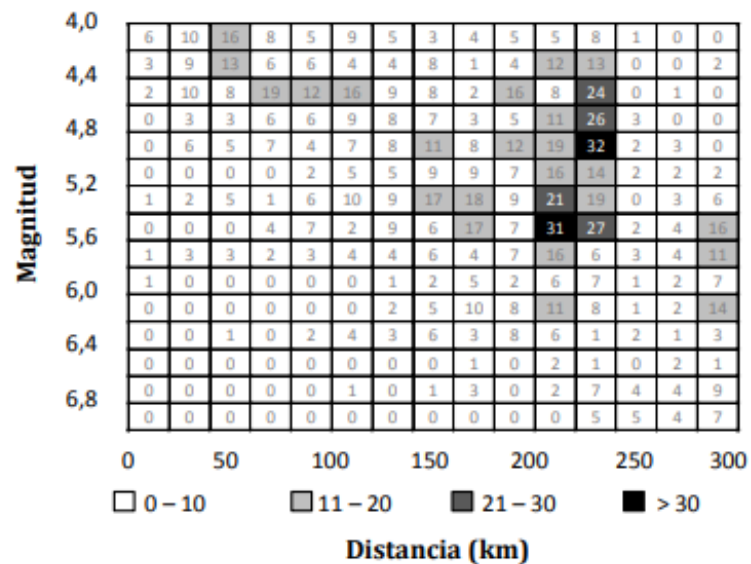


Figura 4 Evento magnitud y distancia
Fuente: [3]

En Figura 3 Evento magnitud y distancia se puede ver la disminución de los números de registros que se presenta de acuerdo con la obtención de datos de los acelerógrafos.

6.6. MICROZONIFICACIÓN SISMOGEOTÉCNICA

Se encarga de establecer las zonas con un comportamiento constante durante un sismo, donde se podrán definir recomendaciones precisas para cualquier diseño, también sirve para aquellos diseños de construcción con las normas actuales de resistencia.

La microzonificación sirve para definir qué tipo de afectaciones puede causar un deslizamiento, por ejemplo, en zonas montañosas las consecuencias más importantes es la del deslizamiento y avalanchas fuertes, esto genera amplificaciones de las ondas por efectos topográficos.

Por ejemplo, también en zonas donde hay mucha planicie es propenso a grandes amplificaciones de gran movimiento sísmico obviamente depende de la característica del sismo.

En el titulo A de la NSR-10 catalogan a Villavicencio zona de intensidad sísmica alta, demostrando un valor de aceleración de 0.25 para horizontal y 0.30 para horizontal pico efectiva.

La microzonificación se puede ver reflejado en la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastre (UNGRD), es muy importante ya que allí se tiene nuevas evaluaciones frente amenazas sísmicas en Colombia, hay nuevas actualizaciones frente al uso en nuevas normas colombianas de diseño Sismoresistentes NSR-10.

6.7. MARCO CONCEPTUAL

Acelerograma: Muestra valores de aceleración que se registran de un sismo, estos dispositivos se caracterizan por ser irregulares, tienden a tener amplitudes iniciales que crecen de manera rápida donde después alcanzan valores máximos que es donde uno determina los puntos críticos y se relaciona con un sismo severo de características como de terremotos después de ese nivel máximo vuelve y se detiene el movimiento y vuelve a su estado constante pero no es mismo [5].

Amenaza sísmica: Este término de amenaza sísmica es una probabilidad neutra o alta frente a una actividad sísmica, se puede decir como ocurrencia frente a una intensidad sísmica, es decir, las aceleraciones que presenta el suelo, las amenazas sísmicas se dan en un lapso de tiempo.

Dentro de los parámetros del proyecto se tiene en cuenta una recopilación de datos y para realizar un estudio de las actividades sísmicas altas es primordial contar con un listado sísmico de la ciudad de Villavicencio donde contemple datos de movimientos actualizados [6].

Intensidad sísmica: medida de efectos de un sismo sobre un área específica, esta medida se puede determinar como una magnitud que evalúa el tamaño en sí del terremoto, la intensidad se relaciona con una energía que es liberada y son transmitidas por las ondas reflejadas en una lectura sísmica [7].

Microzonificación sísmica: actividades para determinar niveles de amenazas sísmica y respuestas de los terrenos en un área determinada

Análisis cronológico: Consiste en recopilar información de movimientos sísmicos registrados en función del tiempo para diseñar la red de acelerógrafos.

Sondeo: Propagación de ondas pueden ser elásticas, son encontradas en el centro de la tierra o un área determinada.

Vibraciones: Es la representación de oscilaciones o movimientos repetitivos de un objetivo con referencia a un área determinada.

Espectros: mide la reacción de una estructura como respuesta a causa de las vibraciones del suelo

Sismógrafo: Es un aparato que sirve para registrar datos como intensidad, duración, y entre otras características de la tierra a causa de los temblores.

SGC: Servicio Geológico Colombiano, es una agencia encargada de realizar el estudio de los recursos naturales y de los peligros que estos amenazan.

6.8. ESTADO DEL ARTE

En el siglo XIX se construyó el primer sismógrafo su creador fue el físico inglés James David Forbes en el año 1841, su metodología se basa en péndulo invertido que en efecto cuando hay un temblor en el extremo de este hay un lápiz que desarrolla un dibujo que refleja las vibraciones del suelo. Al pasar los años de seguido en el año 1933 se implanto el primer acelerógrafo en Long Beach [8].

Un personaje importante en la rama de la geología es el Geólogo John Milne fue conocido como uno de los mejores contribuyentes para la evaluación de los terremotos, el desarrollo la primera red de datos sismológicos dando como creación al primer sismógrafo moderno en el mundo [9].

John Milne realizo estudios de compresión de la tierra sirviendo para ayuda a desentrañar las irregularidades de la tierra, dando evolución a lo que se conoce hoy en día como el centro sismológico internacional [9].

En Colombia en la actualidad las leyes y normas ante el tema relacionado a estructuras, movimientos de tierras, análisis de suelos entre otros se han postulado de manera estricta ya que se han demostrado deficiencias en las obras estructurales por factores de credibilidad, legalidad y honestidad en cuestiones de elaborar obras que la sociedad suple como crecimiento económico, social y/o necesidad. Unas de las normas influyentes es la NSR-10 en el literal B en efecto da la aprobación del tipo de instrumentos, designa al servicio geológico colombiano en las elaboraciones de edificaciones que lo requieran, en la actualidad la NSR-10 demanda la aprobación de 14 referencias para monitoreos de edificaciones.

Mukherjee y Gupta, dieron una propuesta muy iterativa para una modificación de un acelerograma real real con el compromiso que fuera compatible con los espectros de diseño. Esta modificación fue optima por la descomposición del acelerograma registrado a través de un análisis, donde contenía frecuencias adecuadas [10].

Montejo también presento un modelo alternativo con el énfasis de lograr una compatibilidad con un espectro objetivo, este objetivo en efecto fue descomponer los registros originales en detalles y en determinados periodos.

Se comprende una definición de amenaza sísmica gracias al peligro enlazado con un fenómeno natural, este se presenta en un área específica vs tiempo determinado, causando adversidades a bienes, personas y el medio ambiente. para poder identificar la participación de una amenaza sísmica se desea llevar a cabo estudios y recopilar información de comportamientos físicos de la fuente generadora de los sismos [11].

La vulnerabilidad cuya definición es la medida de susceptibilidad de los elementos expuestos a una amenaza, tiende a suplir daños o pérdidas, todo sistema constructivo esta susceptible a un sismo y por ende se categoriza como vulnerabilidad [11].

Riesgo sísmico cuya definición es la probabilidad de pérdidas de vidas y tiende siempre a presentarse pérdidas económicas, sociales, ambientales [11].

Estimación de los efectos locales en la zona de estudio [12] estos estudios son aplicados de forma experimental y numérico, normalmente para estos efectos se le aplica una metodología llamada Nakamura, este método sísmico de Nakamura [13], este método utiliza un dispositivo que se llama sismómetro que su característica principal es un velocímetro con cualidades de banda ancha donde este dispositivo graba el ruido sísmico rural y ambiental.

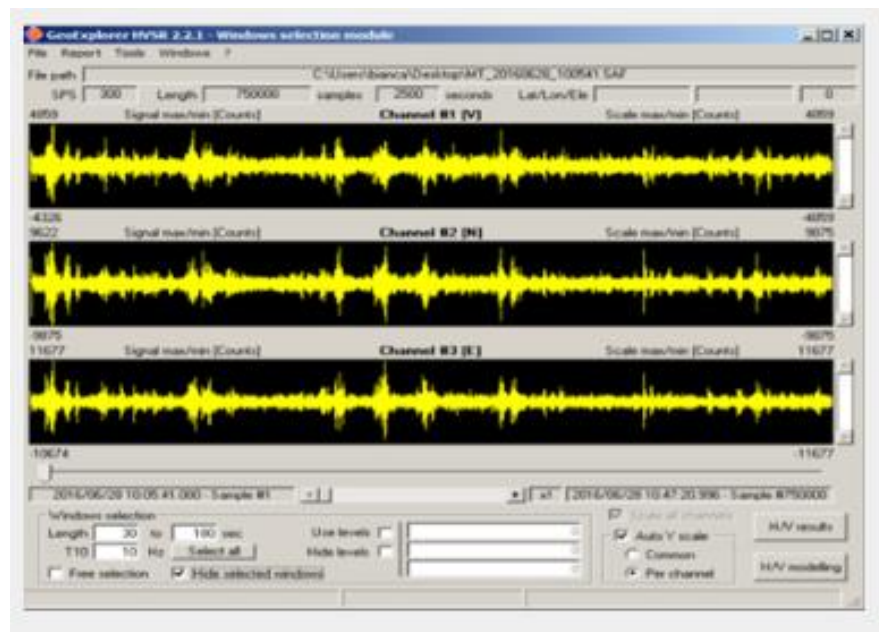


Figura 5 Ruido Sismico
Fuente: [13]

La Figura 5 Ruido Sismico muestra las velocidades sismológicas con características presentes de viento, oleaje y otras actividades como antropogénicas.

Según Nakamura las áreas de aplicación para un estudio detallado de sismología deben tener una definición de las frecuencias, las frecuencias deben ser de un lugar específico ya sea una edificación, tener un monitoreo en cuanto a las grandes vibraciones.

La recopilación de Datos es una manera viable para precisar una información puede ser en términos de amplificación de terreno, características del terreno en general se podría decir como geología superficial [14], con los datos obtenidos se pueden apuntar puntos de medición que su finalidad sería un análisis claro y preciso conllevado a elegir el mejor beneficio y seguimiento a las investigaciones aportadas para el estudio geológico, geotécnico del suelo.

En las algunas ciudades se han hecho análisis de señales de fuentes sismogénicas como San José de Cúcuta, Colombia, la investigación priorizo en el análisis del fenómeno sísmico que consiste en el proceso de liberación de la energía acumulada en las placas tectónicas, estas placas tectónicas son las que conforman la superficie terrestre producto de los deslizamientos, pero también son conocidas como aquellas fallas geológicas que se presentan en un lugar específico [15].

Las investigaciones realizadas en San José de Cúcuta se hicieron por medio de la señal de acelerogramas donde mostro el mecanismo de una ruptura en la fuente sismogénica adquiriendo parámetros sísmicos como fue el contenido frecuencial y distintas aceleraciones, también se realizaciones modelaciones teóricas frente a la propagación de las ondas sísmicas a través del suelo, después de haber obtenido dichos parámetros se inicia con una metodología de filtrado que se encarga de eliminar la información errada baja frecuencia que pueda generar un acelerógrafo, y por ultimo ya generada la correcciones de las frecuencias se obtiene el acelerogramas corregido para iniciar un proceso de digitalización en una computadora para obtener los espectros de diseño frente a desplazamiento y magnitud [15].

Otra ciudad representativa es la Vega Cauca que también tiene cuenta las aplicaciones de acelerógrafos, el antecedente primordial fue el 30 de setiembre de 2012 donde ocurrió un terremoto cuyo epicentro fue en la vega (Cauca), magnitud $M_w = 7.2$ a una profundidad de 160 km, el sismo fue registrado por las estaciones Vivero, transito salomia, bomberos norte, canchas panamericas y parque de las garzas, estas estaciones son registradas por la RAC (red acelerografica de Cali). Los registros acelerograficos de Cali fueron extraídos mediante un CD en formato original bajo las memorias de los equipos ETNA, este CD contenía la localización del evento, sismos y profundidades, conversión de archivos, correcciones básicas, análisis de respuesta, resultados finales [16].

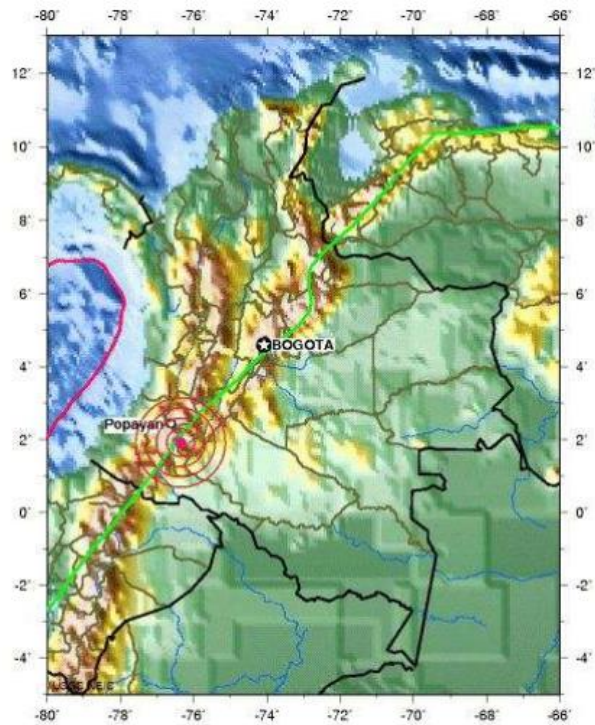


Figura 6 Localización del sismo en la vega cauca

Fuente: [16]

La Figura 6 Localización del sismo en la vega cauca muestra la magnitud y el desplazamiento que tuvo el sismo en Colombia como se puede evidenciar en el punto rojo y la extensión de la línea verde que tolera casi todo el departamento.

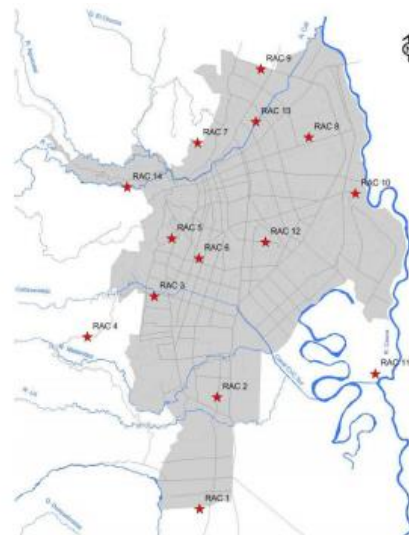


Figura 7 Red de acelerógrafos

Fuente: [16]

6.9. MARCO NORMATIVO

Ley 400 de 1997:

NSR-10 Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente.

NSR-10 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, A.2.7 uso de componentes horizontal de acelerógrafos. [17]

NSR-10 Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, A.2.7.1 movimientos esperados del terreno teniendo en cuenta, especifica espectros de respuesta de acelerogramas. [17]

RNAC Red nacional de acelerógrafos de Colombia, Apartado de boletines del año 1993-2009. [17]

NTC 04 2004 Espectro objetivo para zonas de lomas y zonas de lago. [18]

Decreto 2710 Del 26 de diciembre de 2014 por lo cual se liquida el presupuesto general de la nación [19]

6.10. MARCO GEOGRÁFICO

La ciudad de Villavicencio se encuentra en el centro de Colombia, ubicada en la región del piedemonte llanero colombiano, conforma una superficie total de 1338 km², la altura de este municipio es de 467 msnm se considera como media, su clima se considera tropical monzónico.

