



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
UNIDAD TICOMÁN

“DETERMINACIÓN DE MECANISMOS FOCALES EN EL VALLE DE MÉXICO
DURANTE EL PERÍODO 2014-2016”

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO GEOFÍSICO

PRESENTA:
FRANCISCO JAVIER PASSARON ARROYO

ASESOR INTERNO:
ING. OMAR CRISTIAN CHÁVEZ HERNÁNDEZ

ASESOR EXTERNO:
DR. LUIS QUINTANAR ROBLES



CIUDAD DE MÉXICO, NOVIEMBRE 2019

INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Presente

Bajo protesta de decir la verdad el (la) (los) que suscribe Francisco Javier Passaron Arroyo, manifiesto ser autor (a) (es) y titular de los derechos morales y patrimoniales de la obra titulada “Determinación de Mecanismos Focales en el Valle de México durante el período 2014-2016”, en adelante “LA TESIS” y de la cual se adjunta copia, por lo que por medio del presente y con fundamento en el artículo 27 fracción II, inciso b) de la Ley Federal del Derecho de Autor, otorgo a el Instituto Politécnico Nacional, en adelante EL IPN, autorización no exclusiva para comunicar y exhibir públicamente total o parcialmente en medios digitales (Publicación en Línea) “LA TESIS” por un período de (un año) contando con la fecha de la presente autorización, dicho período se renovará automáticamente en caso de no dar aviso expreso a “EL IPN de su terminación.

En Virtud de lo anterior, “EL IPN” deberá reconocer en todo momento mi calidad de autor de “La Tesis”

Adicionalmente, y en mi calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de “La Tesis”, manifiesto que la misma es original y que la presente autorización no contraviene ninguna otorgada por el suscrito respecto de “La Tesis”, por lo que deslindo de toda responsabilidad a EL IPN en caso de que el contenido de “La Tesis” o la autorización concedida afecte o viole derechos de autorales, industriales, secretos industriales, convenios o contratos de confidencialidad o en general cualquier derecho de propiedad intelectual de terceros y asumo las consecuencias legales y económicas de cualquier demanda o reclamación que puedan derivarse del caso.

Ciudad de México, a 13 de Noviembre del 2019

Atentamente



Francisco Javier Passaron Arroyo

Nombre (s)



EP Y T/382/2019.

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Asunto

Registro de Tema.

CDMX, 30 de Septiembre de 2019.

C. FRANCISCO JAVIER PASSARON ARROYO
PASANTE DEL PROGRAMA ACADÉMICO
DE INGENIERIA GEOFÍSICA
PRESENTE

A continuación comunico a usted, el tema y contenido que deberá desarrollar en su tesis profesional, indicándole que tiene un año a partir de esta fecha, para elaborarla.

"DETERMINACIÓN DE MECANISMOS FOCALES EN EL VALLE DE MÉXICO DURANTE EL PERÍODO 2014-2016".

	RESUMEN
	ABSTRACT
	INTRODUCCIÓN
CAPÍTULO I.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA SOBRE EL ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO ACERCA DE LA SISMICIDAD ORIGINADA EN LA ZONA, SUS CAUSAS Y MARCO GEOTECTÓNICO
CAPÍTULO II.	LA RED SÍSMICA DEL VALLE DE MÉXICO: INSTRUMENTACIÓN Y DATOS
CAPÍTULO III.	METODOLOGÍA
CAPÍTULO IV.	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN
CAPÍTULO V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES
	BIBLIOGRAFÍA

ATENTAMENTE

"La Técnica al Servicio de la Patria"

Ing. Fernando Rodríguez Chávez
Subdirector Académico.



UNIDAD TICOMÁN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

FRCH/betv**





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramirez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Folio

EP Y T/442/2019.

Asunto

Aprobación de tesis.

CDMX, 28 de Octubre de 2019.

ING. FERNANDO RODRÍGUEZ CHÁVEZ

SUBDIRECTOR ACADÉMICO

PRESENTE

Por este conducto, hacemos constar que el Tema de Tesis Profesional, por la opción de **Tesis Individual**, "**DETERMINACIÓN DE MECANISMOS FOCALES EN EL VALLE DEMÉXICO DURANTE EL PERIODO 2014-2016.**"- presentado por el pasante del Programa Académico de Ingeniería Geofísica, C. **FRANCISCO JAVIER PASSARON ARROYO**, fue revisado y aprobado por los suscritos considerándolo ampliamente desarrollado, por lo tanto esa Subdirección a su cargo, puede señalar fecha para realizar el Examen Oral.

TITULARES

ING. ROBERTO LOO GUZMAN

ING. TEÓFILO HERNÁNDEZ ALCÁNTARA

ING. ALEJANDRO MENDOZA MARAVILLAS

ING. JORGE JAÍME MENGELLE LÓPEZ

ING. OMAR CRISTIAN CHÁVEZ HERNÁNDEZ





Folio

EP Y T/370/2019.

Asunto

ASESORIA DE TESIS

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

CDMX, 23 de Septiembre de 2019.

ING. OMAR CRISITIAN CHÁVEZ HERNÁNDEZ

PRESENTE

En atención a la Solicitud del **C. FRANCISCO JAVIER PASSARON ARROYO**, pasante del Programa Académico de **Ingeniería Geofísica** con base en el Reglamento de Titulación Profesional del I.P.N., Capítulo II, Artículo 5, Fracción II y el Artículo 7 Inciso I, se le informa que ha sido seleccionado para asesorar la tesis del pasante mencionado. Por lo que solicito a usted se sirva proponer dentro de un plazo de 30 días calendario, el tema de tesis y contenido a desarrollar por el interesado.

Seguro de contar con su participación, la saludo cordialmente.

ATENTAMENTE

"La Técnica al Servicio de la Patria"

Ing. Fernando Rodríguez Chávez

Subdirector Académico



UNIDAD TICOMÁN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

c.c.p. Ing. Roberto Loo Guzmán.- Jefe del Departamento de Innovación Educativa
Archivo.

FRCH/betv*





"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"
60 años de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos
70 Aniversario del CECyT No. 3 "Estanislao Ramírez Ruiz"
60 años de XEIPN Canal Once, orgullosamente politécnico
60 Aniversario del CECyT No. 4 "Lázaro Cárdenas"

Folio

EP Y T/373/2019.

Asunto

ASESORIA DE TESIS

CDMX, 23 de Septiembre de 2019.

DR. LUIS QUINTANAR ROBLES

Investigador de Carrera Titular B
Del Instituto de Geofísica de la UNAM

PRESENTE

En atención a la Solicitud del **C. FRANCISCO JAVIER PASSARON ARROYO**, pasante del Programa Académico de **Ingeniería Geofísica** y tomando en consideración sus altos méritos profesionales, me es grato invitarlo a dirigir el trabajo que con fines de titulación profesional por la opción de **Tesis Individual**, deberá desarrollar el interesado, por lo que solicito a usted, se sirva proponer a esta Subdirección el Tema y Contenido.

En la confianza de que contaremos con su colaboración, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE

"La Técnica al Servicio de la Patria"

Ing. Fernando Rodríguez Chávez
Subdirector Académico



UNIDAD TICOMÁN
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA

FRCH/betv*

Recibi original
25 Septiembre 2019
S.O.T.A.



*Cuando he andado solo en este mundo,
Cuando no he amado a mis padres, mis hermanos y mis amigos,
O cuando no te he amado a ti,
He amado algo más importante,
He amado mi esencia, mi ser, lo espiritual y a mi Dios.
La fe está presente en cada hombre,
Cuando él hombre entienda la naturaleza de su ser,
Cuando entienda que: como es arriba, es abajo
En ese momento, la creencia de lo espiritual, lo mundano, lo pagano y su ser será unificado
La unificación de la naturaleza.
Porque todos somos el propósito y la esencia de algo.*

F.J. Passaron

Dios, la esencia, naturaleza y gran arquitecto del universo. Cuando he estado solo y en los peores momentos de mi vida nunca me ha abandonado, siempre crece y hace que nazca la esperanza y fe en mí.

Dedicatorias

Para las personas más importantes en mi vida:

*Mis padres, **Isabel Arroyo Cortés** y **Sabino Roman Passaron Cortes**, quien gracias a ellos y a su apoyo he logrado salir adelante, siempre me han aconsejado y guiado para ser una persona ejemplar desde mi niñez. Los amo y estaré eternamente agradecido con ustedes para siempre. A mis padres les digo muchas gracias por todos los consejos que me han dado, por todos los cariños y por todos aquellos regaños que me han hecho saber que no iba por el camino correcto.*

*Mis hermanos, que de ellos siempre he tenido lo mejor, su apoyo incondicional y su amor, **Yeni Passaron Arroyo, Areli Passaron Arroyo y Giovanni Passaron Arroyo.** Mis hermanos que me han dado los más grandes regalos del mundo, mis sobrinos: **Claudia, Johana, Zoe, Dulce, Perla, Jordi y Saul***

*Una mención especial a **Elsie Oyorzabal y Sofymar Cabrera,** que siempre han sido leales a la amistad que tenemos desde hace ya muchos años. Desde que los conocí siempre han sido auténticos y siempre sé que contare con ustedes mis queridos amigos.*

*A mi mejor amigo y mejor economista, **Pedro Rojas,** con el que he tenido muchas experiencias, tal vez muy locas o muy fuera de lo común, pero en estos años me han ayudado mucho sus palabras, consejos y sobre todo su manera y perspectiva de ver la vida, gracias amigo mío.*

*A una de mis mejores casualidades en la vida, **Pepe Vargas,** en quien he encontrado un gran ser humano, una buena persona y quien me ayudo a concluir esta importante etapa de mi vida. Eres la clase de persona que alegra, motiva y hace que cada momento valga la pena; tu forma de ver la vida, tu madurez, sencillez y lucha son algo que siempre admirare de ti. Gracias totales.*

*Mis amigos que al principio les costó mucho tolerarme y acostumbrarse a mi forma de ser, a ellos les digo gracias por su compañía, por pasar tantos ratos agradables e incomparables que tal vez se vuelvan a repetir pero ya no se volverán a vivir de la misma manera; a ellas les digo que siempre l@s llevo presentes: yo no me olvida de ustedes, el tiempo y las circunstancias a veces nos separan. **Omarts, Alfreduqui, Itzaaaaa,Liz, Almeja, Xavier, Erika, Viridiana, Almeja, Miguel, Jenny,** y a todas aquellas personas que conocí durante este trayecto, que para bien o para mal siempre me quede con lo mejor de ustedes.*

Agradecimientos

Dr. Luis Quintanar Robles, quien merece mi más grato agradecimiento por aceptarme como alumno tesista, por apoyarme y aconsejarme siempre. Por su valiosa dedicación, paciencia y aportaciones en cada una de las dudas que tuve en el desarrollo de la tesis. Sobre todo, por ser un gran mentor y uno de las mejores personas con la que he tenido la oportunidad de trabajar académicamente. Gracias por llevarme a conocer y aventurarme en este mundo tan maravilloso de la Sismología.