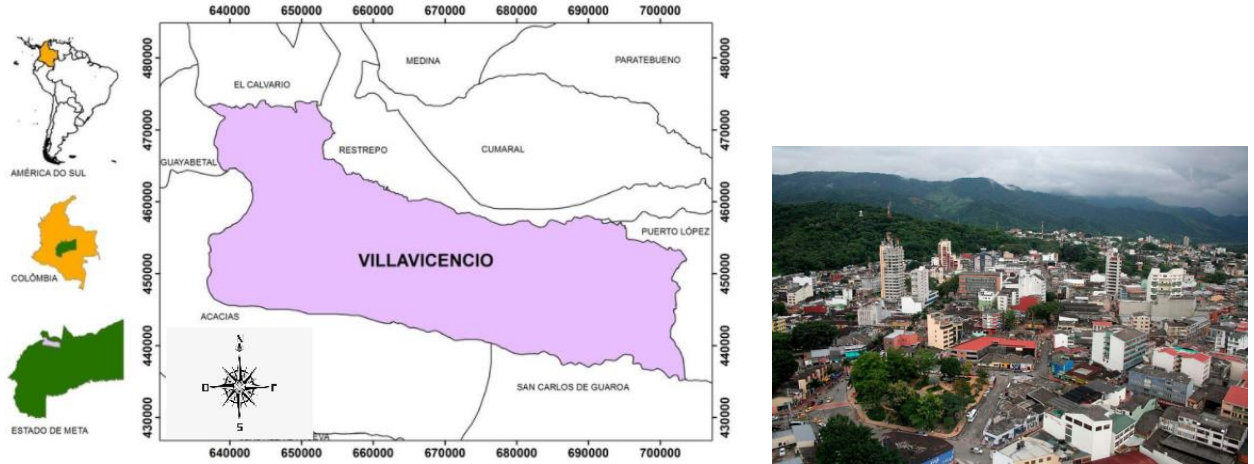


Figura 8 Mapa del Municipio de Villavicencio a la izquierda y panorámica del centro de la ciudad a la derecha. Fuente: [20]

La Figura 8 Mapa del Municipio de Villavicencio a la izquierda y panorámica del centro de la ciudad muestra las edificaciones que se encuentran en el centro de la ciudad de Villavicencio, estas edificaciones son de alta importancia a la hora de hacer un estudio de suelos ya que no se sabe cuánto tiempo han estado sin alguna intervención geológica, también no se sabe si cumplen con los parámetros sísmo resistentes, entonces es muy importante conocer el movimiento del suelo por medio de los acelerógrafos ya que nos permite estar más atento a movimientos significativos que el suelo pueda dar en un tiempo determinado.



Figura 9 Centro de la ciudad de Villavicencio

Fuente: [21]

Figura 9 Centro de la ciudad de Villavicencio se evidencia la magnitud de poblado con la que delimita la ciudad, hay una cosa muy importante de saberes que esta ciudad habitan gran cantidad de humedales que hacen que muchas edificaciones estén en riesgo de daños a sus estructuras, por ende, si hay humedad en el suelo pueden ocurrir deslizamientos más fáciles haciendo delimitar la vida útil de grandes edificaciones antiguas que se encuentran en Villavicencio, las zonas con arenas serán propensas a fenómenos como licuación en sismos.

7. METODOLOGÍA

De los parámetros calificados en el marco de referencia se plantea a abordar el desarrollo del proceso del estudio de factibilidad para el despliegue de red de acelerógrafos en Villavicencio, la metodología se desarrollará con el propósito de ayudar a desarrollar un despliegue óptimo, tendrá énfasis en como otras ciudades de Colombia aplican la red de acelerógrafos en los sitios que tienen gran movimiento sísmico.

7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA EN VILLAVICENCIO

La descripción del problema se comprendió como la primera fase para el despliegue de acelerógrafos en Villavicencio ya que nos permitió conocer los problemas que han tenido con base a los altos movimientos sísmicos.

El planteamiento estuvo de la mano con la metodología con base en obtener una descripción de varios aspectos geológicos y con base a la microzonificación de la ciudad frente al fenómeno de la amenaza sísmica que se encuentra en Villavicencio.

En este apartado se tuvo en cuenta también los aspectos concernientes a la valoración de la amenaza con base a las medidas de mitigación, la viabilidad económica en cuestión de aparatos o materiales de dispensación de trabajo.

Dentro del apartado de los objetivos específicos el primer paso que se realizó fue reconocer los sitios que tuvieran gran actividad sísmica en la ciudad de Villavicencio, dentro de las investigaciones que se realizaron se pudo determinar que el 79.30% del territorio del departamento del Meta está caracterizado como zona de alta actividad sísmica donde abarca fenómenos de alta y mediana intensidad, las áreas propensas a las actividades sísmicas fueron 23 de los 29 municipios del departamento del Meta, dentro de los 23 municipios se pudo evidenciar que 15 municipios estaban en el rango de zona de alto riesgo sísmico en los cuales la ciudad de Villavicencio se encuentra en la lista postulada.

Las investigaciones que se realizaron con referencia a la ciudad de Villavicencio se pudieron concretar que las fallas identificadas con más influencia en actividad sísmica son las de Servita, Santa María y Guaicaramo, esta investigación fue encontrada por parte del instituto geográfico Agustín Codazzi donde la gobernación del meta editó y expuso a la comunidad del departamento. Este documento nos permite conocer la longitud que tiene la falla Servita y Santa María, tiene una longitud de 180km que en su inicio de actividad está en Cumaral y su finalidad es en el norte de Santa María Boyacá.

Otros enlaces de fallas que se encontraron en la investigación fueron la del segmento de Colepato, Servita, el municipio de Acacias y Guayuriba, se había mencionado una falla denominada Guaicaramo, esta falla comprende una división de tres segmentos, es decir, la parte norte, centro y sur donde la parte del centro tiene una extensión de 80 kilómetros.

7.2. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN DE LOS ANTECEDENTES OCURRIDOS EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO

En este apartado se realizará una recopilación investigativa de los antecedentes ocurridos en Villavicencio con base a movimientos sísmicos de gran alto impacto, cuando se habla de antecedentes es en base a la historia transcurrida en la geología con la ciudad de Villavicencio, esto lo determina INGEOMINAS, esta entidad entrega a las autoridades locales una primera fase que se le denomina microzonificación sismo geotécnica. También la recopilación se encuentra en una entidad llamada ESTACIONES RED NACIONAL DE ACELEROGRAFOS, en ella contiene diferentes localizaciones e infinitos detalles de los dispositivos de cada estación sismológica y acelerografica que haya en la ciudad de Villavicencio. En la profundización del tema se encontró artículos que desenvuelve la presencia de los sismos en Villavicencio mediante artículos investigativos por parte del Ingeniero de minas German Chicangana Montón, estas investigaciones son muy importantes a la hora de delimitar el área de estudio competente a las presencias de sismos más elocuentes en Villavicencio.

Cabe mencionar que Villavicencio sufrió una actividad sísmica alta en el año 1917 y 1923 donde un 47% fue un resultado negativo para la ciudad, para un dato más actual en el año 2019 en el mes de diciembre se presentó un sismo de 6.2 en la escala de Richter, no obstante la intensidad no genero daños graves a la ciudad, el SGC (servicio geológico colombiano) mantuvo un monitoreo constante las 24 horas donde el dictamen del monitoreo arrojó un número de 43 réplicas luego de que haya ocurrido el temblor en la ciudad de Villavicencio.

En las investigaciones que se realizaron frente a los movimientos sísmicos en Villavicencio se encontraron unas evidencias geotectónicas de diferentes fallas cercanas a Villavicencio, este término utilizado geotectónico significa una deformación de la corteza que se encuentra en la serranía de las Palomas cuya ubicación geográfica es al noreste de la ciudad de Villavicencio, esta falla tiene una longitud de 130km [22].

La falla servita es una de las principales frente a la deformación en el piedemonte llanero con una longitud de 138 km , su composición geológica es de un buzamiento cuya definición es un ángulo que forma la línea de máxima pendiente de una falla con una proyección sobre un plano horizontal y también es listrica cuya definición es un aplanamiento hacia la profundidad, esto quiere decir que esta falla tiene una cumbre de iniciación desde hace más de 2 millones de años cuya propagación de movimiento es de 2.1 mm/año [22].

Referente a una recopilación con el sistema geológico colombiano se encontró un sismo ocurrido el 31 de agosto del año 1917, un sismo que se sintió fuerte en el centro del país que tuvo afectación en poblaciones cerca al departamento del meta y Cundinamarca, donde en la ciudad de Villavicencio la mayoría de las poblaciones y construcciones estuvieron averiadas y la mayoría colapsaron, se registraron 300 edificaciones averiadas, 40 totalmente destruidas, este sismo dio vía a un deslizamiento en la cordillera oriental en la vereda Nazareth donde sepulto personas, viviendas y animales. En ese mismo año del mes de septiembre se reportó otro sismo que llevo a Ricardo Codazzi concluir que la zona es de alto grado sísmico.

El sismo ocurrido en el año 1917 fue evaluado con el parámetro de escala de intensidad macro sísmica, que es conocida como EMS-98 donde evalúa la intensidad sísmica de los terremotos, esta escala indica el grado con la cual un terremoto afecta un lugar específico. Dado a esto la intensidad según el EMS-98 dio un valor de IX, este valor quiere decir que es devastador con la cual la mayoría de los edificios presentan grandes daños por categorías, las categorías presentadas para este avaluaron son de vulnerabilidad C, D, E, F con daños de grado 5,4,3,2.

La descripción precisa de este suceso con relación a daños fue de la iglesia principal, el palacio episcopal, casas y edificios destruidos, la casa cural tuvo un colapso total, en la iglesia de Nuestra Señora del Carmen murieron 7 personas. Villavicencio estuvo alerta gracias a la presencia de sismos hasta el mes de septiembre.

En el año 1988 del mes marzo del día 19 se presencié otro sismo con límite de los departamentos del Meta y Cundinamarca, donde estuvieron afectadas poblaciones como el Calvario, y la inspección de San Francisco del mismo municipio, este sismo no reporto personas fallecidas, el sismo ocurrido en el Calvario dio por cuestionar que el poblado de 3 mil habitantes tiene mucha actividad sísmica con la que se le da a postular como alerta alarmante por zona de riesgo.

A continuación, se podrá ver el comportamiento del sismo de 1917.



Figura 11 Intensidad de sismo ocurrido en el año 2016
Fuente: [24]

A continuación, se podrá ver la magnitud de daño que hizo tal sismo del año 2016 esto con fin de mostrar el daño económico frente a la crisis de vivienda.



Figura 12 Caída parcial de revestimiento en vivienda de bahareque
Fuente: [24]



Figura 13 Separación de muros de bahareque
Fuente: [24]



Figura 14 Perdida de recubrimiento en ventana y muro
Fuente: [24]



Figura 15 Vereda Boca de la Zanja Caída de Rocas fuertes
Fuente: [24]



Figura 16 Ruptura en terraplén vereda Ariari
Fuente: [24]

7.3. RECOPIACIÓN DE LOS TIPOS DE ACELERÓGRAFOS UTILIZADOS EN COLOMBIA

En la actualidad en el campo comercial frente a los instrumentos de monitoreo automatizado que contienen sensores ambientales que son utilizados en el campo de la geología, nos encontramos con el acelerograma ETNA de kinematics estos instrumentos a lo largo de muchos años han prestado el servicio en más de 6000 instalaciones en todo el mundo. Para la nueva era de la tecnología nos encontramos con el ETNA2 que nos ofrece un monitoreo basado en la web, es fácil de usar ya que fue diseñado por un software cómodo y práctico llamado Rockhound, este software está diseñado para poder adquirir flujos de datos en el tiempo real, por medio de uno o más digitalizadores y así poder efectuar funciones vitales que son indispensables para el usuario, este software puede incluirse en los sistemas actuales operativos que hay en el mercado de Windows. [25], [26].

Tiene características como grabación continua, grabación de eventos, telemetría cuyo trabajo es la medición de distancias por medio del telemetro, y por último permite obtener una interfaz para el procesamiento posterior.

Este dispositivo adquirió unos datos de aceleración con una resolución de banda de 18 bits, los datos fueron almacenados en una tarjeta de PCMCIA cuya característica es una tarjeta de red de almacenamiento que muestran los registros en una computadora vía modem.

Este acelerógrafo tuvo un método de instalación práctica, este incluye un sensor triaxial, se necesitó para el anclaje en el sitio un tornillo de $\frac{1}{4}$ ubicado en la base. A continuación, se muestra una imagen que muestra la vista externa y las dimensiones principales para tener un buen anclaje y dirección de orientación para obtener mediciones acerca de un sitio específico.



Figura 17 Vista externa y dimensiones principales
Fuente: [27]

El procedimiento que se realizó fue un taladrado con una broca de 1/4 esto es para un aseguramiento en una lámina de anclaje hacia una profundidad de 6cm, se orienta el dispositivo mediante la burbuja con respecto a las coordenadas del sitio, se vuelve a la verificación de nivel para tener una medición óptima en los datos, se inicia el sistema seguido de configuración del sistema y generación de test de funcionamiento y finalmente se concluye con la operación de toma de datos del terreno.



Figura 18 Partes del dispositivo
Fuente: [27]

El mantenimiento que se hace después de que se utilizó el acelerógrafo es verificar todas las partes del dispositivo como se muestra en la figura 2, verificar el funcionamiento de cada conexión y unidad.

La utilización del dispositivo contiene las siguientes características:

- Alimentación por medio de una batería de 12v 7.5 Ah, su consumo es de 0.5w a 12VDC
- Disparo tipo Trigger que su función es seleccionable e independiente para cada canal
- Memoria PCMCIA
- Tiempo con precisión aproximada 1 useg/sg
- Indicadores con periodo variable
- Comunicación por medio de interfase RS-232
- Autodiagnóstico de verificación de estado de las memorias de recepción de información
- Etapa analógica
- Digitalizador de resolución de 23bits, 16

A la hora de la utilización del dispositivo se tuvo en cuenta unos parámetros de seguridad de utilización por parte del fabricante:

- Las fuentes de energía no se pueden reemplazar.
- A la hora de iniciar el dispositivo no se puede utilizar elementos metálicos ya que puede ocasionar cortos a las baterías de los dispositivos.
- La conexión del dispositivo debe hacerse en una instalación que contenga un polo a tierra para más tema de seguridad.
- Los cables de conexión deben estar en perfectas condiciones.
- Utilizar fusibles de buena calidad para evitar sobrecargar.
- Para hacer un mantenimiento adecuado desconectar todo el dispositivo.
- El dispositivo no debe estar en una zona de gases explosivos a la hora de su utilización.

Con base a la información que nos arroja el acelerógrafo es importante conocer el sistema de monitoreo en obras de ingeniería civil, es por eso que hay una instrumentación geotécnica que valora la salud estructural, el SSI representante para Colombia con las líneas REF TEK nos ofrece gran variedad de instrumentos sísmicos como los acelerógrafos, sensores sísmicos, sismógrafos, acelerómetros entre otros, los equipos de la línea REF TEK cumplen con el requisito exigido por el reglamento Colombiano de construcción sismo resistente- Norma NSR-10, cuya aprobación viene también de parte del Servicio Geológico Colombiano-INGEOMINAS.

Cuando se habla de la salud estructural es de un monitoreo persistente en tiempo real con la condición de obtener información del desempeño de la estructura, se emplean acelerógrafos que van teniendo un registro de datos con respecto a los movimientos presentes en la zona y enlazado con una recolección de datos de la estructura presente, este sistema es sofisticado para mitigar el riesgo de desplome de estructuras ubicadas en zonas de alto riesgo sísmico, por ende la utilización de estos acelerógrafos permite identificar, ubicar y cuantificar daños y predecir el resto de la vida útil de la estructura.

El sistema de REF TEK se compone de un sistema de instrumentación electrónica especializada para el registro de las vibraciones hacia la estructura, el servicio constante de monitoreo estructural con base a análisis de datos. El beneficio que nos da este tipo de acelerógrafos es tener una reducción del riesgo e incrementar una seguridad estructural, buena valorización en apartado tecnológico, cumplimiento del reglamento NSR-10, extensión de vida útil de estructuras.