Al Comité de Becas del **Instituto de Geofísica de la UNAM**, por el apoyo económico que se me dio para la realización de la tesis de licenciatura. Al **Servicio Sismológico Nacional** y al personal a cargo; por el apoyo que se me brindaron y por la facilidad de proporcionarme los datos de los sismos.

Un agradecimiento especial a la Maestra **Delia Iresine Bello Segura**, por todo el apoyo que me brindo, por su paciencia y por ayudarme cada vez que tenía alguna duda.

Al Ingeniero **Omar Cristian Chávez Hernández**, quien me apoyo en cada una de las dudas que tuve, y quien me guio con sus conocimientos en sismología para poder emprender este trabajo; por apoyarme en el manejo de los software. Gracias por cada una de sus palabras de ánimo que me dio cuando más las necesitaba y por sus consejos para seguir adelante.

ÍNDICE

Resumen.....	VIII
Abstract.....	IX
Objetivos.....	X
Introducción.....	XI
1. Antecedentes Geotectónicos y Sísmicos del Valle de México.....	1
1.1. Sismicidad y Zonificación de la República Mexicana y del Valle de México.....	1
1.1.1 Geotectónica del Valle de México.....	3
1.2.1. Zonificación del Valle de México.....	5
1.3. Fallas en el Valle de México.....	7
1.4. Estudios Previos de la Sismicidad en el Valle de México.....	10
1.4.1. Origen de la Sismicidad en el Valle de México.....	10
2. Mecanismo Focal de un Terremoto.....	13
2.1. Mecanismo Focal.....	13
3. Estudios Previos.....	20
4. La Red Sísmica del Valle de México: Instrumentación y datos.....	22
4.1. Historia e Instrumentación.....	22
4.2. Datos.....	24
5. Análisis de Datos.....	26
5.1. Eventos Sísmicos.....	26

5.2. Mecanismos Focales en el Valle de México.....	31
5.3.1. Interpretación, características y localización de los mecanismos focales en la zona de estudio.....	36
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	42
7. Bibliografía.....	44
Anexos.....	47

Resumen

En el presente trabajo se hace un análisis de la actividad sísmica del Valle del México y se propone la solución de mecanismos focales de los eventos sísmicos comprendidos dentro del año 2014 al 2016. Se analizaron 22 eventos sísmicos dentro del periodo de estudio, todos estos con origen dentro del Valle de México.

Dentro del estudio realizado se puede observar que los eventos sísmicos y sus soluciones de mecanismos focales caen principalmente dentro de tres tipos de sistemas de fallas dentro del Valle de México.

La mayoría de las soluciones de los mecanismos focales que resultan de los sismos que hay dentro del Valle de México tienden a ser de tipo Normal (fallas normales), en el presente trabajo de acuerdo a la información que se nos proporcionan y de acuerdo a las soluciones que obtendremos, veremos si en los actuales sismos también se deben por desplazamientos de tipo normal, ya que en la actualidad y gracias a una mayor tecnología y cobertura de estaciones sísmicas dentro del Valle de México, no podemos dejar fuera ninguna posibilidad de que los eventos sísmicos tengan una solución de mecanismos diferente tal y como lo presentan los eventos ocurridos el 3 de Agosto y 1 de Diciembre del año 2014 (Solución de Mecanismo Focal Inversos) .

Abstract

In this thesis an analysis of the seismic activity of the Valley of México is made and the solution of focal mechanisms of the seismic events included between 2014 and 2016 is proposed. 22 seismic events were analyzed within the study period, all of which originated within the Valley of México.

Within the study carried out, it can be observed that seismic events and their focal mechanism solutions fall mainly within three types of fault systems within the Valley of Mexico.

Most of the solutions of the focal mechanisms that result from the earthquakes that exist within the Valley of Mexico tend to be of the Normal type (normal failures), in the present work according to the information provided to us and according to the solutions that we will obtain, we will see if in the current earthquakes they are also due to displacements of normal type, since at present and thanks to a greater technology and coverage of seismic stations within the Valley of Mexico, we cannot leave out any possibility that the Seismic events have a different mechanism solution as presented by the events that occurred on August 3 and December 1 of 2014 (Reverse Focal Mechanism Solution).

Objetivos

Objetivo General

Encontrar las soluciones de los mecanismos focales para los sismos ocurridos dentro del Valle de México durante el periodo comprendido de año 2014 al año 2016.

Objetivos Particulares

1.- Asociar las soluciones de los mecanismos focales obtenidas con los diferentes sistemas de fallas del sitio de interés.

2.- Identificar y analizar soluciones de mecanismos focales diferentes al tipo de fallas que ya están determinadas.

3.- Comparar los resultados con estudios previos referentes a la zona.

4.- Corroborar que la sismicidad en el Valle de México es producto de fuentes naturales asociadas a fallas tectónicas.

INTRODUCCIÓN

El Valle de México es una de las zonas más densamente pobladas del mundo, usualmente se ve afectado por los terremotos que se generan en los límites de placas tectónicas en la costa sur del país (Placa de Cocos, Placa de Norteamérica y Placa del Pacífico). Debido a la geología que tiene esta zona y como si no fuera suficiente, aunado a estos terremotos devastadores, regularmente se registra actividad sísmica dentro del Valle de México.

Esta sismicidad local suele ser de muy baja magnitud y la mayoría de las veces pasa desapercibida por la población. Existe una controversia respecto al origen de dicha actividad sísmica, por un lado se asegura que los terremotos tienen su génesis en los sistemas de fallas locales, por otro lado la explicación de estos fenómenos pueden atribuirse a factores antropogénicos, como por ejemplo la actividad industrial, la sobre explotación de los acuíferos, la subsidencia del suelo debido al peso de las construcciones, entre otros.

“El estudio de la sismicidad en el Valle de México es de gran importancia, ya que proporciona información sobre los procesos de deformación de la corteza continental que están teniendo efecto en la parte central del Eje Neovolcánico y así poder reconstruir el tamaño que tiene este campo de esfuerzos local” (Huesca, 2008)

Los pequeños movimientos que ocurren en la zona del Valle de México generan sismos los cuales son registrados por la Red Sísmica del Valle de México (RSVM) la cual cuenta hasta la fecha con 31 estaciones digitales de banda ancha, distribuidas a lo largo del VM.

Es variada la cantidad de sismos que se pueden presentar durante el periodo de un año dentro del VM ya que hay varios que se generan debido a la actividad volcánica que se presenta en la Sierra Nevada correspondiente a la zona de volcanes (Iztaccíhuatl y Popocatépetl).

La Solución de los Mecanismos Focales nos permite y nos da una idea del tipo de deslizamiento que genero el sismo (falla normal, inversa o cortante). Dentro del Valle de México la mayor probabilidad de que un sismo ocurra por movimientos de tipo normal es de gran probabilidad, pero no hay que descartar los otros dos tipos de deslizamientos, ya que debido a los avances tecnológicos y más que nada a una mayor cobertura de estaciones sísmicas dentro del Valle de México se puede determinar con mayor exactitud y probabilidad el tipo de Solución de Mecanismo Focal.

1 Antecedentes Geotectónicos y Sísmicos del Valle De México

1.1.- Sísmicidad y Zonificación de la República Mexicana y del Valle de México.

La república Mexicana está situada en una de las regiones sísmicas más activas del mundo, dentro de la llamada área conocida como el Cinturón de Fuego (Cinturón Circunpacífico), donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta.

La alta sísmicidad en el país, se debe principalmente a la interacción entre las placas de Norteamérica, la de Cocos, la del Pacífico, la de Rivera y la del Caribe, así como a fallas locales que ocurren a lo largo de ciertas regiones en los Estados, aunque estas últimas son menos peligrosas, debido a que dichos fallamientos provocan una sísmicidad local de baja magnitud.

Con fines de diseño antisísmico, la República Mexicana se divide en zonas sísmicas, cuatro para ser precisos (Figura 1.1). Esta clasificación se pudo lograr utilizando los catálogos de sismos del país desde inicios del siglo XX.

La zona A es una zona donde no se tienen registros históricos de sismos, no se han reportado sismos en los últimos 80 años y no se esperan aceleraciones del suelo mayores a un 10% de la aceleración de la gravedad a causa de temblores.

La zona B y C son zonas intermedias, donde se registran sismos no tan frecuentemente o son zonas afectadas por altas aceleraciones pero que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo.

La zona D es una zona donde se han reportado grandes sismos históricos, donde la ocurrencia de sismos es muy frecuente y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad.