Para dar cumplimiento a la metodología de conocer el uso de los acelerógrafos en Colombia se recopila en la primera base de datos de la línea de red de acelerógrafos en Colombia desde el año 1994-2008 donde la operación comenzó con 16 estaciones digitales, en la actualidad cuenta con 97, de las 97 26 están en constante conexión donde permite enviar información a Bogotá que es una de las centrales.

A continuación, en la imagen se puede evidenciar una línea de tiempo de los sismos ocurridos en Colombia con base la obtención de estaciones puestos en Colombia [28].

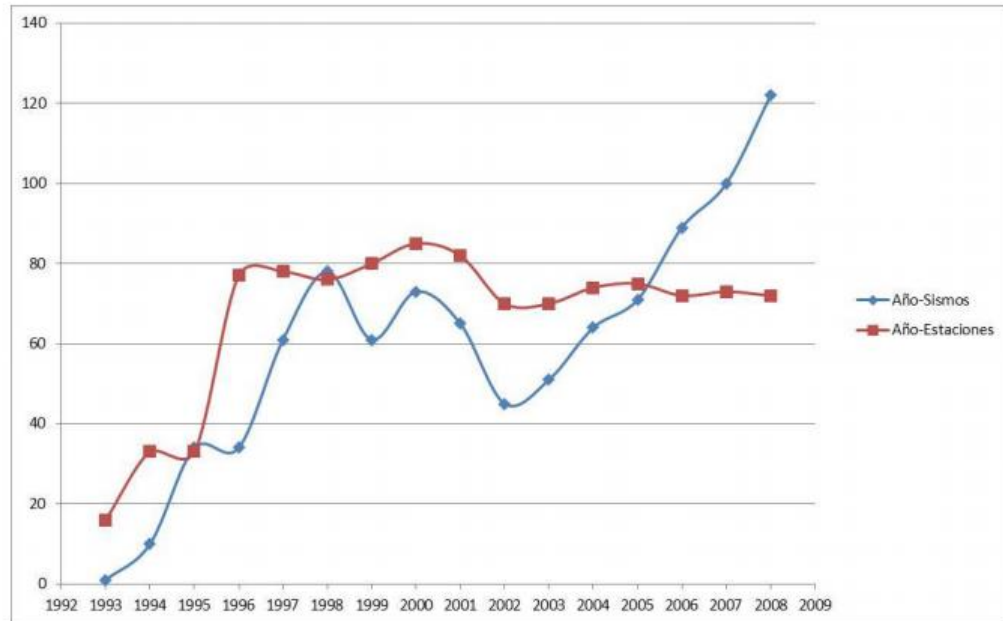


Figura 19 Aumento de RNAC y numero de sismos 1993-2008

Fuente: [29]

Desde el periodo de 1993-2008 el funcionamiento de los acelerógrafos era con base a unos boletines anuales que contenían información de movimientos fuertes, esta información era corroborada con una visita de campo a cada estación para poder hacer el desfase ya que los equipos no tenían las características de transmitir en tiempo real, las visitas eran mínimo 2 veces al año.

7.4. RECOLECCIÓN DE LOS DATOS SUMINISTRADOS POR LOS ACELERÓGRAFOS

En este apartado de datos recopilados influye una serie de factores que enseña la base de datos de la RNAC, y es un diseño de datos para el almacenamiento, monitoreo y gestión, esto permite una sistematización masiva de los datos procesados de acuerdo con el criterio a desarrollar.

Frente a una utilización constante el mantenimiento fue hacer una configuración especializada en el dispositivo por parte del fabricante.

El apartado se puede distinguir en los siguientes componentes como el procesamiento de los archivos, base de datos, modelos, módulo de información y despliegue de información en web del SGC.

Los componentes contienen un banco de datos cuya demostración es la aceleración en formato ASCII, que es un sistema de caracteres alfanuméricos donde hay una asignación de 0 al 127, estos datos los contempla la RNAC cuyo procesamiento es permanente en cuanto a graficas de aceleración entre otros parámetros.

El modelo entidad relación también es uno de los componentes que da un resultado y análisis, se compone mediante unas tablas que contiene unos parámetros como la localización de cada uno de los eventos sísmicos [29].

El Servicio Geológico Colombiano da la facilidad de obtener información de cualquier acelerógrafo puesto en Colombia, es un catálogo de sismicidad que se compone en dos diferentes periodos, el primer periodo se comprende del 1 de junio del año 1993 y el 28 de febrero del año 2018, la información presentada es gracias al software Earthworm, el segundo catalogo se comprende desde el 1 de marzo del año 2018 hasta la fecha actual, el software que utiliza es Seisomp3.

A continuación, se verá los pasos para poder adquirir los datos que genera los acelerógrafos en Colombia.

- Catálogo sísmico: 1 Junio de 1993 - 28 Febrero de 2018
- Catálogo sísmico: 1 Marzo de 2018 a la fecha
- Catálogo línea base de sismicidad: Valle Medio del Magdalena y La Loma Cesar

Figura 20 Catalogo de sitio web Servicio Geológico Colombiano
Fuente: [24]

Seleccione el Departamento - Municipio					
SELECCIONE EL DEPARTAMENTO			SELECCIONE MUNICIPIO		
Rango Tiempo					
Fecha Mínima			Fecha Máxima		
Día	Mes	Año	Día	Mes	Año
<input type="text"/>			<input type="text"/>		
Parámetros avanzados					+

Consultar

Figura 21 Formulario del SGC
Fuente: [24]

Las tablas que se muestran a continuación son datos de la ciudad de Villavicencio con respecto al catálogo sísmico número uno que va desde el año 1993 a 2018, los datos se concibieron con los años 2014 a 2017, esto con el fin de mostrar como son los datos que nos permite conocer el Servicio Geológico Colombiano.

Tabla 1 Datos del Servicio Geológico Colombiano

FECHA	HORA_UTC	LATITUD (grados)	LONGITUD (grados)	PROFUNDIDAD (Km)	MAGNITUD MI	MAGNITUD Mw
2014-06-12	06:30:41	4.189	-73.705	0.1	4.3	4.3
2014-08-15	07:51:48	4.217	-73.675	12.8	1.3	
2014-12-23	23:50:21	4.231	-73.679	0.0	2.0	
2015-08-20	06:24:32	4.075	-73.552	1.1	1.5	
2016-01-06	00:24:43	4.207	-73.714	0.0	1.5	
2016-02-04	14:07:40	4.187	-73.702	0.0	2.8	3.2
2017-03-21	07:37:44	4.176	-73.719	0.0	2.8	

Fuente: [24]

Tabla 2 Continuación de la Tabla 1

DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	# FASES	RMS (Seg)	GAP (grados)
META	VILLAVICENCIO	28	0.90	57
META	VILLAVICENCIO	4	0.40	198
META	VILLAVICENCIO	14	0.80	71
META	VILLAVICENCIO	8	0.40	180
META	VILLAVICENCIO	9	0.50	78
META	VILLAVICENCIO	20	0.40	70
META	VILLAVICENCIO	23	1.20	71

Fuente: [24]

Tabla 3 Continuación de la Tablas 1,2

ERROR LATITUD (Km)	ERROR LONGITUD (Km)	ERROR PROFUNDIDAD (Km)	ESTADO
4.2	5.6	6.8	Revisado
3.3	8.2	6.6	Revisado
3.1	3.9	5.3	Revisado
3.5	1.9	2.7	Revisado
2.7	2.5	4.3	Revisado
2.3	2.4	3.4	Revisado
4.8	5.1	7.4	Revisado

Fuente: [24]



Figura 22 Punto de actividad sísmica

Fuente: [24]

La recopilación de datos que se obtuvo es con base a los movimientos sísmicos desde el año 2014 a 2017 es decir se hizo una recopilación del primer catalogo que nos pueda aportar el Servicio Geológico Colombiano.

7.5. INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS ACCELERÓGRAFOS

Seguido del análisis de datos la hora de hacer una interiorización de los datos, fue importante generar un lineamiento de los datos de la estación, descripción del sismo, datos de los acelerogramas y ver la familia de los acelerogramas.

Primeramente, la descripción del sismo fue la representación de los datos de referencia en lugares de presentación de sismos en la ciudad de Villavicencio, también se encontró los datos de la estación que contiene el código de la estación así como su nombre, la geología, topografía y las coordenadas de la estación predestinada, y por último la familia de acelerogramas se presenta de acuerdo a la envergadura de la información a recopilar, normalmente se mantiene en una cama de 7 acelerogramas que conforman una base para determinar el comportamiento que presenta la ciudad de Villavicencio.

Tabla 4 Datos generales de un sismo

Localización	Tiempo de origen	Hora local	Latitud	longitud
Profundidad	Magnitud ml	Estación de registro	Aparato de registro	Geología

Fuente: [30]

La tabla número 4 anterior muestran los parámetros más importantes que se deben tener en cuenta en una lectura de un dato sismológico, localización ya que es indispensable conocer el área de actividad, tiempo de origen es revisar los antecedentes de dicha área en cuestión de movimientos sísmicos, hora para determinar parámetros como aceleración.

La interpretación de los datos se puede encontrar mediante un software especializado que tiene unas funciones de configuración, recuperación y visualización para poder aportar un buen análisis de los datos obtenidos obviamente de manera fácil y precisa, el software utilizado es de configuración CMAC-02 enlazado con una configuración SAQ V1.0, esta configuración es un programa que representa documentos múltiples donde permitió ver varias copias en una misma interfaz.

El programa contiene unas lecturas de las siguientes carpetas:

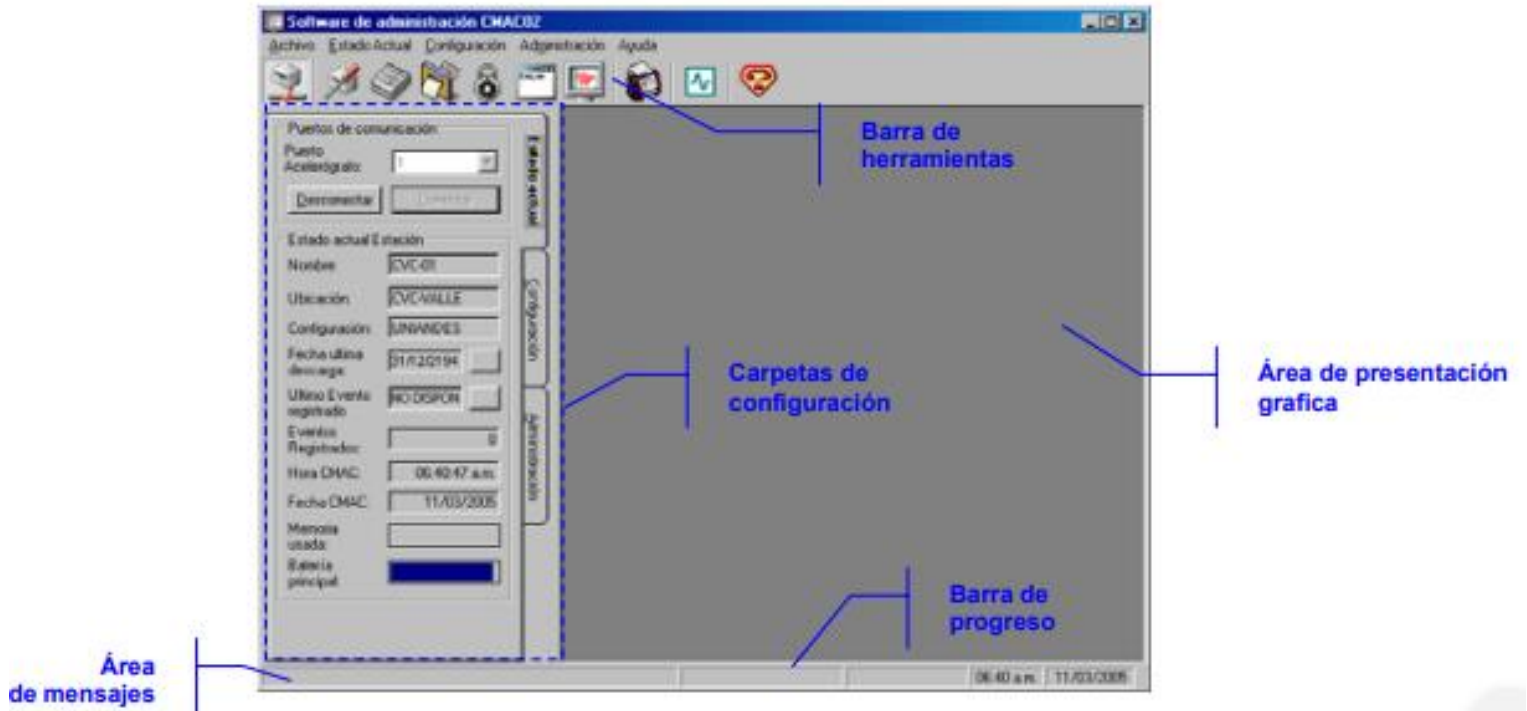


Figura 23 Estructura del programa SAQ
Fuente: [27]

La Figura 23 Estructura del programa SAQ mostro las carpetas que puede mostrar el software a la hora de recopilar información, muestra el estado actual también muestra la configuración donde se maneja los datos almacenados en un disco.

A la hora de dar inicio el procedimiento fue seleccionar el puerto del acelerógrafo pertinente seguido a dar configuración del estado actual, cuando la configuración se realizo es donde se realiza la conexión optima.

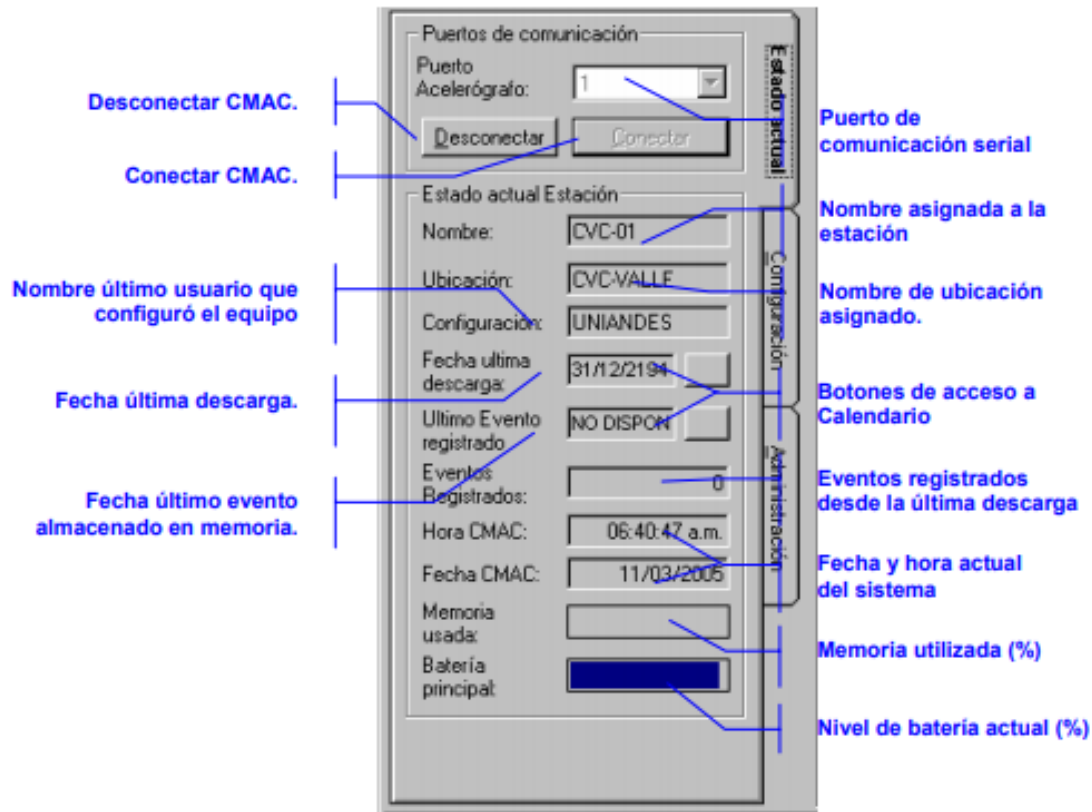


Figura 24 Estado actual

Fuente: [27]

La Figura 24 Estado actual nos sirvió para mostrar todos los aspectos de hardware, su objetivo principal es brindar información completa en una sola ventana.

Da acceso a información de estado actual también nos brinda la capacidad de descargar datos, volver a configurar y hacer un breve mantenimiento en la base de datos almacenada.

Los datos descargados son solo de una visualización es decir arroja información última tomada sin alternaciones de otras fechas, una vez obtenido la información se procedió a liberar la conexión del dispositivo.

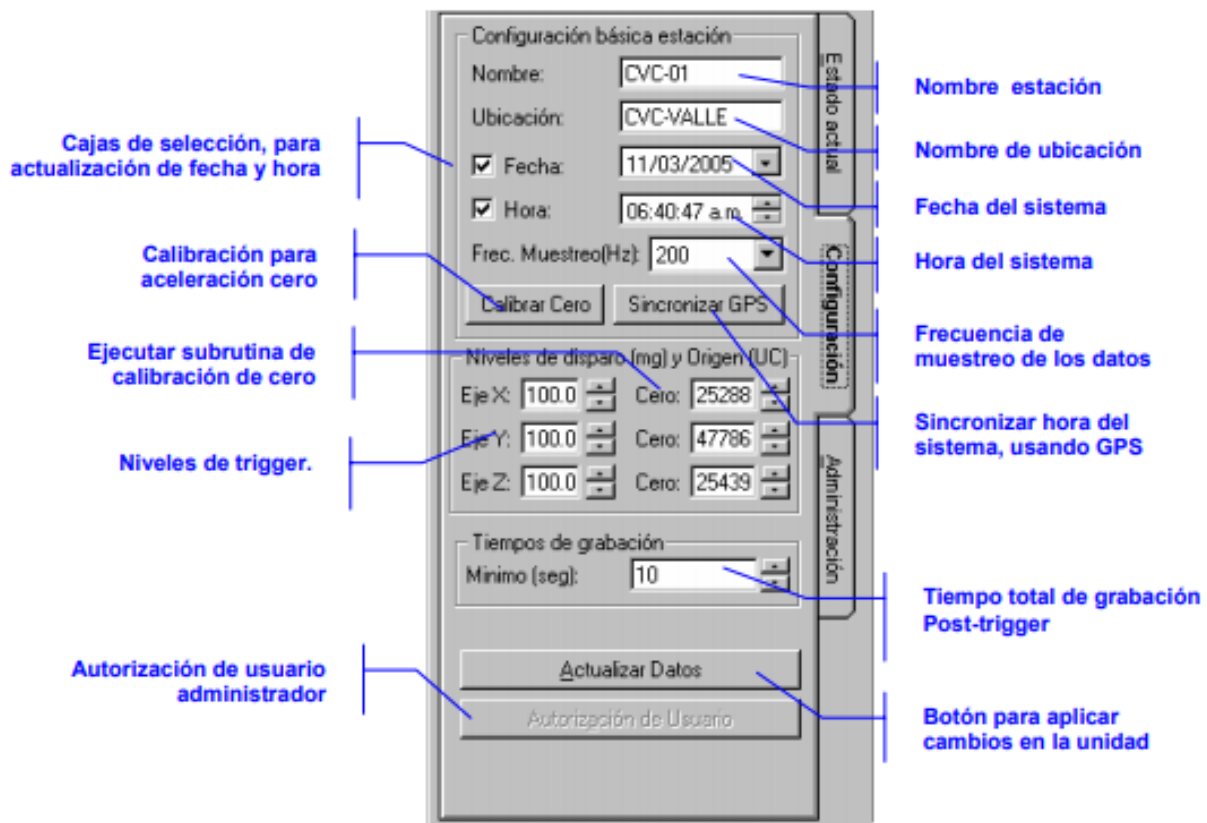


Figura 25 Configuración de la estación
Fuente: [27]

La Figura 25 Configuración de la estación permite modificar algunos parámetros de identificación, como son las variables de estado y algunas calibraciones de sitios pertinentes a toma de datos, el manejo de esta carpeta es para personal especializado.

Las características que mostro la carpeta configuración fueron el nombre donde se identifica el seguimiento de una lectura pertinente, ubicación actual, fecha y hora pertinente del sitio, frecuencia del muestreo que principalmente es de una velocidad de captura baja y cuando se habla de captura baja es de 200 Hz (dato / segundo), sincronizador GPS, calibrador cero ya que estos dispositivos son gravitacionales, es decir, detectan el movimiento y/o aceleración de la gravedad, por ende es necesario tener una calibración optima y por ultimo una opción de actualizar datos que sirvió para descargar los nuevos parámetros óptimos.

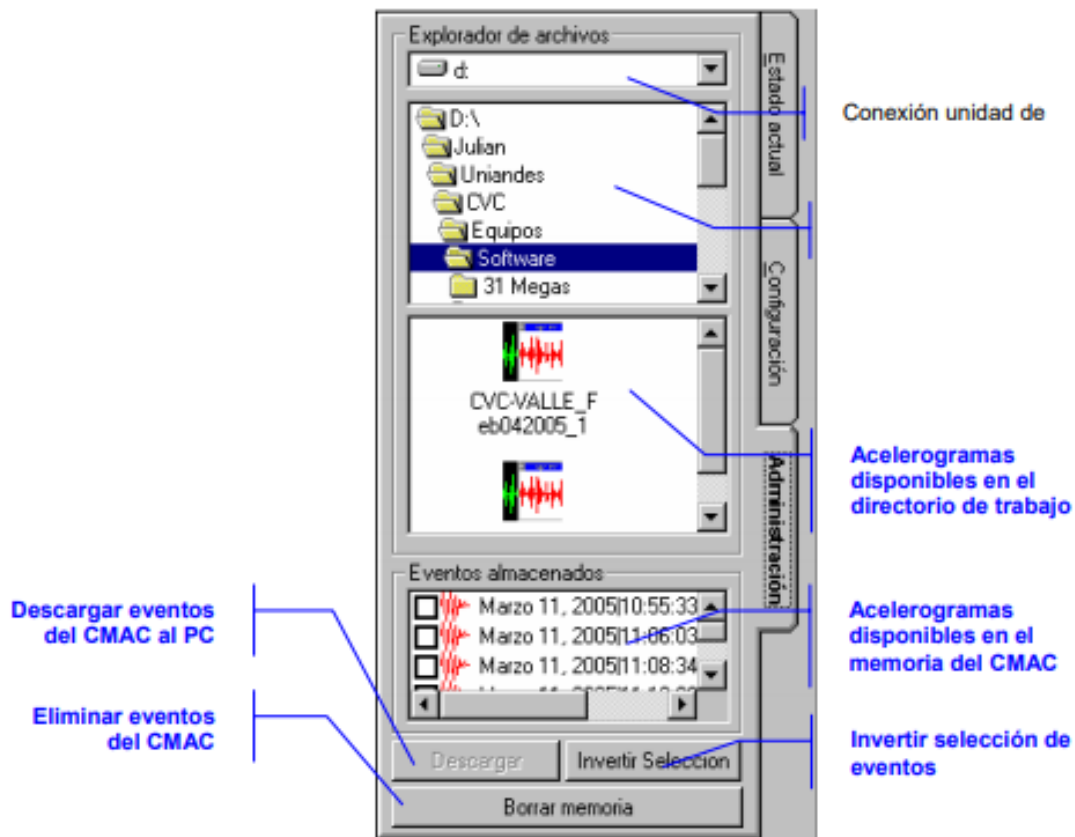


Figura 26 Administración de los archivos

Fuente: [27]

La Figura 26 Administración de los archivos permite realizar visualizaciones de los registros almacenados, también se necesita personal especializado para la maniobra de estos datos, esta carpeta nos permite verificar el explorador de archivos, eventos almacenados, descarga de eventos y una última opción de eliminar un registro cabe recalcar que hacer eliminar no es posible acceder a un deshacer de eliminación.

Después de haber realizado la documentación pertinente para acceder a una lectura de un acelerógrafo en la siguiente imagen se puede apreciar la información que nos permite el software, la imagen muestra la aceleración triaxial representada en una gráfica (tiempo vs aceleración).

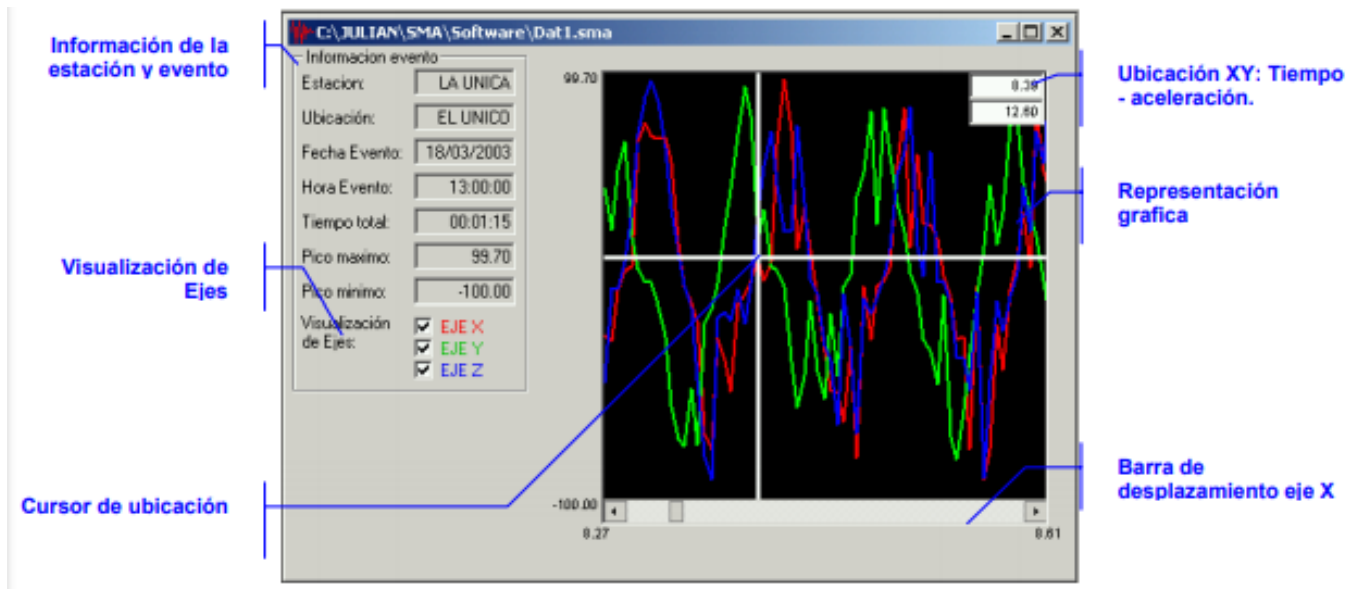


Figura 27 Visualización de movimientos producidos por el suelo
Fuente: [27]

La Figura 27 Visualización de movimientos producidos por el suelo permite hacer unos zooms de extensión, de ventana, retroceder que principalmente son extensiones de la totalidad del acelerogramas mostrado, permite ver una selección de un movimiento executable del terreno.

7.6. RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES SÍSMICOS EN COLOMBIA

La agrupación de datos es el lineamiento de información de alguna estación de sismo, esta agrupación se hizo una consulta general, cuyo preámbulo es la primera etapa que se emplea a seguir, es una consulta donde rige unos parámetros hipo centrales de sismos, el procedimiento es dirigido en la web cuyo servidor será la RNAC que dará un despliegue de la información de acelerogramas como localidad, departamento región, municipio, fecha inicial, fecha final, latitud mínima, latitud máxima, longitud mínima, longitud máxima, profundidad mínima, profundidad máxima, a continuación en la siguiente imagen se podrá evidenciar la información requerida para adquirir información posterior de una consulta.

Departamento o Región:	SELECCIONE DEPARTAMENTO	Municipio:	SELECCIONE MUNICIPIO
Fecha Inicial:	01/06/1993	Fecha Final:	31/12/2008
Latitud Mínima (Grados):	-05	Latitud Máxima (Grados):	14
Longitud Mínima:	-90	Longitud Máxima:	-86
Magnitud Mínima (Grados):	0	Magnitud Máxima (Grados):	9
Profundidad Mínima (Km):	0	Profundidad Máxima (Km):	700

Figura 28 plataforma de adquisición de información pertinente de acelerógrafos
Fuente: [29]

Figura 28 plataforma de adquisición de información pertinente de muestra los datos que se necesitan para dar un despliegue de familias de acelerogramas, los datos son como fecha inicial a tomar lecturas y final de las lecturas, coordenadas del lugar, profundidad a verificar el sondeo del sitio.

Esta metodología sobre la recopilación de antecedentes sísmicos en Villavicencio tiene una visión de mejorar los estudios sismológicos dado a las circunstancias que presenta Villavicencio como ciudad con mucha actividad sísmica es por esto fuentes como el convenio Interadministrativo del 2002 donde contempla la zonificación integral por las grandes amenazas naturales en Villavicencio [31]

La recopilación de los sismos en Colombia se hizo con la ayuda del servicio geológico colombiano, teniendo en cuenta la sismicidad histórica de Colombia cuyo parámetro principal fueron los grandes sismos de mayor intensidad mayores o iguales a 8 con valoración de la escala EMS-98, los sismos de gran impacto en Colombia son:

Tabla 5 Sismos de magnitud mayor o igual a 8 EMS-98

1644/01/16	6.5	Pamplona, Norte de Santander
1646/04/03	6	Muzo, Boyacá
1736/02/02	6	Popayán, Cauca
1743/10/18	6.2	Fómeque, Cundinamarca
1766/07/09	6.5	Buga, Valle del Cauca
1805/06/16	6.1	Honda, Tolima
1826/06/17	6.5	Úmbita, Boyacá
1827/11/16	7.1	Altamira, Huila
1834/01/20	6.7	Santiago, Putumayo
1834/05/22	6.4	Santa Marta, Magdalena
1875/05/18	6.8	Cúcuta, Norte de Santander
1882/09/07	6.5	Cúcuta, Norte de Santander
1884/11/05	6.5	Herveo, Tolima
1885/05/25	6.4	El Tambo, Cauca
1906/01/31	8.8	Costa Pacífica, Pacífico
1917/08/31	6.7	Villavicencio, Meta
1923/12/14	6.2	Cumbal, Nariño
1923/12/22	5.9	Medina, Cundinamarca
1926/12/18	6	Cumbal, Nariño
1928/11/01	5.9	Chinavita, Boyacá
1933/02/10	5.7	Linares, Nariño
1935/08/07	6.1	Tangua, Nariño
1935/09/17	6.1	Pueblo Rico, Risaralda
1935/10/26	5.9	Imués, Nariño
1936/07/17	6.3	Túquerres, Nariño
1938/02/04	7	Eje Cafetero, Colombia
1942/12/26	6.2	Santa Cruz de Lorica, Córdoba
1947/07/14	6	San Juan de Pasto, Nariño

Fuente: [24]

Las ciudades de la tabla anterior presentan unos parámetros como autor de magnitud del Servicio Geológico Colombiano, el SGC-UN, ISC-GEM, las profundidades son del 15 a 20 km.