Las áreas de mayor riesgo de sismicidad en México se concentran en la costa occidental del país a lo largo de los bordes de varias placas cuyo contacto es conocido como Trincheras.



Figura 1.1.- Zonas sísmicas de la República Mexicana. Recuperada de la Página Web del CIRES, AC <https://blogcires.mx/> [Consulta: 29 de Abril 2017]

1.2.- Geotectónica del Valle de México.

El Valle de México se encuentra ubicado sobre uno de los más importantes rasgos fisiográficos del país: El Eje Neovolcánico Mexicano, el cual abarca desde el Golfo de México hasta el Océano Pacífico en dirección E-W. Su forma es alargada de N-S midiendo aproximadamente 110 km en su eje mayor mientras que en su eje menor, de E-W, mide aproximadamente 80 km. Tiene una altitud de 2236 m.s.n.m en su parte más baja y alcanza hasta 5230 m.s.n.m en la parte más alta del Valle: la punta del Popocatepetl.

Se le considera una estructura geomorfológica de origen tectónico (orogénico), originalmente cerrada (endorreica) pero artificialmente abierta por el tajo de Nochistongo y las obras civiles del desagüe profundo de la ciudad de México. De acuerdo a las descripciones geográficas de *García-Cubas (1906)* y *De la O-Carreño (1954)*, en general el valle de México está limitado al sur por el campo volcánico Chichinautzin, siendo éste el responsable de haber cerrado la cuenca en esta parte sur, y la sierra de Pachuca y Tepetzotlán y los cerros de Xalpa y Sincoque en la parte norte. Por el oriente la delimitan las estribaciones de la Sierra Nevada, de la que forman parte los volcanes Popocatepetl e Iztaccihuatl. Fisiográficamente, fueron definidas las subprovincias de Apan, Pachuca, Zumpango, Texcoco y Xochimilco-Chalco, por *De la O-Carreño (1954)*.

En general, en el Valle de México, las descripciones litológicas que se conocen, comprenden una amplia variedad de productos volcánicos, como aglomerados, derrames, lahares, surges, lapillis, brechas, ceniza volcánica, etc. También han sido descritas sucesiones monótonas de arcillas, limos y horizontes arenosos en paquetes de más de 1,000m de diatomita, la zona menos complicada litológicamente corresponde a la porción meridional de la cuenca formada por el campo volcánico-basáltico de la sierra de Chichinautzin.

Las zonas más jóvenes del valle son los depósitos aluviales, la serie volcánica del Cerro de la Estrella y a Sierra de Chichinautzin. Más antiguas son las tobas de la

formación Tarango y las lavas andesíticas del Iztaccihuatl y el Ajusco. Una base de calizas que afloran en diversas partes de la cuenca forma su propio fondo. En el perfil de la Figura 1.2 (Mooser, 1990) se muestra un corte esquemático de la parte superficial de la cuenca donde se aprecia las principales formaciones geológicas así como fallas que pueden dar origen a sismos locales.

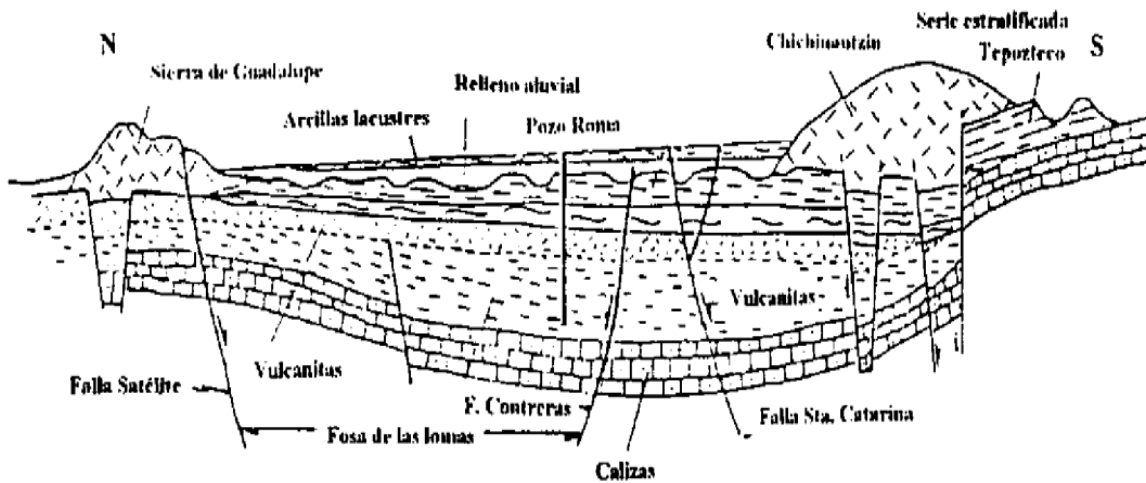


Figura 1.2.- Mooser, (1990). Corte de Superficie de la Cuenca de México

2.2.1.- Zonificación del Valle de México.

Respecto a lo mencionado anteriormente, la zona del Valle de México se encuentra ubicada en la Zona B, debido a las condiciones y características que presenta el subsuelo de éste.

Desde el punto de vista de la Sísmica, los 150 m más superficiales son los más relevantes ya que determinan los efectos más importantes de amplificación. Con los primeros trabajos de exploración y de laboratorio se conocieron las propiedades del subsuelo en la zona céntrica de la ciudad, los cuales dieron origen a la primera zonificación de la ciudad.

Se pueden distinguir tres zonas de acuerdo al tipo de suelo (Figura 1.2.1):

- Zona I, firme o de lomas: localizada en las partes más altas de la cuenca del valle, está formada por suelos de alta resistividad y poco compresibles.
- Zona II o de transición: presenta características intermedias entre las Zonas I y III
- Zona III o de Lago: localizada en las regiones donde antiguamente se encontraban lagos (lago de Texcoco, Lago de Xochimilco hace más de 500 años). El tipo de suelo consiste en depósitos lacustres muy blandos y compresibles con altos contenidos de agua y con profundidades de hasta 60 m en Texcoco y mayores de 100 m en Tláhuac, lo que favorece la amplificación de las ondas sísmicas.

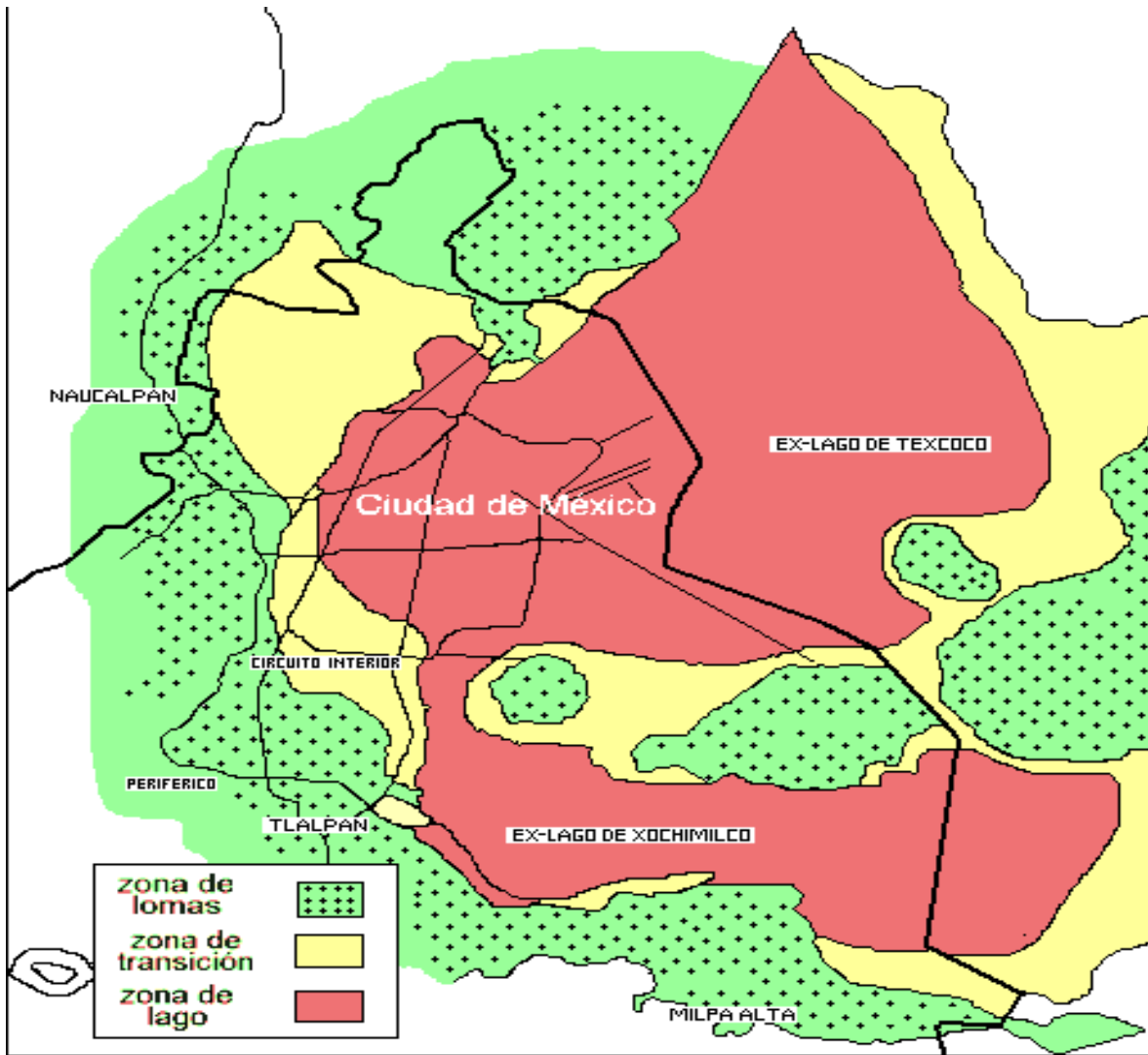


Figura 1.2.1.- Zonificación del Valle de México. Recuperado de la página del SSN http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp [Consulta: 29 de Marzo de 2017]

1.3 Fallas en el Valle de México.

En el Valle de México, de acuerdo a varios estudios geológicos y geofísicos realizados con anterioridad como los de *De Cserna (1988)*, *García Palomo et al. (2008)* entre otros, nos podemos dar una idea de cómo están distribuidas las fallas a lo largo y ancho del Valle. Algunas de estas fallas siguen activas hoy en día, por lo cual podrían ser el origen principal de algunos sismos.