Tabla 6 Sismos de magnitud mayor o igual a 8 EMS-98

1950/07/08	6.1	Arboledas, Norte de Santander
1953/12/22	5.8	Guaitarilla, Nariño
1958/01/19	7.6	Esmeraldas, Esmeraldas-Ecuador
1961/12/20	6.8	Eje Cafetero, Colombia
1962/07/30	6.5	Eje Cafetero, Colombia
1967/02/09	7	Colombia, Huila
1967/07/29	6.8	Betulia, Santander
1970/09/26	6.6	Bahía Solano (Ciudad Mutis), Chocó
1973/08/30	6.3	Convención, Norte de Santander
1974/07/12	7.1	Costa Pacífica, Pacífico
1976/04/09	6.6	Esmeraldas, Esmeraldas-Ecuador
1976/07/11	7.3	Dariécuta
1979/11/23	7.2	Eje Cafetero, Colombia
1979/12/12	8.1	Costa Pacífica, Pacífico
1981/10/17	5.9	Cúcuta, Norte de Santander
1983/03/31	5.6	Popayán, Cauca
1991/11/19	7.2	Costa Pacífica, Pacífico
1992/10/18	7.1	Murindó, Antioquia
1993/07/21	6	Puerto Rondón, Arauca
1994/06/06	6.8	Páez (Belalcázar), Cauca
1995/01/19	6.5	Tauramena, Casanare
1995/02/08	6.4	Calima, Valle del Cauca
1999/01/25	6.1	Armenia, Quindío
2004/11/15	7.2	Bajo Baudó (Pizarro), Chocó
2008/05/24	5.9	Quetame, Cundinamarca

Fuente: [24]

Estos son los sismos cuya característica fue la de mayor magnitud con relación a la escala EMS-98, sismos que dieron un impacto social, económico, político, ambiental a Colombia, sismos que dieron a conocer esta importancia tecnológica como lo es un acelerógrafo, que nos permite conocer el comportamiento del suelo frente a los movimientos fuertes que se pueda presentar en un lugar específico, esta tecnología facilita muchas ventajas y beneficios en cuanto a crecimiento estructural.

7.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este apartado se dio una apreciación comparativa de acelerogramas con sus respectivos espectros de respuesta, con los diseños existentes se da una conclusión de comparación sobre los efectos locales en los sismos de Villavicencio. Siempre habrá una estación donde recepte mayor aceleración donde se identificará como micro zona de mayor magnitud, también se tendrá en cuenta periodos de aceleraciones ya sean cortos o largos que servirán para tener presente a la causa de que pueden causar efectos hacia el terreno y/o deformaciones en zonas de montaña.

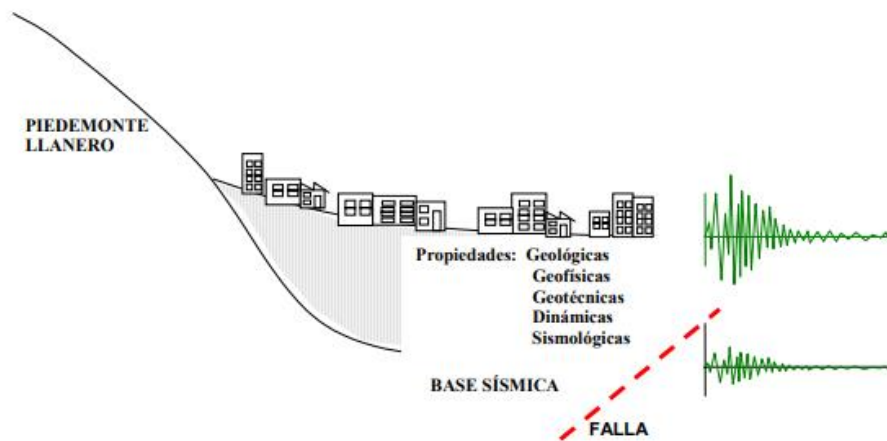


Figura 29 Representación del sondeo previo por parte del acelerógrafo
Fuente: [32]

La Figura 29 Representación del sondeo previo por parte del acelerógrafo es un breve ejemplo acerca del estudio de una familia de acelerógrafos, este estudio se podrá ver claramente el comportamiento del suelo frente a movimientos, vibraciones, aceleraciones repentinas sismológicas, estos parámetros obtenidos con las familias de acelerógrafos enlazados con ensayos del suelo se pueden determinar capacidades portantes del suelo, asentamientos del suelo, poder especificar un punto de mejoramiento estructural como muros pantallas, pilotes de estabilidad entre otros parámetros estructurales.

Para dar paso a un análisis de resultado por parte de los acelerógrafos es necesario saber los parámetros con la cual nos brinda dicha información, los pasos son los siguientes:

- **Título:** En este apartado se da a conocer datos de identificación de la institución, el nombre, dirección, teléfono.
- **Nombre del archivo:** Se da a conocer el nombre del archivo, la versión del formato, fecha y hora de la creación, la referencia del catálogo.
- **Estación:** En este apartado se encuentra una breve descripción de la estación, nombre, el código, localización, altitud, tipo de suelo, la institución a cargo de su operación.
- **Instrumento:** Este apartado se encuentra el modelo, el número de serie, numero de canales, tasa de muestreo, rango a escala completa, frecuencia natural, intervalo de muestreo, amortiguamiento, umbral de disparo.
- **Datos sobre el sismo:** Este apartado incluye fecha y tiempo del evento, epicentro, magnitud, profundidad, fuente.
- **Datos sobre el acelerogramas:** Se encuentra el tiempo UTC, exactitud, duración del registro, numero de muestras, valor máximo de aceleración, factor de decimacion.
- **Calidad del acelerograma:** Se encuentra una clasificación del registro.
- **Comentarios:** Se da en parte del encabezado que se puede utilizar para dar un dato de un procesamiento para una información adicional.
- **Datos de aceleración:** Se da a conocer unos valores numéricos de aceleración de 12 canales.



Figura 30 Descripción de datos del acelerógrafo
Fuente: [33]

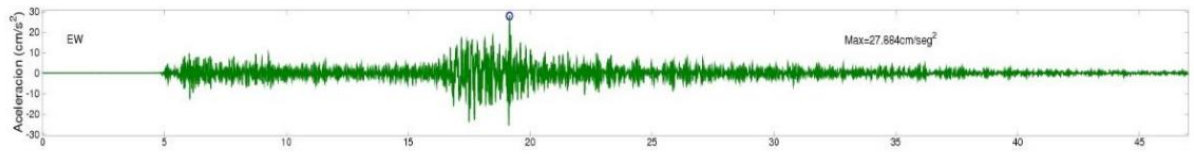


Figura 31 Registro de la aceleración
Fuente: [34]

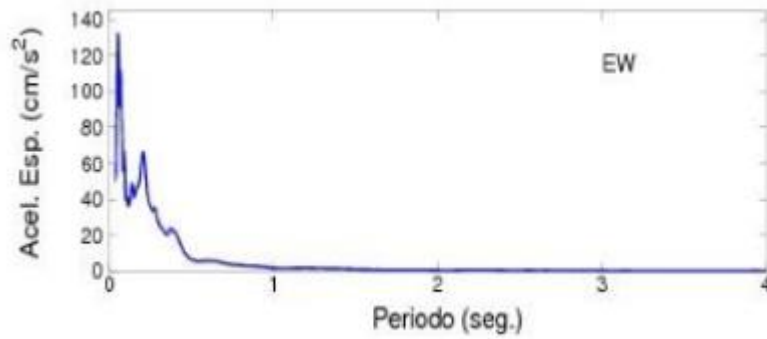


Figura 32 Grafica de registro de aceleración
Fuente: [34]

8. RECONOCER TODOS LOS REGISTROS SÍSMICOS EN APARTADO RURAL Y URBANA EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO.

Tabla 7 Registros sísmicos

No.	Fecha del sismo	Magnitud	Centro poblado	Area epicentral
1	1743/10/18	6.2	Apiay	Fómeque, Cundinamarca
2	1917/08/31	6.7	Villavicencio	Villavicencio, Meta
3	1923/12/22	5.9	Villavicencio	Medina, Cundinamarca
4	1928/11/01	5.9	Villavicencio	Chinavita, Boyacá
5	1961/12/20	6.8	Villavicencio	Eje Cafetero, Colombia
6	1962/07/30	6.5	Villavicencio	Eje Cafetero, Colombia
7	1966/09/04	5.3	Villavicencio	Choachí, Cundinamarca
8	1967/02/09	7	Villavicencio	Colombia, Huila
9	1979/11/23	7.2	Villavicencio	Eje Cafetero, Colombia
10	1988/03/19	5	Villavicencio	El Calvario, Meta
11	1995/01/19	6.5	Villavicencio	Tauramena, Casanare
12	2008/05/24	5.9	Villavicencio	Quetame, Cundinamarca
13	2013/02/09	7	Villavicencio	Guaitarilla, Nariño
14	2015/03/10	6.3	Villavicencio	Los Santos, Santander
15	2016/10/30	5.2	Villavicencio	Colombia, Huila

Fuente: [24]

Tabla 8 Continuación Tabla 10

Hora local	Latitud	Longitud	Profundidad (km)	Autor profundidad
10:45	4.44	-73.83	15	SGC-UN
06:36	3.78	-74	15	Servicio Geológico Colombiano
04:56	4.64	-73.36	15	Servicio Geológico Colombiano
11:08	5.16	-73.23	15	Servicio Geológico Colombiano
08:25	4.49	-75.51	163	ISC-GEM
15:18	5.17	-76.35	64	ISC-GEM
17:15	4.62	-73.98	15	ISC-GEM
10:24	2.85	-74.8	55	ISC-GEM
18:40	4.73	-76.16	110	ISC-GEM
23:08	4.41	-73.67	10	International Seismological Centre
10:05	5.1	-72.89	15	ISC-GEM
14:20	4.44	-73.81	10	Red Sismológica Nacional de Colombia
09:16	1.11	-77.56	162	Red Sismológica Nacional de Colombia
15:55	6.825	-73.134	157.7	Red Sismológica Nacional de Colombia
19:20	3.405	-74.636	13.2	Red Sismológica Nacional de Colombia

Fuente: [24]

9. REALIZAR UN ANÁLISIS CRONOLÓGICO CON LOS REGISTROS ENCONTRADOS TENIENDO EN CUENTA LOS ANTECEDENTES MÁS CRÍTICOS.

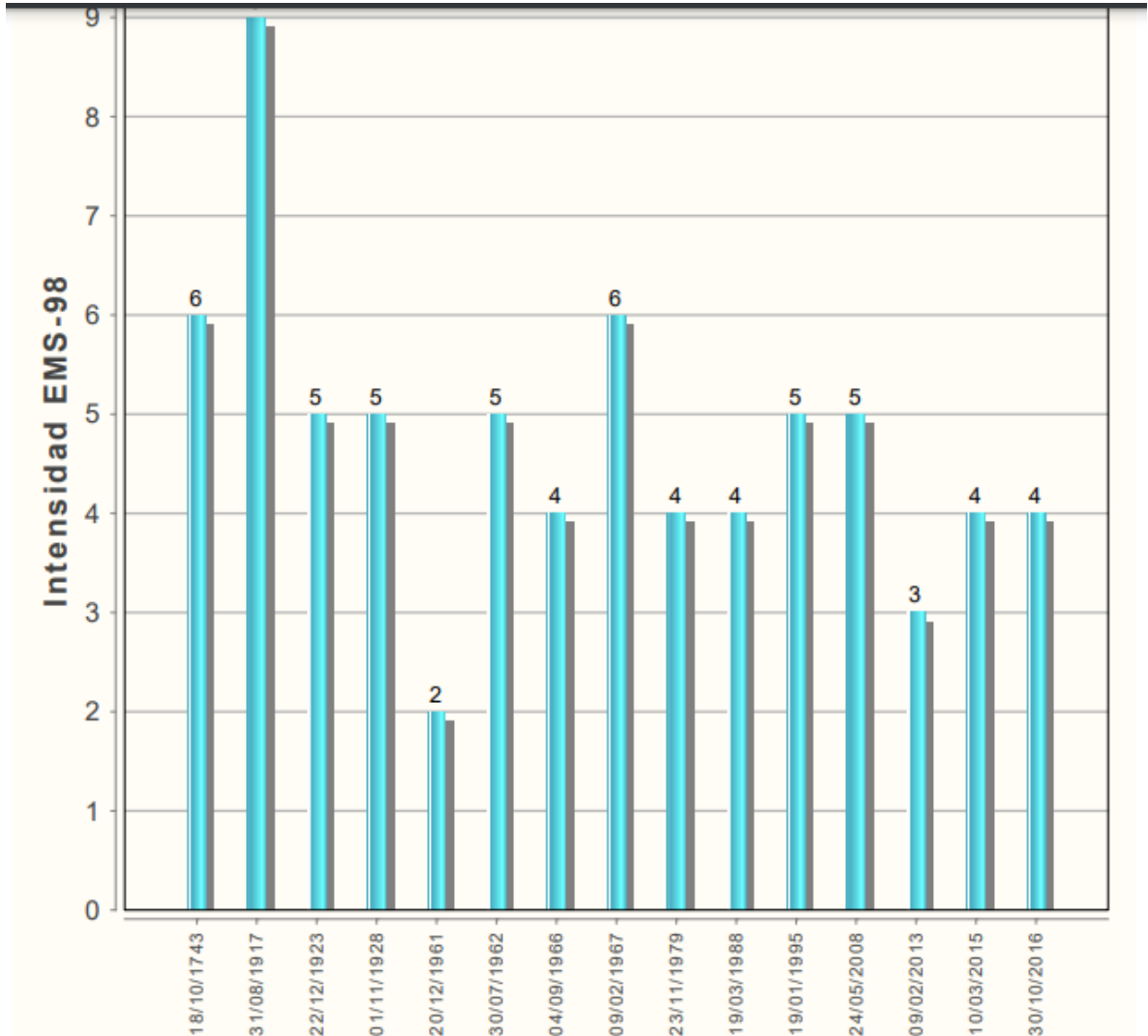


Figura 33 Cronología de registros sísmicos en Villavicencio
Fuente: [24]

Los parámetros generales de la primera fecha encontrada en la Figura 35 cuya fecha es de 1743 del mes de octubre del día 18, la hora local dada fue 09:30, la magnitud fue de 6.2 (MW), el epicentro es de Latitud 4.44 y Longitud -73.83, con una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, los números de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 13, el área epicentral fue en Fomeque, Cundinamarca, este sismo fue un detonante de muchos deslizamientos a lo largo del cañón del río Cáqueza y del río Negro, Puente Quetame y Guayabetal.

Los parámetros del segundo sismo ocurrido en el año 1917 del mes Agosto del día 31 cuya hora local fue de 06:36, la magnitud en (MW) fue de 6.7, tuvo un epicentro con Latitud 3.78 y Longitud -74, una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) DE 9, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 57, el área epicentral fue en Villavicencio, Meta.

Los parámetros del tercer sismo ocurrido en el año 1923 del mes Diciembre del día 22 cuya hora local fue de 04:56, la magnitud en (MW) fue de 5.9, tuvo un epicentro con Latitud 4.64 y Longitud -73.36, una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 29, el área epicentral fue en Medina, Cundinamarca.

Los parámetros del cuarto sismo ocurrido en el año 1928 del mes Noviembre del día 01 cuya hora local fue de 11:08, la magnitud en (MW) fue de 5.9, tuvo un epicentro con Latitud 5.16 y Longitud -73.23, una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 38, el área epicentral fue en Chinavita, Boyacá.

Los parámetros del quinto sismo ocurrido en el año 1961 del mes Diciembre del día 20 cuya hora local fue de 08:25, la magnitud en (MW) fue de 6.8, tuvo un epicentro con Latitud 4.49 y Longitud -75.51, una profundidad en (Km) de 163, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 79, el área epicentral fue en Eje Cafetero Colombia.

Los parámetros del sexto sismo ocurrido en el año 1962 del mes Julio del día 30 cuya hora local fue de 15:18, la magnitud en (MW) fue de 6.5, tuvo un epicentro con Latitud 5.17 y Longitud -76.35, una profundidad en (Km) de 64, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 107, el área epicentral fue en Eje Cafetero Colombia.

Los parámetros del séptimo sismo ocurrido en el año 1966 del mes de Septiembre del día 04 cuya hora local fue de 17:15, la magnitud en (MW) fue de 5.3, tuvo un epicentro con Latitud 4.62 y Longitud -73.98, una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) de 7, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 17, el área epicentral fue en Choachí, Cundinamarca.

Los parámetros del octavo sismo ocurrido en el año 1967 del mes Febrero del día 09 cuya hora local fue de 10:24, la magnitud en (MW) fue de 7, tuvo un epicentro con Latitud 2.85 y Longitud -74.8, una profundidad en (Km) de 55, la intensidad máxima (EMS-98) de 10, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 100, el área epicentral fue en Colombia, Huila.

Los parámetros del noveno sismo ocurrido en el año 1979 del mes de Noviembre del día 23 cuya hora local fue de 18:40, la magnitud en (MW) fue de 7.2, tuvo un epicentro con Latitud 4.73 y Longitud -76.16, una profundidad en (Km) de 110, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 99, el área epicentral fue en Eje Cafetero Colombia.

Los parámetros del Decimo sismo ocurrido en el año 1988 del mes de Marzo del día 19 cuya hora local fue de 23:08, la magnitud en (MW) fue de 5, tuvo un epicentro con Latitud 4.41 y Longitud -73.67, una profundidad en (Km) de 10, la intensidad máxima (EMS-98) de 6, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 8, el área epicentral fue en el Calvario, Meta.

Los parámetros del onceavo sismo ocurrido en el año 1995 del mes de Enero del día 19 cuya hora local fue de 10:05, la magnitud en (MW) fue de 6.5, tuvo un epicentro con Latitud 5.1 y Longitud -72.89, una profundidad en (Km) de 15, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 78, el área epicentral fue en Tauramena, Casanare.

Los parámetros del doceavo sismo ocurrido en el año 2008 del mes de Mayo del día 24 cuya hora local fue de 14:20, la magnitud en (MW) fue de 5.9, tuvo un epicentro con Latitud 4.44 y Longitud -73.81, una profundidad en (Km) de 10, la intensidad máxima (EMS-98) de 8, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 21, el área epicentral fue en Quetame, Cundinamarca.

Los parámetros del treceavo sismo ocurrido en el año 2013 del mes de Febrero del día 09 cuya hora local fue de 09:16, la magnitud en (MW) fue de 7, tuvo un epicentro con Latitud 1.11 y Longitud -77.56, una profundidad en (Km) de 162, la intensidad máxima (EMS-98) de 7, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 75, el área epicentral fue en Guaitarilla, Nariño.

Los parámetros del catorceavo sismo ocurrido en el año 2015 del mes de Marzo del día 10 cuya hora local fue de 15:55, la magnitud en (MW) fue de 6.3, tuvo un epicentro con Latitud 6.825 y Longitud -73.134, una profundidad en (Km) de 157.7, la intensidad máxima (EMS-98) de 7, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 97, el área epicentral fue en Los Santos, Santander.

Los parámetros del quinceavo sismo ocurrido en el año 2016 del mes de Octubre del día 30 cuya hora local fue de 19:20, la magnitud en (MW) fue de 5.2, tuvo un epicentro con Latitud 3.405 y Longitud -74.636, una profundidad en (Km) de 13.2, la intensidad máxima (EMS-98) de 6, el número de puntos de intensidad (EMS-98) fue de 62, el área epicentral fue en Colombia, Huila.

10. RECOLECTAR INFORMACIÓN DEMOGRÁFICA, GEOLÓGICA, SISMOLÓGICA, HIDROLÓGICA, GEOTÉCNICA DE VILLAVICENCIO.

10.1. LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA

El departamento del Meta se encuentra en la parte central de Colombia, que pertenece a la región de la Orinoquia, la extensión que tiene es desde las aguas de la cordillera oriental hasta las planicies de los llanos orientales, tiene baja latitud ecuatorial, limita por el norte con el departamento de Cundinamarca y Casanare, por el sur con Guaviare y Caquetá, por el oriente con el Vichada y por el occidente con Huila y Cundinamarca [35].

Cuando se habla de astronómicamente es de ubicación de coordenadas geográficas 1°39' hasta 4°53' de latitud al norte del ecuador y 71°05' hasta los 74°58' de longitud al oeste del meridiano de Greenwich [35].

Villavicencio se extiende por la cordillera Oriental cerca del río Guatiquia, la topografía de la ciudad se divide en cuatro zonas, una zona alta que abarca parte de la cordillera Oriental delimitando los departamentos de Cundinamarca y el Clavario, allí se encuentran sitios como Contadero, Palmichal, Choopal, Buenavista y Susumuco [36].

Cerca de la sabana delimita con los municipios de Acacias, Puerto López y San Carlos de Guaroa.

En el área urbana hay una diversa base de sitios, conformados hacia el lado sur por el caño Maizaro, en el área del norte se encuentra el río Guatiquia, en la zona media, es decir, piedemonte llanero se encuentran algunos caseríos como Mesetas y Vanguardia [36]

10.2. HIDROGRAFÍA

El departamento del meta pertenece iriga con la cuenca del Río Orinoco, las corrientes nacen en las partes altas de la cordillera oriental y también de la sierra de la Macarena.

En el norte del departamento se encuentran ríos como el Blanco, Negro, Guatiquia, Humea y Meticia, con los cuales forman una subcuenca del Río Meta.

En el centro del departamento del Meta se encuentran subcuencas de los del río Ariari, Duda y Guejar con la cual drenan la sierra de la Macarena.

En la parte del oriente del departamento del Meta se encuentra subcuencas de los ríos Manacacias, Guarrojo, Muco y Planas.

La hidrografía de Villavicencio se encuentra afluentes que alimentan la jurisdicción de la ciudad, alimentan los ríos como Guatiquia, Guayuriba, Negro y Ocoa, también estos afluentes tienen la disposición de llegar a los caños Parrado, Maizaro, Buque, Gramalote, Rosablanca.

El caño buque nace en el área de la vereda del Carmen es una zona alta que empieza con la travesía de la finca llamada Hawaii, allí desciende hasta llegar a la zona urbana de la ciudad, dejando allí afluentes de Altagracia, Esperanza, Alborada, entre otros donde la finalidad de este afluente es hasta el río Ocoa [37].

El río Guatiquia este nace desde del páramo de Chingaza cuya ubicación está a 3500 msnm en Quetame departamento de Cundinamarca, su longitud de salida a los llanos orientales es de 137km.

El río Ocoa nace en San Luis de Ocoa donde abastece los lugares como la Rosita, Villa Mérida, San Antonio, Santa Clara, la finalidad de este afluente es en el río Ocoa.

La temperatura del departamento del Meta varía de acuerdo a las cantidades de pluviosidad anual que varían entre 200 y 3000 mm/año, los meses de marzo y diciembre se cataloga como lluvia comprendida.

La ciudad de Villavicencio se encuentra a 426 metros sobre el nivel del mar, tiene un clima tropical, en el año la mayoría de los meses son de clima lluviosos, en los meses restantes se caracteriza por tener una estación de sequía, la clasificación del clima de la ciudad es de Koppen-Geiger donde la temperatura es de 25 grados centígrados.

Las precipitaciones de la ciudad al año son de 3856 mm/año, donde la menor cantidad de lluvia aparece en el mes de enero, el promedio de gran cantidad de agua se encuentra en el mes de mayo con un valor de 529mm, las temperaturas tienen un gran porcentaje en el mes de febrero con un 26.7 C.

10.3. SISMOLOGÍA

Villavicencio comienza un allanamiento de población en los años 760 fecha estimada por personas arqueológicas, lugar que se encontraba cerca al río Ariari acentuada en el municipio de Granada cuya distancia a la ciudad de Villavicencio es de 70km en la parte sur, dado a su tardío tiempo en comenzar a encontrar más población, comunidades, estructuras, el apartado sísmico comienza en el siglo XVII, y durante el siglo XIX que fue en donde hubo verdaderamente el inicio de la fundación de Villavicencio.

Dada a la investigación exhaustiva de informes de investigación por parte de GermanChicanan Montón, los eventos sísmicos se evidencian en términos como neotectónico, falla que se denomina SFFFCO con ubicación cerca de la ciudad de Villavicencio, este término se le denomina a una deformación cortical que viene ocurriendo en los finales del Plioceno al presente, esta deformación se produce en la corteza hace más de 2.5 millones de años, el término incluye una serie de sucesos que podrían efectuarse a futuro como una actividad tectónica activa, que generan un sismo a futuro presentando fallas más elevadas que lo habitual [38].

Una de las deformaciones presentes es en el origen de la Serranía de las Palomas, ubicado en la parte noreste de la ciudad, esta deformación está definida por la falla de Guaicaramo, esta falla ha sido un gran contribuyente a la deformación de la corteza hacia el oeste, la falla de Guaicaramo tiene una longitud de 130km.

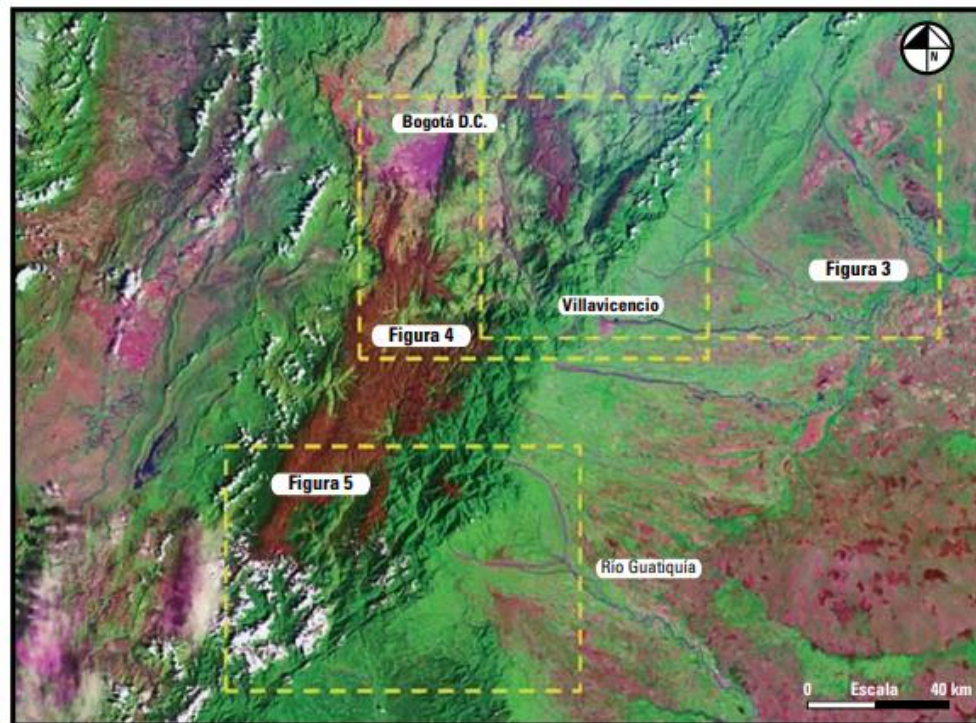


Figura 34 Fallas cercanas a Villavicencio
Fuente: [38]

Otra falla presente es la falla de Servita que deforma en la región del piedemonte llanero, tiene una longitud de 138km, esta falla está ubicada cerca de la ciudad mostrando escarpes de falla, provocando deslizamientos alineado, algunos valles colgados.

Con base a la sismología el suelo de la ciudad está constituido por sedimentos no consolidados, dando así un desarrollo de abanicos aluviales que tienen edades desde el Pleistoceno medio al Pleistoceno Superior, los sedimentos tienen una conformación del 70% del subsuelo del área urbana dado a la composición de arcillas, arenas y gravas no consolidadas, tiene un alto porcentaje de saturación, tiene un alto nivel de susceptibilidad a la licuación de suelos, es por ende que la aceleración sísmica supera los 2g [38].

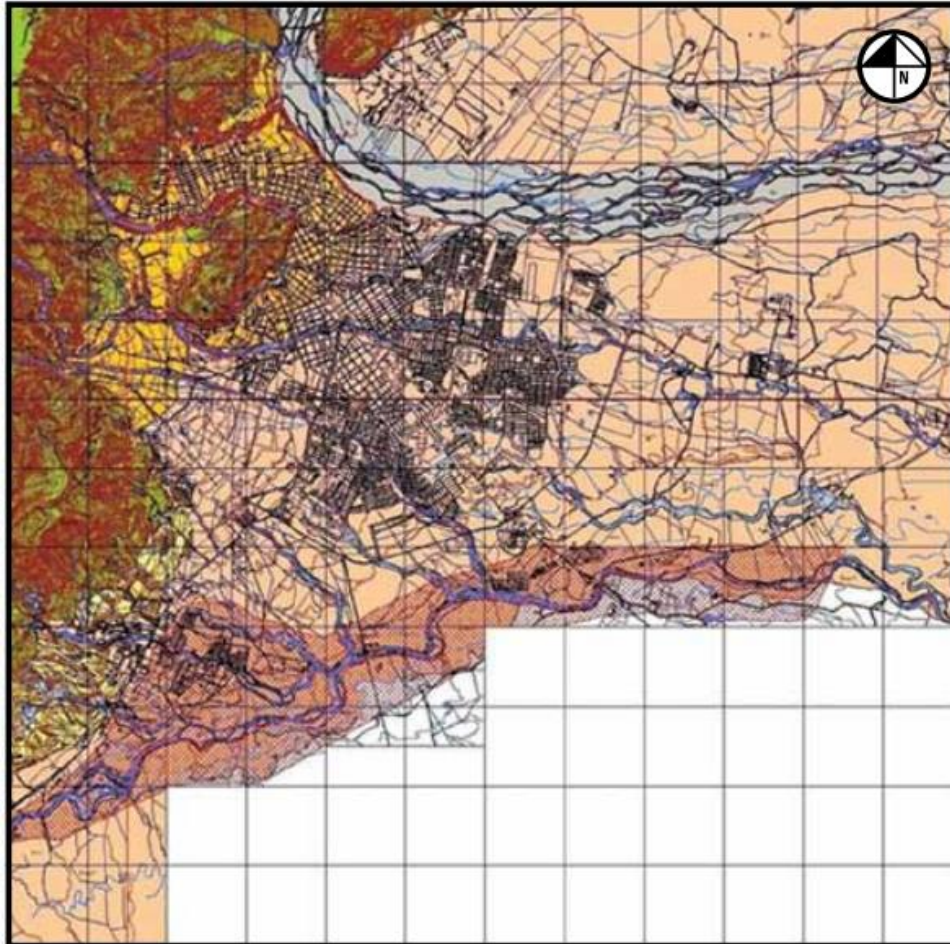


Figura 35 Mapa de Zonificación Sismo geotécnica

Fuente: [38]

En la figura que representa la zonificación sismo geotécnica se presentan cuatro zonas, posicionadas de A a D, donde A es zona Verde es decir zona de cerros, B es zona Amarilla que lo conforman el piedemonte aluvial, C que lo representa el color Rosado quiere decir aquella zona conformada por llanura, D que lo representa el color anaranjado que es la conformación de piedemonte fluviotorrencial.

La zona de los cerros corresponde al macizo rocoso, cuya ubicación queda en el costado occidental, abarcando Cristo Rey, también conforma una serie de arcillas, arenas y lodolitas, cuya caracterización es de aceleraciones espectrales de 0.7g.

La zona B que es la zona conformada por aluviales, ubicado en la parte suroccidental de la ciudad de Villavicencio, tiene una composición de oscilaciones de 10 y 30 metros, su aceleración espectral es de 1.3g.

La zona C que corresponde a la Llanura, está ubicada en la parte urbana de la ciudad, su composición es los suelos fluviotorrenciales que tiene un espesor de 20 y 60 metros, la ubicación de aquellos aluviales es en sector oriente de la ciudad, las aceleraciones espectrales tienen un valor de 1.6g.

La zona D que es piedemonte con ubicaciones en el apartado noroccidental de la ciudad y parte de Cristo Rey, su espesor es de 20 y 60 metros cuya aceleración espectral es de gran magnitud con un orden de 20g.