Según lo anterior podemos dividir el Valle de México en cinco regiones de fallamiento según donde encuentren localizados (Figura 1.3.1), a continuación se describe cada una de ellas:

- Sistema de fallas Sierra de las Cruces.

La Sierra de Las Cruces (SC) que constituye el límite occidental de la cuenca de México. Tiene una longitud de 110km y un ancho de 27km a 47km en la parte norte y sur respectivamente. La caracterizan tres sistemas de fallas que son N-S, NE-SW y E-W.

El sistema N-S presenta en general arreglos en échelon y ligeramente anastomosados. Tiene rumbos que varían entre N 15°W a N 20°E. Una de las fallas más importantes que pertenece a este sistema es la denominada falla Tula-Mixhuca (Mooser 1992; Alaniz-Álvarez y Nieto-Samaniego, 2005; García-Palomo y Guerrero-Orozco, 2016). Esta es una amplia zona de deformación con dirección N-S a NNW-SSE. Otra falla importante es la de Ayotuzco (Romero-Terán, 2001), que consiste en una serie de fallas NNW-SSE que buzcan hacia el SW y están basculadas hacia el NE.

La zona de fallas NE-SW es el segundo sistema de fallas que caracteriza a la Sierra de Las Cruces y pertenece a la zona de cizallamiento Tenochtitlan (de Cserna et al., 1988), actúa como un sistema de fallas laterales izquierdas durante el Mioceno Tardío. Presenta un sistema de fallas con rumbo general entre N45°E a N65°E, y también son definidas tendencias N20°E con un arreglo geométrico paralelo y anastomosado.

El tercer y último sistema dentro de la Sierra de las Cruces es el sistema activo de fallas E-W, el cual está regionalmente asociado a la zona de fallas de Chapala-Tula (Johnson y Harrison, 1990) o sistema de fallas de Acambay-Morelia (Suter et al., 1991). Esta zona de fallas se caracteriza por la presencia de fosas tectónicas delimitadas por pilares.

- Sistema de Fallas Sierra de Guadalupe

Se pueden apreciar alineaciones de fallas normales en las direcciones dominantes al NE, NW y E-W. Además de compartir fallas con la Sierra de las Cruces debido a la cercanía. Sin embargo se pueden detectar la presencia de fallas como las siguientes. Falla de Tenayuca con orientación N40°E; la Falla del Chiquihuite, N20°E; en la cantera del cerro de María Auxiliadora, se reconoció una falla normal, con rumbo E-W y, las fallas normales en la cantera de cerro gordo, con orientación E-W, con caída al norte.

- Sistema de fallas Iztapalapa.

Cserna et al., 1987 propusieron la presencia de dos fallas geológicas inferidas para Iztapalapa con orientación N50°E cuya traza en superficie podría coincidir con los cerros de La Estrella y el Peñón. El fracturamiento en Iztapalapa cubre una superficie potencialmente afectada de 23.2 millones de metros cuadrados. En general el fracturamiento tiene una orientación NW-SE.

- Sistema de Fallas Santa Catarina

Esta sierra es el producto de una falla principal inclinada al sur y una casi paralela a la anterior inclinada hacia el norte. De Cserna (1988) reconocen una falla con orientación N75°-80°E que controla la Sierra Santa Catarina y otra dirección N45°E sobre la que se orienta el volcán Guadalupe.

- Sistema de Fallas de Tezoyo-Tepetlaoxtoc

Son de desplazamiento lateral orientadas en dirección general NE-SW, y a que algunas de ellas están relacionadas directamente con manifestaciones volcánicas monogenéticas cuaternarias. Para la zona de Tezoyo, existen cuatro tipos principales de fallas con rumbo promedio de N70°-75°E; y para la zona de Tepetlaoxtoc se localizan tres fallas principales con una orientación de rumbo aproximado de N50°W.

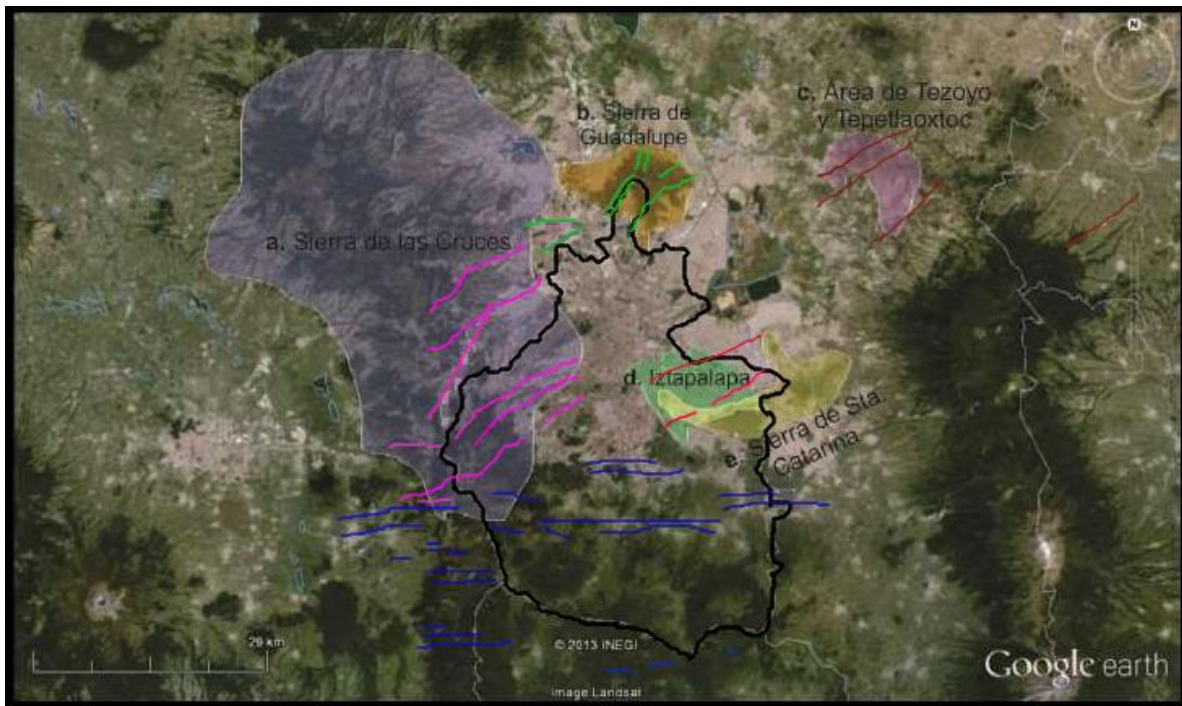


Figura 1.3.1.- Bello Segura (2009). Muestra las cinco regiones de fallamiento dentro del Valle de México: a) Sierra de las Cruces, b) La Sierra de Guadalupe, c) Área de Tezoyo y Tepetlaoxtoc, d) Sistema de fallas de Iztapalapa y e) Sierra Santa Catarina.

1.4 Estudios Previos de la Sismicidad en el Valle de México

1.4.1 Origen de la Sismicidad en el Valle de México

Las principales fuentes sísmicas que afectan al valle de México (*Rosenblueth, et al., 1987*) se pueden clasificar en cuatro grupos (Figura 1.4.1.1) Estos grupos son:

- Sismos intraplaca. Originados dentro de la cuenca o cerca de ella, generalmente alcanzan magnitudes de 7.0
- Sismos de Subducción. Los que más estragos han causado ya que pueden tener magnitudes mayores de 8.0. Pese a la relativa lejanía del Valle de México al epicentro de estos temblores (entre 280 y 600 km), la ciudad es particularmente vulnerable porque el tipo de ondas que llegan son de periodos largos y de gran duración, sobre todo en la zona de lagos. Debido a esto prácticamente cualquier sismo que ocurra en la zona de subducción, desde Jalisco hasta Oaxaca, representa un peligro para el Valle de México.
- Temblores de profundidad intermedia o conocidos como de fallamiento normal. Son originados por el rompimiento de la Placa de Cocos ya subducida. Los que se originan cerca de la zona de subducción llegan a tener magnitudes hasta de 8.0, pero a medida que el epicentro se aleja de esta zona la magnitud disminuye, llegando hasta 6.5 debajo del valle de México.

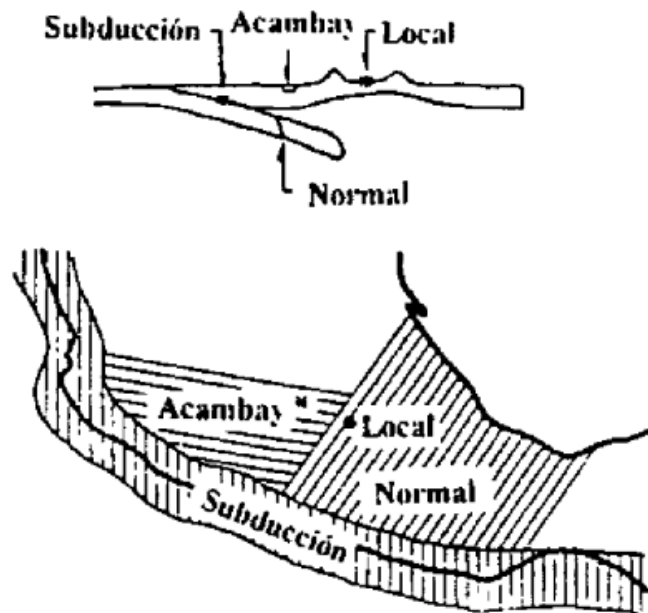


Figura 1.4.1.1.- Rosenblueth, et al., (1987). Tipos de sismos que afectan el Valle de México y sus posibles ocurrencias.