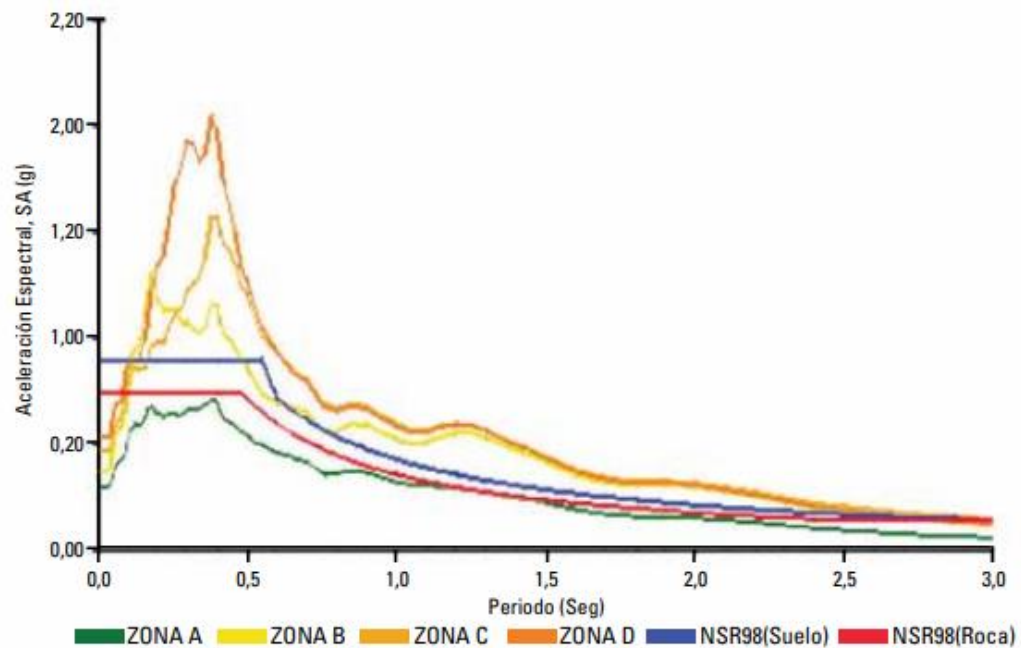


Figura 36 Aceleraciones espectrales de la zonificación

Fuente: [38]

La zonificación sismo geotécnica investigada por parte de INGEOMINAS, concluyo que la ciudad de Villavicencio tiene gran asentamiento y que esta propensa a un alto riesgo sísmico, sus características sismológicas con base a ciudades como Armenia y Popayán tiene una gran vulnerabilidad a sufrir un sismo.

Según la investigación por parte de la autoridad INGEOMINAS determino que Villavicencio sufre una tendencia abrupta de urbanizarse en lugares donde los suelos no son consolidados, cuya característica es de gran espesor, sus aceleraciones espectrales son altas.

Con base a la estructura de la ciudad en Edificios muchos de ellos no cumplen con la normatividad de sismoresistencia, debido a que no hubo una supervisión por parte de las autoridades pertinentes.

En la ciudad de Villavicencio cuya parte vulnerable son en los lugares como Playa Rica, Cristo Rey, Quebrada Honda, son vulnerables frente al fenómeno de remoción e inundaciones.

10.4. GEOLÓGICA

La geología en Villavicencio se empezó en los mediados del siglo XIX, con el personaje Hermann Karsten con la participación de Agustín Codazzi y la comisión Corográfica, donde realizaron un estudio exhaustivo de las cordilleras colombianas.

Estos personajes realizaron una transecta que fue dirigida desde la ciudad de Bogotá a Villavicencio, en las vías de Chipaque a Cáqueza en el apartado del sur, en esta transecta se reconocieron varios tipos de rocas que se hallaban en la cordillera oriental [39].

El personaje de Guavio y Medina, fueron los responsables de generar el primer mapa geológico de la ciudad de Villavicencio a modo de toda la región del piedemonte llanero, en este mapa se puede encontrar con las fallas cercas a la ciudad.

La geología con base a la conformación plena del suelo comienza desde el desarrollo del lapso Plioceno a Pleistoceno, donde delimita fallas como SFFFCO, donde allí se pueden ver rocas sedimentarias y metamórficas, la conformación del subsuelo es una afloración del flanco oriental hacia el oeste de la ciudad.

En el área de Quetame se forman las Filitas y cuarcitas de Guayabetal donde su nacimiento es estimado del Neoproterozoico superior, esta presentado en la zona de Guayabetal, son rocas de característica metamórfica, en ella varia un alto grado de facies esquisto.

En el área urbana de la ciudad de Villavicencio se presenta un área de rocas protolitos que son rocas que se encuentran fuertemente plegadas y fracturadas,

reflejando una composición de filitas, micáceas, filitas grafitosas, metareniscas y cuarcitas [39].

En el área de Puente Abadía en el río Guatiquia ubicado al noreste de la ciudad, su composición de acuerdo a datos paleontológicos es de rocas estratificadas que están plegadas a una sucesión de anticlinales y sinclinales, allí se compone también de una afloración de deslizamientos cerca al corregimiento de Servita donde la composición de estas rocas son de arenas, lutitas, calizas, conglomerados, tiene una sedimentación fluvial con base al ambiente fluvial [39].

En el área de Buenavista la composición de rocas son fanglomerados que su característica es de subredondeados de filitas, fragmentos de cuarzo y gravas de tipo matriz arena y limo, arcilla con color café [39].

La formación de lutitas de Macanal, son rocas que afloran en la falla de Servita tiene una gran extensión al occidente de la ciudad, su composición es de lodolitas, lodolitas carbonáceas, areniscas y conglomerados donde esta composición representa un ambiente marino [39].

La formación de areniscas se encuentra en el noroccidente de la ciudad donde su composición es de filitas y cuarcitas de Guayabetal, estas rocas afloran en los barrios del Galán y parte de la Quebrada la Honda [39].

La Formación de Fomeque se compone de arenas blancas, cuarzos con esporádicos niveles de conglomeración, lodolitas [39].

La formación de Une son de arenas, cuarzos, conglomerados, lodolitas, arcillolitas, en la ciudad de Villavicencio se presenta afloración plegada cerca a la falla de Coladepato y Mirador [39].

11. DETERMINAR EL TIPO DE ACELERÓGRAFO QUE PRESENTE MAYOR PRECISIÓN Y SE ADAPTE DE MANERA MÁS APROPIADA A UNA RED DESPLEGADA EN VILLAVICENCIO.

11.1. TRIMBLE 130SMHR



Figura 37 Acelerógrafo movimiento fuerte
Fuente: [40]

Este acelerógrafo combina el digitalizador sísmica banda ancha 130 os-01 y tiene un acelerómetro de balance de bajo nivel de ruido 147 A-01/3 que proporciona gran rango dinámico, dispone de 3 canales de entrada adicionales.

11.2. WALEKER SMA-551



Figura 38 Acelerógrafo movimiento fuerte
Fuente: [40]

Este acelerógrafo es compacto, robusto la protección es de IP67, es de bajo consumo de energía, tiene múltiples opciones de conectividad, cuenta con Wifi, y comunicación para celular 3G, este acelerógrafo fue diseñado para registrar datos

de aceleración con alta confiabilidad donde garantiza la integridad de los datos [40]

11.3. TRIMBLE 130-MC



Figura 39 Acelerógrafo movimiento fuerte

Fuente: [40]

Este acelerógrafo contiene un digitalizador diseñado que ayuda a cumplir los requisitos claves a la hora de enfrentar alarmas de actividad sísmica, es decir ayuda dar alerta temprana a terremotos.

11.4. AMF-210



Figura 40 Acelerógrafo movimiento fuerte

Fuente: [40]

Este acelerógrafo es compacto también tiene protección IP67, adquiere una combinación de digitalizador sísmico de 24 bits con un acelerómetro triaxial interno electromecánico, se puede adquirir datos precisos durante un evento sísmico que enlaza el movimiento del suelo con estructuras mediante monitoreos modernos.

11.5. KINEMATRICS



Figura 41 Acelerógrafo ETNA2
Fuente: [41]

Este acelerógrafo tiene un sensor estándar del mundo interior, puede cargar datos automáticamente a Dropbox, tiene una accesibilidad a EEWS, tiene gran espacio de almacenamiento de datos, es compatible con cualquier plataforma de adquisición de datos, tiene gran exactitud de sismos en tiempo real.

Teniendo en cuenta los distintos acelerógrafos mencionados se da por elegir el acelerógrafo kinematics ya que presenta la facilidad de adquirir sus datos en cualquier plataforma de datos suministrados por el Servicio Geológico Colombiano, este acelerógrafo está diseñado para cumplir un alto rango de aplicaciones, tiene una gran tecnología altus que puede monitorear las edificaciones teniendo en cuenta los requisitos técnicos y la funcionalidad del acelerógrafo con la estructura también permite reconocer la información en una mayor resolución que ayuda a satisfacer los requerimientos de un usuario, una gran ventaja que tiene es que puede adelantar el análisis para verificar la afectación que una estructura pudo obtener después de un temblor, puede tener una vigilancia exhaustiva frente a la salud estructural, cumple con el código de construcción.

Este acelerógrafo con relación al beneficio que trae a la hora de adquirirlo en Villavicencio presta un servicio en la ciudad del Valle del Cauca teniendo en cuenta los estudios de amenaza sísmica, según los antecedentes el riesgo sísmico que tiene la ciudad del Valle, se comprende en la zona de Palmira, Tuluá y Buga, que según los estudios de microzonificación sísmica desde el punto de vista técnico enlazado con lo científico la amenaza sísmica abarca a la zona urbana de dichos municipios. La red de acelerógrafos que fue necesaria a utilizar fue la del dispositivo Kinematics con relación al software CVC, CMAC-02, la instrumentación que se realizo fueron un total de 7 dispositivos distribuidos en los municipios de Palmira, Tuluá, Buga [42].

En el municipio de Palmira se ubico en el parque del Azúcar, Mientras que en el municipio de Tuluá se ubico en el parque infantil Julia Carpeta, en la empresa de Mercado publico de Mertulua, en el municipio de Buga se ubicaron los demás en el área del Instituto educativo Agrícola de Guadalajara Buga, en el almacén general de depósito de café y en la zona de aguas de Buga [42].

En el año 2007 del mes de octubre se hace una solicitud en la ciudad de Medellín de una instrumentación sísmica, esto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial a las Empresas Publicas de Medellín, en efecto se certifica elementos de instrumentación sísmica como Acelerógrafos, GPS, acelerómetros, tarjetas PCMCIA, cable RS232 etc., la subpartida arancelaría por parte de la solicitud y certificado fue de 90.000.000 \$ contando con tres cantidades de acelerógrafos de marca Kinematics, el modelo de referencia del acelerógrafo es de tecnología Altus high dynamic con capacidad de rango de 18bit, este dispositivo incluye cables triaxial, epicensor de acelerómetro [43].

El fabricante de este dispositivo, es decir proveedor es de la ciudad de California Inc. USA enlazado a la ciudad e Bogotá para la adquisición pertinente del dispositivo, la funcionalidad de este dispositivo que captura y registra eventos sísmicos es con destino a la Presa de Santa Rita y la Presa de Porce [43].

Según la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia los equipos a utilizar son de Marca Kinematics con modelos de SSA-1, SSA-2, SSA-2MC, ETNA, K2 gracias a que disponen de gran almacenamiento de datos en tarjetas de memoria PCMCIA cuyo almacenamiento esta entre 1 a 40 Mb [44].

Según la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia la metodología adecuada de instalación de un dispositivo Kinematics es primeramente contactar al alcalde o un funcionario del gobierno para exponer un proyecto de red de acelerógrafos, hacer visitar de campo a los lugares que correspondan los movimientos de alta sismicidad, se realiza un monitoreo del lugar en cual consiste es tener un registro del acelerógrafo en un tiempo adecuado [44].

En la franja de Popayán con un propósito de atenuar las ondas sísmicas a través de la franja Norte-sur, se realizó la instalación de 18 equipos de marca Kinematics de modelo SSA-2MC esto a raíz de la actividad sísmica en los comienzos del año 1995, es por eso que durante los últimos 10 años el gobierno amplió la red con una adquisición de 52 dispositivos Kinematics para tener un control y monitoreo de las zonas norte- sur de la franja de Popayán [44].

En el año 1993 en la Franja Bahía Solano se hizo la adquisición de 15 acelerógrafos de marca Kinematics con modelo SSA, esto con el fin de monitorear el fallamiento de la cordillera de la line Este-Oeste, la instalación para mantener el monitoreo se hizo en la Ciudad de Bogotá y en Bahía Solano [44].

El dispositivo Kinematics es por eso la buena adquisición que necesita Villavicencio con base a seguir con los registros que este equipo nos ofrece, ya que la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia han manejado durante muchos años, y de allí se podrán encontrar muchas informaciones recurrente a cualquier parte de Colombia, facilita a la hora de hacer una investigación de las zonas de alto impacto sísmico, recurre a la prestación del servicio de INGEOMINAS ya que nos permite una buena facilidad de recolección de datos, permite suministrar planos constructivos de las zonas a investigar, mantiene un control anual frente al comportamiento del suelo, mantiene la disposición de información de las estaciones del país.

12. RECOPILAR LAS NORMAS DE USO DE LOS ACELERÓGRAFOS EN CUANTO A LAS APLICACIONES DE OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL.

En el área estructural un acelerógrafo tiene mucha importancia con base a las normativas estructurales, en Colombia se rige una cuya denominación es la NSR-10, los acelerógrafos con base a las normativas de la norma tienen una serie de parámetros para poder aplicar en trabajo con relación a mejoramiento de seguridad y riesgo en una edificación.

¿Cuándo se debe instalar según la norma NSR-10?

La norma NSR-10 determina qué tipo de proyectos deben de ser instrumentados para la detección de movimientos sísmicos fuertes, por ende, hay unas categorías de amenaza sísmica para las ciudades capitales. En la zona de amenaza sísmica alta se encuentra, Cali, Manizales, Armenia, Pereira, Bucaramanga, Quibdó, Neiva, Popayán, Pasto, Villavicencio, Cúcuta, Mocoa, Yopal, y una zona de amenaza sísmica intermedia como Medellín, Bogotá, Tunja, Sincelejo, Santa Marta, Ibagué, Arauca, Riohacha, Florencia.

La edificación debe tener en cuenta la zona sísmica con la que se encuentra para poder emprender un trabajo adecuado con relación a los dispositivos, los entes territoriales, oficinas de planeación, tienen el objetivo de hacer un previo estudio de cumplimiento de cada proyecto con respecto a la norma NSR-10.

Hay que tener en cuenta que los dispositivos deben tener certificado del servicio geológico colombiano para que los equipos presentes un registro frente a las entidades que disponen los proyectos con respecto a la exigencia de la norma.

Para las construcciones en zona de amenaza sísmica alta y en zona sísmica intermedia se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Tabla 9 Zona de Amenaza Sísmica Alta

Edificios Mayor 20pisos	Edificios 11-20 Pisos	Edificios 3-10 Pisos	Edificios Conjunto
Área construida Cualquiera	área construida Mayor 20.000m ²	área construida Mayor 20.000m ²	área construida Cualquiera
Dispositivos 3	Dispositivos 2	Dispositivos 1	Dispositivos 1

Fuente: [45]

Tabla 10 Zona de Amenaza Sísmica Intermedia

Edificios 25pisos	Mayor	Edificios 16-25 Pisos	Edificios 5-15 Pisos	Edificios Conjunto
Área construida Cualquiera		área construida Mayor 30.000m2	área construida Mayor 30.000m2	área construida Cualquiera
Dispositivos 3		Dispositivos 2	Dispositivos 1	Dispositivos 1

Fuente: [45]

La norma en el apartado A11.1.3 definen que las personas encargadas de hacer las localizaciones de la instrumentación son los Estructurales, que son las personas que hacen el diseño de la estructura de un proyecto.

Hay unas condiciones a la hora de hacer la instalación, el espacio según la norma en el apartado A11.1.4 se debe tener 2 metros cuadrados, y especifica que debe tener 2 metros de ancho, 2 metros de alto y 1 metro de piso, debe tener un pedestal de 15 cm.