Por lo regular la actividad sísmica en el Valle de México es poco numerosa, de baja magnitud y se debe a la gran existencia de fallas en su corteza. Aunque los sismos ocurridos dentro del Valle de México son de baja magnitud y son importantes en función de la gran cantidad de población que ahí se asienta como de la poca profundidad de sus hipocentros. Esto provoca que cualquier sismo, por pequeño que sea, pueda ser sentido por alguna parte de la población y eventualmente cause daños en las construcciones.

Los sismos que llegan a ocurrir en la Ciudad de México o en sus cercanías tienen origen en los desplazamientos a lo largo de fallas antiguas, sísmicamente activas, que se originaron al formarse el Valle.

Debido a que los sismos que se originan dentro del Valle de México son generalmente de magnitud menor a 4.0, es difícil hacer una determinación precisa de las causas que los originan. Hay que recordar que el Valle está cubierto por una gruesa capa de sedimentos lacustres que dificultan las observaciones

sísmicas, y además, la intensidad actividad industrial de la ciudad produce ruido de fondo que enmascara las señales sísmicas (Figura 1.4.1.2).

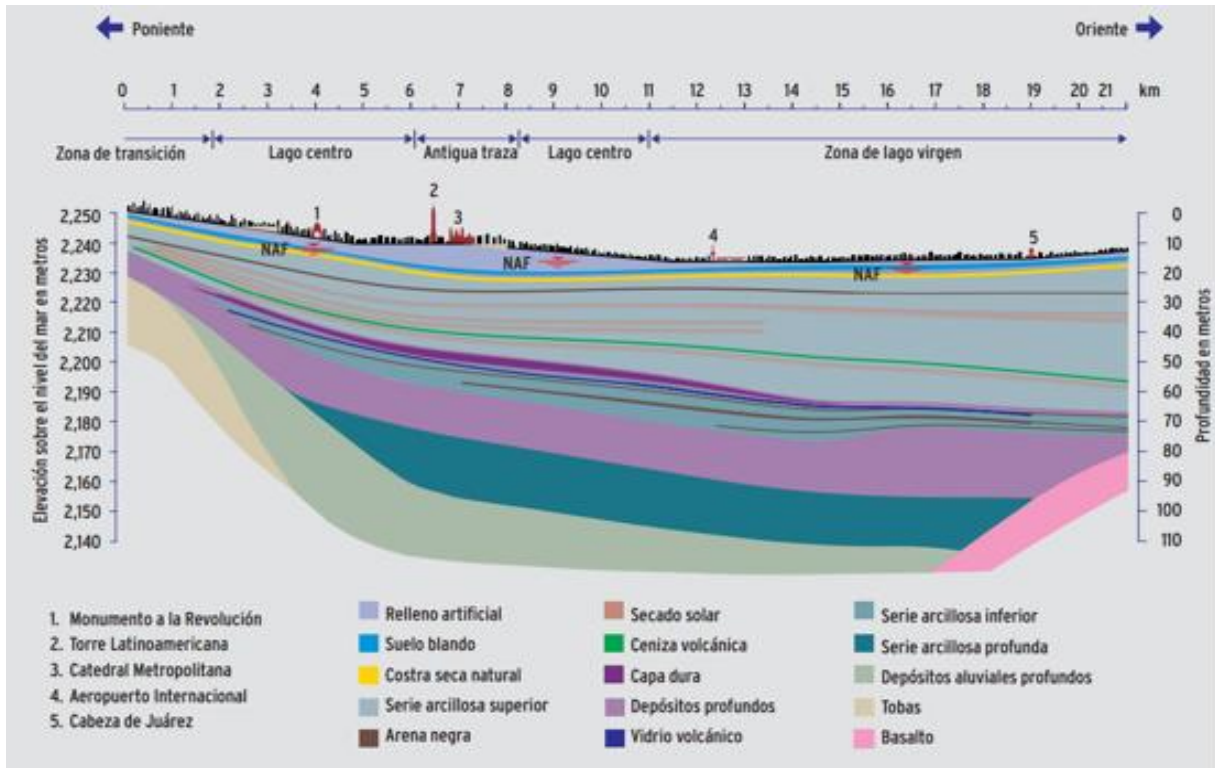


Figura 1.4.1.2.- Perfil estratigráfico del suelo en el Valle de México. Recuperado de la página del Instituto de Geología de la UNAM www.geologia.unam.mx [Consultado 30 de Marzo de 2017]

1 Mecanismo Focal de un Terremoto

2.1 Mecanismo Focal

El estudio del mecanismo focal de los terremotos consiste en determinar el tipo de falla que da origen a un sismo o a un grupo de ellos localizados en la misma región, y nos va a permitir obtener el estado de esfuerzos en dicha región focal. En general, se plantea como un problema inverso, ya que a partir de las observaciones, y los registros de los terremotos en las diferentes estaciones, se deducen los parámetros que definen a los procesos físicos ocurridos en la zona focal.

En el cálculo de un mecanismo focal de un terremoto, se supone que los parámetros que localizan el terremoto en el espacio (hipocentro) y tiempo (hora origen) se han determinado previamente (*Buform E. et al., 1994*).

En general se puede decir que los terremotos están asociados a fracturas en la corteza, por lo tanto, los modelos de fuente sísmica son modelos mecánicos que representan el fenómeno físico de la fractura. Existen modelos de fuente sísmica cinemáticos y dinámicos.

- Modelos Cinemáticos, el campo de desplazamiento se obtiene directamente del vector de desplazamiento de la fractura en función de las coordenadas de la fractura y del tiempo sin considerar el estado de los esfuerzos (*Udias, et al., 1997*).
- Modelos Dinámicos, calculan el desplazamiento de la fractura a partir del estado de esfuerzo que actúan en la región focal (*Madariaga, et al., 1985*).

Existen diversos métodos que nos permiten obtener el mecanismo focal de un terremoto a partir de los registros del mismo entre los cuales se encuentran: Orientación de los Planos de Falla a partir de la Polaridad de Ondas Internas; Métodos Gráficos; Métodos Numéricos; Soluciones Compuestas; Función Temporal de la Fuente Sísmica; Modelización de Formas de Onda; Funciones de Green Empíricas; Análisis Espectral; y la Inversión del Tensor Momento Sísmico [Para más información sobre cada uno de los métodos, consultar: *Methods for estimation of focal mechanism of earthquakes*; E. *Buforn, et al., 1994*].

Sismogramas registrados a diferentes distancias y azimuths son usados para estudiar la geometría de la falla o mecanismo focal. Para ello es necesario comprender el comportamiento de las ondas elásticas que se propagan desde el origen de la falla. Para la determinación del mecanismo focal utilizamos dos tipos de ondas sísmicas. El primero tipo de onda, está constituido por las ondas de cuerpo, las cuales se propagan desde el interior de la tierra, desde el foco sísmico o hipocentro. El segundo tipo, está constituido por las ondas de superficie, las cuales se propagan de manera radial desde el epicentro sísmico a una velocidad mucho menor que las ondas de cuerpo (Figura 2.1.1)

Las ondas de cuerpo son más fáciles de utilizar para determinar el mecanismo focal de un terremoto. Básicamente la idea para tal fin es simple: la primera onda de cuerpo en llegar a un sensor sísmico desde un terremoto distante es la de compresión (Onda P). El sentido del movimiento inicial del suelo varía entre estaciones sísmicas instaladas a diferentes azimuths desde el terremoto. Así, tenemos que el primer movimiento será de dilatación para las estaciones sísmicas en las que el desplazamiento de la falla es de acercamiento. De modo contrario,

para las estaciones en las que el movimiento de la falla es de alejamiento, esta será de compresión. El sentido del primer movimiento se puede observar en un sismograma de componente vertical, el movimiento compresivo y el de dilatación corresponden respectivamente a un movimiento vertical hacia arriba (compresión) o hacia abajo (dilatación).

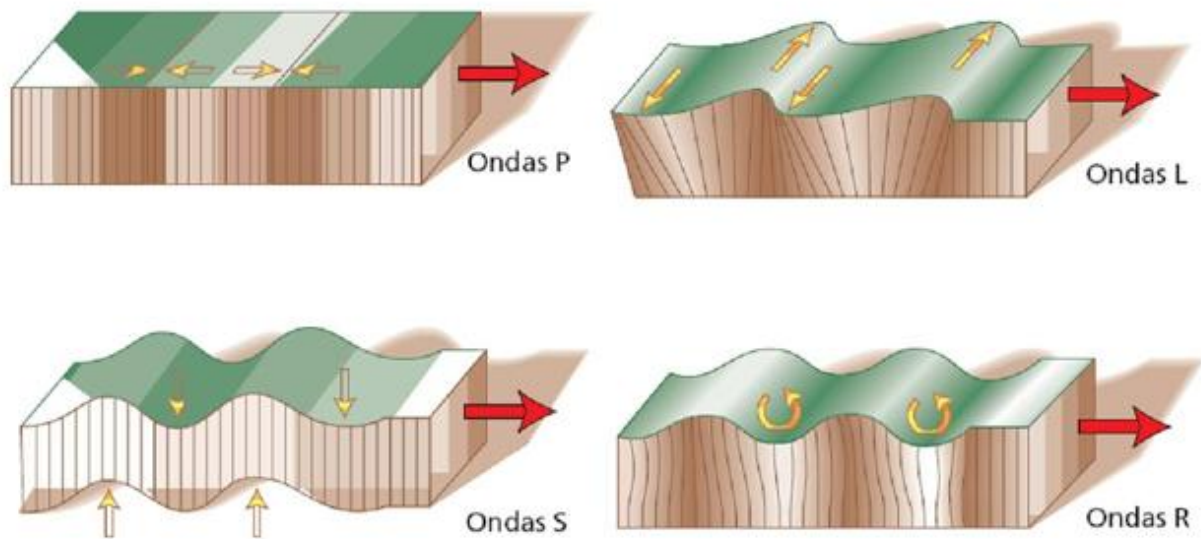


Figura 2.1.1.- Tipos de ondas Sísmicas; Ondas de Cuerpo: P y S; Ondas Superficiales: Ondas Love y Rayleigh.

Los primeros movimientos de las ondas sísmicas se distribuyen entre cuatro cuadrantes, dos compresivos y otros dos de dilatación (Figura 2.1.2). La división entre los cuatro cuadrantes es establecida a lo largo de la dirección de la falla y a lo largo de una dirección perpendicular a la anterior. Cuando cambia el movimiento del suelo de una dilatación a una compresión a lo largo de las direcciones de falla, los sismogramas mostraran un pequeño o prácticamente nulo movimiento inicial. Las dos direcciones perpendiculares son llamados planos nodales que diferencian

los cuadrantes compresivos de los cuadrantes de dilatación. Uno de los dos planos es llamado plano de falla, y el otro plano auxiliar y no tiene un significado geológico-estructural. Si podemos definir los cuadrantes, podemos conocer con bastante aproximación la geometría de la falla que ocasionó el sismo. Un conocimiento previo de las estructuras geológicas existentes en el área afectada tales como las direcciones de fracturación dominantes o por distribución de las réplicas frecuentemente es un indicativo muy revelador de cuál podría ser el plano de falla.

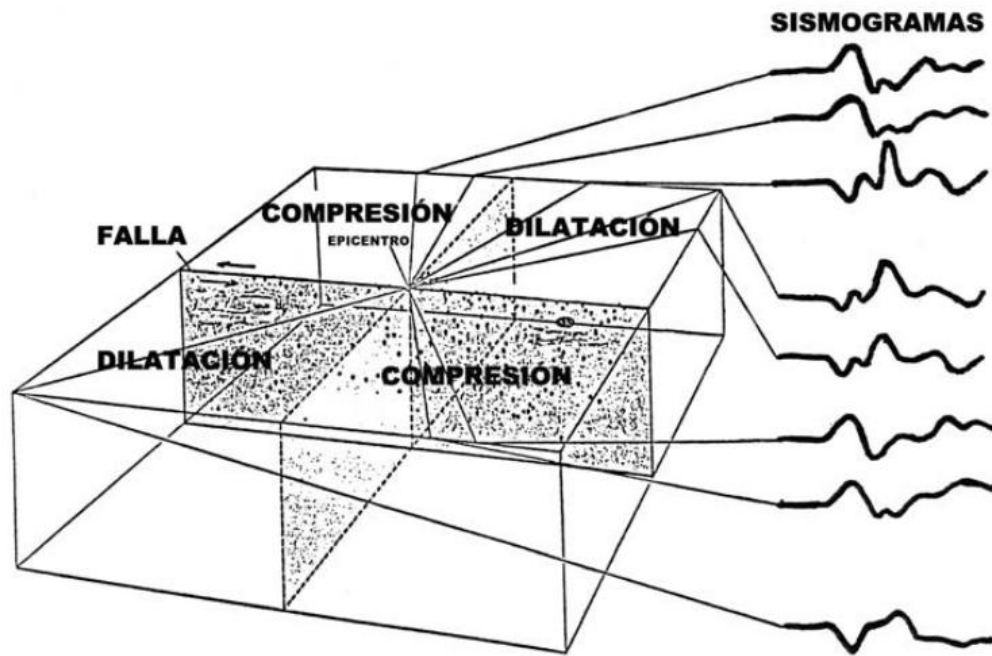


Figura 2.1.2.- Losada, J.A.R. Mecanismo Focal De Un Terremoto. Ondas P vistas desde diferentes azimuths desde un plano de falla. El signo del primer movimiento depende del cuadrante en que se encuentre la estación (arriba: compresión; hacia abajo: dilatación)

En Geología, una falla es una fractura, generalmente plana, en el terreno a lo largo de la cual se han deslizado los dos bloques el uno respecto al otro. Para entender un poco más acerca de las fallas se describe a continuación un diagrama con los parámetros que describen sus rasgos geométricos.

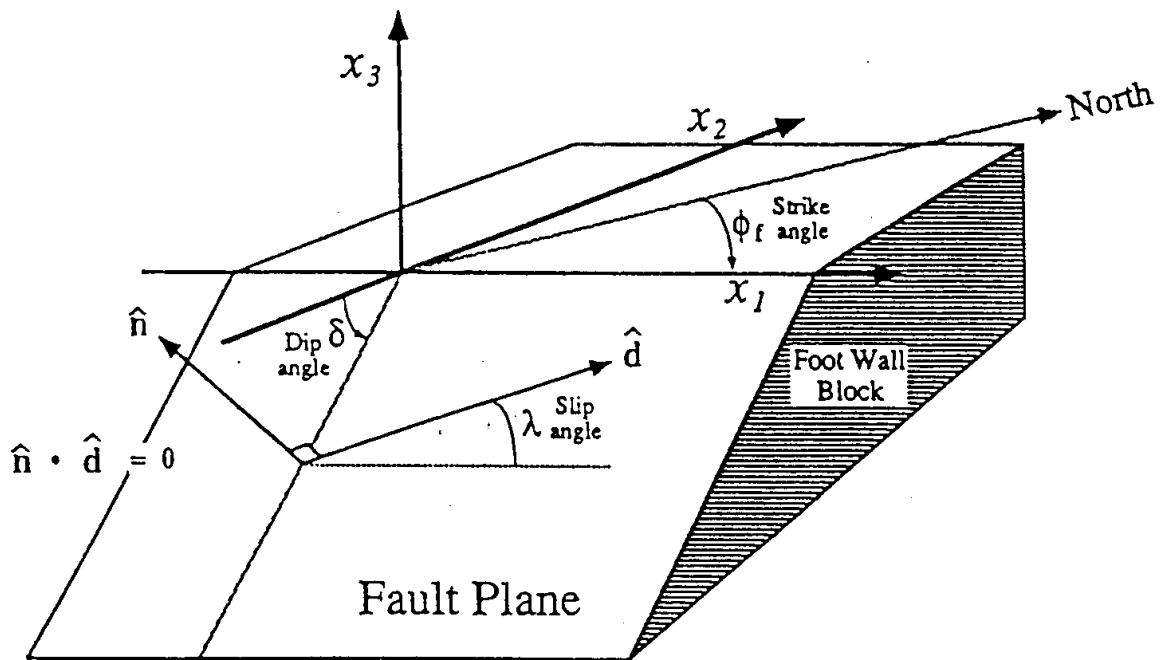


Figura 2.1.3.- Diagrama de una falla y los parámetros que la definen: strike, dip y rake.

\hat{n} - Vector normal al plano de falla.

\hat{d} - Vector de deslizamiento

ϕ_f - rumbo (strike) de la falla que se mide en sentido horario desde el Norte (0-360°)

δ - manteo/buzamiento (dip)

λ - el ángulo de deslizamiento (rake), entre el eje x_1 y \hat{d} en el plano de la falla (0-360°)

Asumiendo que el plano de falla puede ser diferenciado del plano auxiliar, el mecanismo focal proporciona la orientación del plano de la falla, la dirección de deslizamiento del techo de falla (hanging-wall) y por lo tanto el tipo de falla involucrada en el terremoto: normal, inverso, trascurrente o de desgarre, e incluso si tiene componentes verticales y horizontales (Figura 2.1.4).

Los diagramas de pelota de playa (beach-ball diagrams) de un mecanismo focal son proyecciones estereográficas que muestran dos cuadrantes negros y dos blancos, separados por un arco de un gran círculo orientado a 90° uno del otro. En el cual los cuadrantes de color negro representan las compresiones y los blancos las dilataciones.