Figura 42 Localización del Dispositivo

Fuente: [45]

La instalación del pedestal debe estar construidos en concreto reforzado que debe ir amarrado a la losa de fundación, a la columna y a la viga de cimentación para que este conjunto se convierta en una toma estructural optima, los cuartos de instalación deben ser privados ya que solo debe ingresar personal autorizado, en el cuarto solo debe estar solamente el dispositivo acelerógrafo.

A la hora de la instalación el personal autorizado coloca unas plantillas donde se monta el acelerógrafo y se adecua los pernos que se anclan al piso de la edificación, por ende, cuando los dispositivos estén anclados se hace la conexión eléctrica.

En el apartado A11.1.5 dice que las personas naturales, jurídicas, que sean responsables de acuerdo a la licencia de construcción, es la persona que incurre con los gastos, que al final es una inversión para la construcción de la edificación, el constructor debe de comprar los dispositivos y contratar un eléctrico para que la instalación sea eficaz y segura.

Las personas que incurren con los gastos de administración provisional es la encargada de todo lo que es la vigilancia, se encarga de ser responsable que los equipos estén funcionando constantemente, también es encargada de enviar información al servicio geológico colombiano, el perfil para el cargo específico deben ser ingenieros civiles.

La información recolectada por parte de la administración se remite al servicio geológico colombiano para que se haga una previa revisión para dar un aval en una base de datos, con base a esto la información recolectada de las edificaciones son procesadas para después revisar las aceleraciones para un integración de resultados para un comparativo de aceleraciones existentes, los informes quedan guardados para que los ingenieros civiles, estructurales, antes de urbanizaciones los organicen y realicen una microzonificación para que ellos puedan verificar las zonas de alta sísmica o intermedia y con rigor dar una licencia de construcción en las zonas estudiadas.

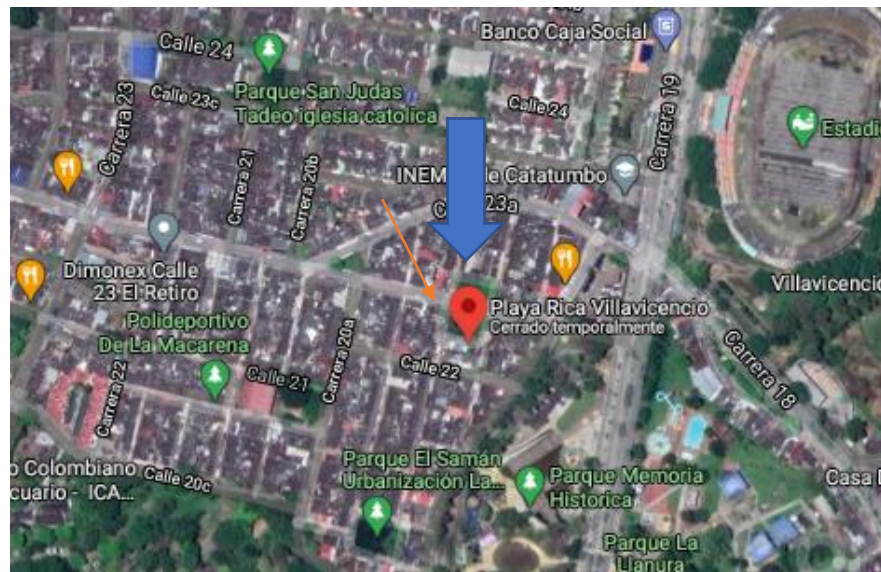


Figura 44 Ubicación del Acelerógrafo

Fuente: [47]

En este sitio también se enlaza un acelerógrafo Kinematics para medir el movimiento sísmico que causo los grandes deslizamientos en Playa Rica, y con base a la ubicación se puede presentar un control aledaño en las viviendas para verificar si pueden a futuro resistir una actividad sísmica alta.



Figura 45 Ubicación del Acelerógrafo

Fuente: [47]

La ubicación tercera del acelerógrafo Kinematics es en la zona de la quebrada Honda con la que siempre se va visto los problemas en las líneas de conducción, es bueno tener una medida de control frente a los movimientos de actividad sísmica en esa zona ya que conoceríamos los lugares específicos que presentar movimientos sísmicos y así poder proteger nuestras líneas de tubería con un plan de mitigación geológica.

14. CONCLUSIONES

La selección de acelerogramas se realizó enlazado con un análisis preliminar del lugar, primero se tuvo que conocer los antecedentes que ha tenido el lugar con referencia a actividades sísmicas altas, esta selección sirvió para dar un informe detallado acerca del movimiento del suelo cuando esta sujeta a estos eventos sísmicos altos, la realización de interpretas datos nos sirve para analizar un posible terremoto en la zona estudiada, para poder monitorear el lugar frente a las edificaciones altas, para monitorear la composición del terreno en cuanto a lo topográfico, geológico, hidrológico entre otros.

La recopilación de la nueva tecnología de los acelerogramas sirvió para ver la aplicación que tiene en nuestro país Colombia, en ciudades como Cali, Cúcuta, Armenia, Popayán utilizan esta tecnología denominada ETNA, es de gran calidad en cuanto a la operación y ejecución de obtención de los datos provenientes del suelo, para esta aplicación de selección de acelerógrafos para la ciudad de Bogotá nos brindó una buena información de rangos espectrales.

Etna cumple con facilidad de entendimiento en cuanto a operación y ejecución de datos, nos brinda gran facilidad en lectura de datos en idiomas cómodos para cualquier investigador.

La ciudad de Villavicencio con base al servicio Geológico Colombiano necesita tener una red de acelerógrafos más sincronizada para un monitoreo elevado, esto para ayudar a los investigadores a obtener datos más precisos de las aceleraciones del suelo, para conocer el tiempo de llegada sísmica.

La obtención de estos datos y analizarlos para un beneficio de investigación es para tener un crecimiento en el área estructural ya que nos permite crear nuevas estimaciones de los parámetros como sondeos, vibraciones, en tiempo real constante para que podamos dar frente a las amenazas sísmicas que concurren en Villavicencio, es muy importante tener en una zona de alta sismicidad pilares de conocimiento para implementar un sistema de riesgos, monitoreo constante, ya que estarán mejorando el ámbito de diseños estructurales para el beneficio óptimo y seguro para la sociedad.

La normativa NSR-10 abarca minuciosamente con base a las construcciones de edificaciones grandes en cuanto a tener un monitoreo constante de las estructuras, profundiza claramente la utilización de acelerógrafos en zonas intermedias y altas de acuerdo a una seguridad y fijación de estudios a futuro con los resultados dados en las edificaciones estudiadas, con esto permitiría a la comunidad un crecimiento más rápido con relación la ingeniería civil, geología, geotecnia.

15. RECOMENDACIONES

Las investigaciones determinan que Villavicencio es una ciudad que tiene un nivel de actividad sísmica notable, es una ciudad vulnerable es por eso que se debe manejar un estudio previo de aquellas zonas que presenten dichos sondeos elevados y exponer una medida preventiva de acuerdo a las normas legales de cada ciudad.

Es posible mejorar los estudios en geología, sismología, geotecnia con relación a la adquisición de acelerógrafos en la ciudad de Villavicencio, ayudaría a partir una línea de investigación para una apertura nueva de mejor calidad de vida en cuanto lo social, económico, académico.

Es imposible predecir un sismo en cualquier ciudad, no hay ningún dispositivo que ayude a predecir una actividad como lo es un terremoto, pero estas investigaciones con base a la adquisición de acelerógrafos ayudarían a que las autoridades cumplan a cabalidad las normas en el área estructural, así la comunidad estará preparada a posibles desastres ambientales.

Incentivar a la comunidad acerca de cómo debemos mejorar y como debemos manejar una obra desde cero, y es conociendo de manera óptima el suelo por el cual se va a ejercer una obra de ingeniería civil, es por eso que la incentivación podría ser por parte del sector gubernamental local, este ente podrá hacer campañas educativas para ayudar a mitigar los efectos indeseables que pueda presentar la ciudad de Villavicencio, proponiendo una planificación adecuada a las amenazas sísmicas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] G. Chicangana, «La sociedad frente a la gestión del riesgo: caso sobre la amenaza sísmica en la ciudad de Villavicencio,» Villavicencio, 2010.
- [2] A. Vargas, «Estacion red nacional de acelerografos,» 16 11 2018. [En línea]. Available: <https://www.datos.gov.co/Minas-y-Energ-a/Estaciones-Red-Nacional-de-Aceler-grafos/ss86-47c7>. [Último acceso: 26 02 2020].
- [3] A. Acevedo, «Criterios sismológicos para seleccionar acelerogramas reales en la red nacional de acelerógrafos de Colombia para su uso en análisis dinámico,» *EIA*, ISSN, nº 57-70, p. 14, julio 2012.
- [4] Stewart, «Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California,» Berkeley, 2001.
- [5] J. Rodriguez, «Acelerogramas,» 03 11 2012. [En línea]. Available: <https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/>.
- [6] J. Araujo, «Amenaza Sísmica,» 22 8 2016. [En línea]. Available: <https://novecientos11.wordpress.com/2016/08/22/amenaza-sismica-que-es/>.
- [7] L. Americo, «Intensidad sísmica,» Attribution Non-commercial (By-Nc), 2014.
- [8] D. James, History of Seismometry (to 1900), Bulletin of the SSA, 1969.
- [9] P. Lane, «centro sismologico internacional,» rg19 4ns, Reino unido, 2011.
- [10] M. Anderson, «wikipedia,» 2019. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/El_emperador_de_todos_los_males:_Una_biografía_del_Cáncer.
- [11] Undro, Natural Disasters and vulnerability Analysis, 1979.
- [12] «Estimacion de efectos locales en la zona de estudio,» *ingenieria de estructuras*, vol. 6, nº 1, pp. 1-20, 2001.
- [13] H. Musante, «Metodo sismico Hvsr o tecnica de Nakamura,» 2 8 2017. [En línea]. Available: <http://www.geoseismic.cl/metodo-sismico-hvsr-tecnica-nakamura/>. [Último acceso: 15 6 2019].
- [14] C. Poinssot, «Brgm,» 12 5 2017. [En línea]. Available: <https://www.brgm.fr/actualites/actualites>.
- [15] E. A. Caicedo, «Análisis y tratamiento de señales de fuentes sismogénicas de campo cercano a san jse de cucuta colombia,» *revista de la universidad francisco de paula santander*, nº numero 2 issn 0122820x, p. 22, 2007.
- [16] C. E. C. Llanten, «Análisis de los registros acelerograficos del sismo del 30 de septiembre de 2012, la vega, cauca.,» osso, santiago de cali, 2012.
- [17] A. B. Acevedo, «Criterios Sismologicos para seleccionar Acelerogramas reales de la RNAC,» *EIA*, 2012.
- [18] F. A. Florez, «Generacion de acelerogramas sinteticos mediante el uso de wavelts, orientado a aplicaciones geoténicas estructurales,» *Revista de Ingenieria sísmica*, 2018.

- [19] SGC, «Servicio geológico colombiano». 2016.
- [20] M. L. Ortiz, «ResearchGate,» 29 enero 2014. [En línea]. Available: https://www.google.com/search?newwindow=1&rlz=1C1CHBF_esCO816CO816&biw=681&bih=655&tbn=isch&sxsrf=ACYBGNR36liWyuZKQhIKwkJxx-3_usYh2g%3A1567977844719&sa=1&ei=dHF1XZO5K8Sp5wKG2IH4DA&q=villavicencio&oq=villavicencio&gs_l=img.3..35i39j0l9.10924.13097..13530...
- [21] K. Ortega, «SiliconWeek,» lab, 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.siliconweek.com/cloud/la-economia-movil-centroamerica-rezagada-96556>. [Último acceso: 15 07 2020].
- [22] Germán Chicangana, «El posible escenario de un sismo de magnitud $\geq 6,5$ para la ciudad de Villavicencio (Colombia),» *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 22, nº 2, 2013.
- [23] A. M. Sarabia, «Análisis histórico de los sismos ocurridos en 1985 y en 1917 en el centro de Colombia,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Bogotá, 2009.
- [24] O. P. Zapata, «Catálogo de sismicidad del Servicio Geológico Colombiano,» 1 11 2020. [En línea]. Available: <http://bdrsnc.sgc.gov.co/paginas1/catalogo/index.php>.
- [25] t. n. Corporation, «proyectos integrales de monitoreo automatizado con sensores ambientales en prácticamente cualquier aplicación,» 2008. [En línea]. Available: <https://www.timetelemetry.com/product-page/etna2-aceler%C3%B3grafo-kinematics>.
- [26] v. vera, «kinematics advancement through innovation,» 2019. [en línea]. available: https://kinematics.com/post_products/rockhound/.
- [27] CVC, «Microzonificación sísmica y estudios generales de riesgo sísmico en las ciudades de palmira, tulua y buga,» palmira , 2008.
- [28] J. Arias, «La base de datos en línea de la red de acelerógrafos de Colombia Primera Fase(1994-2008),» ISSN 2346-4119, Colombia .
- [29] J. Correa, «La Base de Datos en Línea de la Red de acelerógrafos de Colombia: primera fase (1994-2008),» ISSN 2346-4119, nº 1/12, p. 12.
- [30] N. Barrera, «selección de familias de acelerogramas para el método de análisis cronológico en la ciudad de bogota,» bogota, 2018.
- [31] C. Florez, «Zonificación Integral Por Amenazas Naturales Para La Ciudad de Villavicencio,» INGEOMINAS , Bogotá , 2003.
- [32] M. Palacios, A. I. Alvarado y C. Castellanos, «Zonificación sismogeotécnica indicativa de la ciudad de villavicencio,» *Convenio Interadministrativo 012/2002*, vol. II, nº 012, p. 7, 2003.
- [33] UNAM, «Base de datos de registros acelerográficos de la RAIL,» 10 05 2014. [En línea]. Available: <https://aplicaciones.iingen.unam.mx/AcelerogramasRSM/DscArcStd.aspx>.

- [34] J. H. C. Arias, «La base de datos en línea de la red de acelerografos de Colombia 1994-2008,» ISSN 2346-4119, Colombia , 2013.
- [35] A. J. R. Parra, «Mapa Geologico del Departamento del Meta,» Ingeominas , Colombia , 2001.
- [36] M. Anderson, «Ecured,» 27 Agosto 2019. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Villavicencio_\(Colombia\)](https://www.ecured.cu/Villavicencio_(Colombia)).
- [37] L. Papa, «Prezi,» 3 Septiembre 2015. [En línea]. Available: <https://prezi.com/qux5ae1tg7qz/fuentes-hidricas-de-villavicencio/>.
- [38] G. Chicangana, «El posible escenario de un sismo de magnitud Mayor 6.5, para la ciudad de Villavicencio,» Revista Colombiana de Geografia, Villavicencio , 2012.
- [39] G. Chicangana, «La Amenaza Sismica De Villavicencio y el piedemonte llanero del centro de Colombia Corporacion Universitaria Del Meta,» ResearchG, Villavicencio, 2019.
- [40] S. +. suministros, «Instrumentacion sismica para edificaciones NSR-10,» 01 05 2018. [En línea]. Available: http://www.ssi.com.co/?gclid=CjwKCAiA17P9BRB2EiwAMvwNyNbUo6frMZpncomTB6neNrIQtdoEeGE7GBnMZr3PtadQZKOiQJ2amRoCPj8QAvD_BwE.
- [41] Kinematics, «Advacement through innovation,» 01 01 2020. [En línea]. Available: https://kinematics.com/post_products/etna-2/.
- [42] L.Yamin, «Vision Integral de los estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y riesgo Sismico,» CITEC, Valle del Cauca, 2006.
- [43] J.Ceballos, «Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial,» 16 Octubre 2007. [En línea]. Available: http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/3002_670_424-5_emp.pdf. [Último acceso: 5 Diciembre 2020].
- [44] M.Bermudez, «La Red Nacional De Acelerografos de Colombia,» 1 Agosto 2013. [En línea]. Available: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Septiembre2007/CD3/pdf/spa/doc15953/doc15953-a.pdf>. [Último acceso: 5 Diciembre 2020].