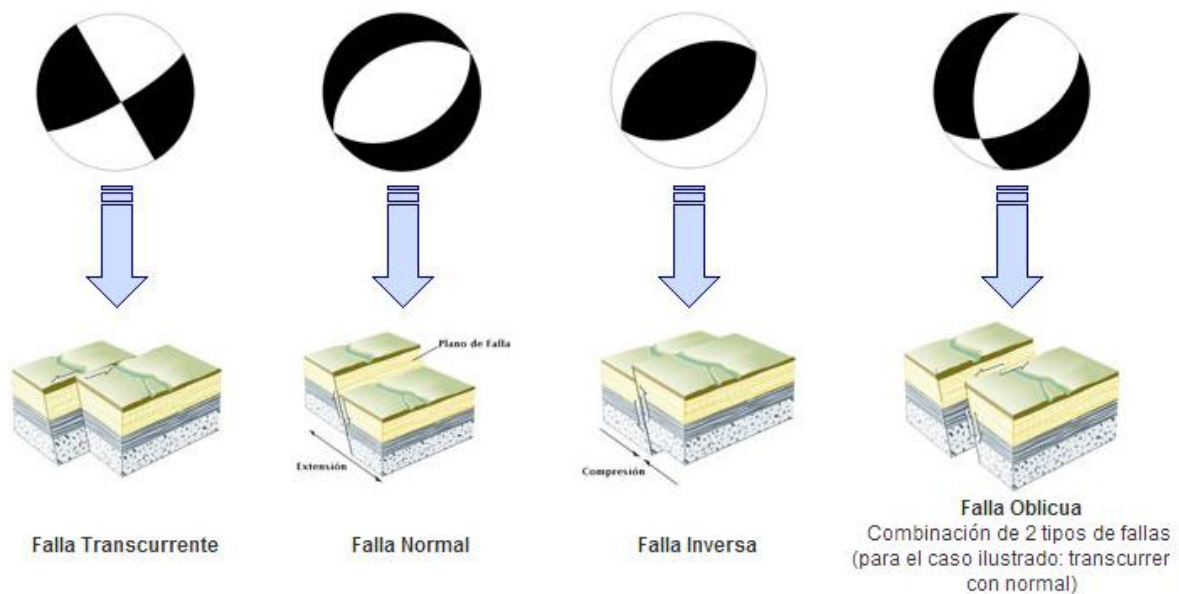


Figura 2.1.4.- Tipos de fallamiento en un terremoto y sus respectivos mecanismos focales (beachball). Recuperado de la página www.igeo.ucm-csic.es [Consultado el día 3 de Abril 2017]

Para más información acerca de los Mecanismos Focales consultar > “Source Mechanisms of Earthquakes”; *Agustín Udias; Raul Madariaga & Elisa Buforn, 2014.*

2 Estudios Previos

La sismicidad presente en la zona en algunos casos es atribuida a la sobreexplotación de los mantos acuíferos, lo cual provoca que el suelo colapse debido a la ausencia de agua. El hundimiento de la Ciudad de México puede ser también un factor determinante para la ocurrencia de sismos, debido a las diferentes tensiones entre los estratos del suelo, esta se acumula con el tiempo hasta que llega su punto de ruptura y esta energía se libera en forma de sismo.

Cabe la posibilidad que sismos ocurridos en zonas lejanas, puedan ayudar a liberar la tensión acumulada en las fallas y fracturas del suelo de la Ciudad de México, se ha detectado que después de un gran sismo en las costas, hay actividad sísmica muy leve pero perceptible (*Singh et al. 1998*).

Con base a los eventos registrados anteriormente se tienen indicios de que la mayor parte de la actividad sísmica está concentrada en los márgenes del Valle de México.

En la zona de fallas localizada en la zona poniente de la cuenca de México, estudiadas por *García Palomo et al. (2008)*, ocurre la sismicidad local; en lo restante de la zona también encontramos eventos sísmicos pero de bajas magnitudes.

De los estudios previos sobre sismicidad en la parte sur de la Ciudad de México, se pueden mencionar los realizados por *Figueroa (1971)* quien localizó eventos en la Sierra de las Cruces y el Ajusco, y los realizados por *Prince (1974)* quien reportó un total de 17 eventos al sur de la Ciudad de México durante el mes de julio de 1974. Estos sismos se sintieron en el sur y suroeste de la ciudad, cuyos epicentros se localizaron dentro o cerca de la zona urbana densamente poblada y tuvieron profundidades máximas de 5 km. El mayor de los sismos de esta secuencia corresponde al ocurrido el 12 de julio de 1974, producido en Ciudad Universitaria, al sur de la ciudad, el cual es el más grande registrado hasta hoy en día produciendo una aceleración del suelo de 48 gales.

Chavacán (2007) compiló un catálogo de sismos locales con epicentros en la Cuenca de México, en el cual analiza 218 sismos con magnitudes que van desde 0.8 a 4.4, siendo la última magnitud la mayor calculada para sismos dentro de la zona. Por otro lado, *Bello-Segura (2013)* analizó los mecanismos focales de los sismos ocurridos en la Cuenca de México entre los años 2008 y 2012, reportando como resultado mecanismos focales de tipo normal y algunos compuestos. Concluyó que la tendencia en el rumbo de los mecanismos focales varía dependiendo de la región, las profundidades en promedio se localizan a 8 km, lo cual indica la existencia de fallas de poca profundidad, lo que es importante desde el punto de vista del riesgo sísmico.

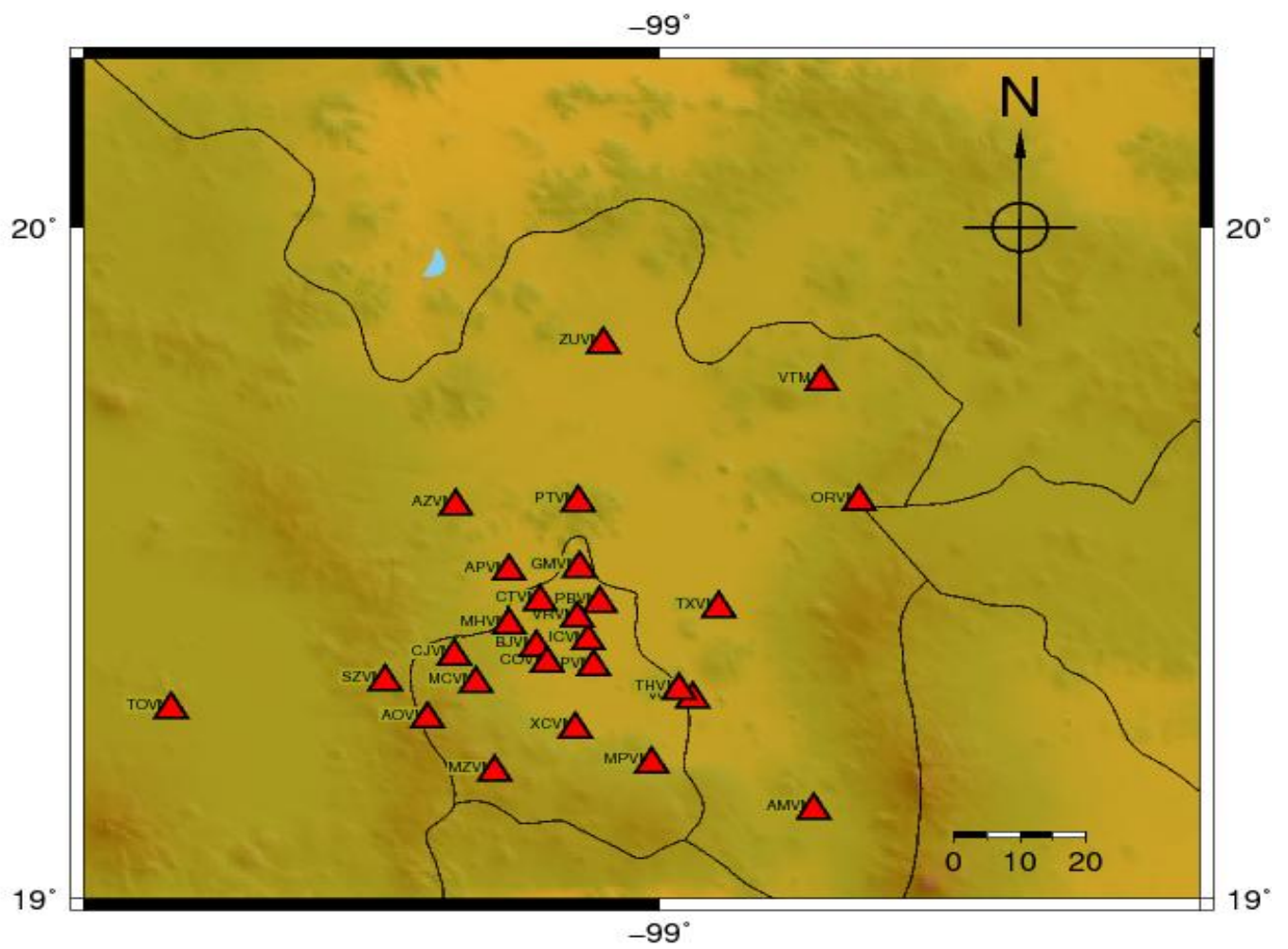
Con ayuda de la Red Sísmica del Valle de México, se han detectado sismos de baja magnitud que han sido sentidos por la población que habita en las zonas epicentrales. Entre la sismicidad destaca la que se registró entre el período de los años 2005-2009 la cual consta de 15 eventos de magnitud baja, cuatro de ellos ocurridos en noviembre 2008 en un lapso no mayor de una hora, estos fueron reportados y estudiados por *Reyes-Pimentel, (2009)*. En mayo de 2013 ocurrió otro evento interesante en la delegación Álvaro Obregón, su epicentro se localizó en las coordenadas 19.341 latitud N y 99.239 longitud W. la magnitud del sismo fue de 1.5.

Los sismos que ocurren en la Cuenca de México, por su tamaño, rara vez presentan réplicas, ya que como se menciona suelen ser de magnitudes pequeñas y en zonas muy locales.

3 La Red Sísmica del Valle de México: instrumentación y datos

4.1 Historia e Instrumentación

Creada en 1993, financiada por el Departamento del Distrito Federal, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), y manejada por el Instituto de Geofísica, la Red Sísmica del Valle de México (RSVM) fue originalmente planeada como una red sísmica local enfocada al registro de señales sísmicas de periodo corto provenientes de eventos originados dentro de la cuenca de México. El arreglo de estaciones ha ido paulatinamente creciendo en los últimos años. La Red Sísmica del Valle de México (RSVM) cuenta a la fecha con 31 estaciones digitales de banda ancha las cuales están ubicadas en diferentes sitios distribuidos tanto dentro de la Cuenca de México como en la periferia (Figura 4.1.1)



GMD 2017 Aug 29 15:52:58 REALIZO_PASSARON

Figura 4.1.1.- Red Sísmica del Valle de México. En triángulos morados se aprecia la localización de las estaciones y las letras indican su nomenclatura.

4.2 Datos

En la tabla 1.1 se muestran los eventos sísmicos con los que se trabajó y que tuvieron lugar dentro del Valle de México en el periodo comprendido de 2014-2016. La tabla muestra la fecha y hora en la que se registraron los eventos, la localización, así como la profundidad y la magnitud que registro cada evento. Como se puede observar en la tabla, la sismicidad dentro del Valle de México es de magnitud menor a 4.0, y muy superficiales en su mayoría.

SISMICIDAD EN EL VALLE DE MÉXICO									
PERIODO: 2014-2016						NÚMERO DE		EVENTOS	
						REGISTRADOS: 22			
Fecha			Tiempo de origen			Latitud	Longitud	Profundidad	Magnitud
Año	Mes	Día	HH	MM	SS	(°)	(°)	Km	(°)
2016	11	22	10	26	25	19.036	-98.676	3.9	3.0
2016	9	14	19	57	17	19.013	-98.013	6.2	3.0
2016	7	8	23	14	13	19.048	-98.665	1.1	1.0
2016	7	8	18	03	20	19.024	-98.613	2.7	3.8
2016	7	8	17	45	8.5	19.043	-98.613	7.0	3.1
2016	7	8	17	45	8	19.003	-98.600	4.8	3.6
2016	7	8	17	42	10	19.056	-98.617	5.9	3.3
2016	6	11	14	48	1	19.074	-98.680	3.5	2.6
2016	2	24	20	03	34	19.319	-98.477	1.0	2.3
2015	10	24	05	24	32	19.303	-99.202	9.0	2.2
2015	9	13	00	06	28	19.380	-99.179	1.8	1.6

2015	6	21	16	52	11	19.316	-99.090	4.1	1.6
2015	4	9	08	38	16	19.417	-99.069	7.9	2.2
2014	12	1	08	50	6	19.355	-99.242	7.2	3.3
2014	11	28	19	10	36	19.388	-99.232	8.6	2.3
2014	10	7	03	04	11	19.263	-99.073	13.5	2.5
2014	10	7	02	54	56	19.205	-99.061	10.3	3.5
2014	9	29	07	05	55	19.359	-99.143	15.1	2.4
2014	9	6	00	26	29	19.409	-99.059	4.4	2.0
2014	8	24	11	32	25	19.252	-99.114	7.0	2.6
2014	8	3	14	02	7	19.443	-99.256	6.0	1.8
2014	7	19	11	57	22	19.173	-99.937	14.9	2.9

Tabla 1.1.- Lista de eventos sísmicos ocurridos dentro del Valle de México en el periodo de estudio comprendido en los años 2014 al 2016. Abreviaturas utilizadas en la tabla: HH=Hora, SS=Segundo, MM=Minuto.

5 ANÁLISIS DE DATOS.

5.1 Eventos Sísmicos

En el periodo de estudio comprendido del año 2014 al año 2016 se tienen un total de 28 eventos sísmicos registrados en el área del Valle de México. De los cuales 9 corresponden al año 2014; 5 al año 2015 y, 14 al año 2016. Del total de sismos, solamente nos enfocamos en los eventos sísmicos tectónicos que tuvieron origen dentro del margen urbano del Valle de México; de tal forma que, descartamos todos aquellos eventos que ocurrieron dentro de los márgenes de la Sierra Nevada (Zona de Volcanes). Dichos eventos fueron descartados debido a que su origen es debido al producto de una explosión volcánica o al movimiento de la cámara magmática al interior del subsuelo de la región, es decir por causas meramente de origen volcánico.

El análisis de datos de los sismogramas proporcionados por el Servicio Sismológico Nacional (SSN), se realizó a través del programa SEISAN. Se identificaron los primeros arribos de las ondas, se determinó si estas eran de naturaleza emergente o impulsiva; también, las polaridades de las ondas P, según esta haya sido de compresión (positiva hacia arriba) o de dilatación (negativa hacia abajo). Lo anterior se debe a la configuración de los sismógrafos de SSN. La Figura 5.1.1 muestra un ejemplo de la lectura de polaridades de una señal sísmica.

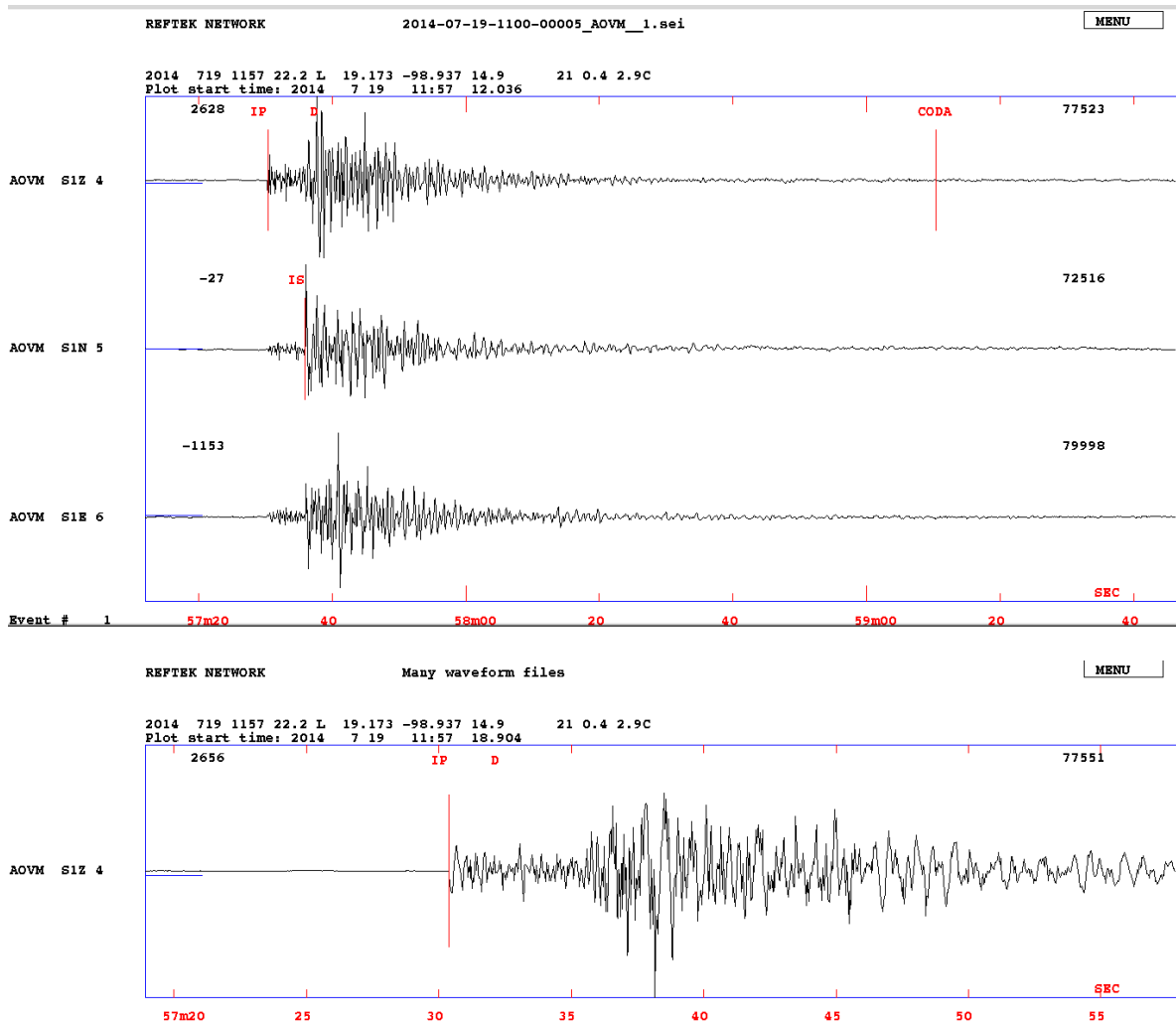


Figura 5.1.1.- Se muestra el sismo del día 19 de Julio del 2017 para la estación AOVN (Álvaro Obregón, CDMX), se hizo el picado de primeros arribos de las ondas P y S, así como la polaridad para la onda P y la Coda de la señal sísmica en la componente Z.

Para obtener las soluciones de los mecanismos focales, se usaron los primeros arribos, registrados en los archivos S correspondientes a cada evento sísmico, así como su localización, profundidad y magnitud, como datos necesarios de entrada para el programa FOCMEC (*Snoke, 2003*), este programa está contenido dentro del sistema SEISAN.

Para cada evento, se determinó la mayor cantidad de polaridades visiblemente posibles, puesto que a mayor número de polaridades se tengan, menor es el grado de incertidumbre, más acertadas serán las soluciones propuestas para el mecanismo focal, y menor será el número de estas soluciones. De las soluciones propuestas por el programa debemos escoger la más coherente de acuerdo al marco tectónico de referencia.

En tiempos recientes los avances en la Sismología y en la tecnología de las computadoras han llevado a la introducción de algoritmos especializados para la determinación rutinaria del tensor de momento usando registros de forma de onda digitales de banda ancha. Sin embargo, estas técnicas son generalmente aplicadas solo a sismos grandes a distancias telesísmicas o distancias regionales. Por lo tanto programas como FOCMEC son todavía la mejor herramienta para obtener mecanismos focales a distancias locales y regionales.

Este programa está escrito en lenguaje Fortran 77, toma como datos de entrada los azimuths que existen entre cada estación con respecto al evento sísmico registrado, también, los ángulo con los que inciden los primeros arribos debajo de las estaciones sísmicas, mismos que son obtenidos en la localización de los sismos, para finalmente ubicarlos en la esfera focal. Con estos datos y los criterios de búsqueda proporcionados por el usuario, el programa realiza una sistemática y eficiente búsqueda de las posibles soluciones de la esfera focal, reporta las soluciones aceptables basadas en los criterios de selección de acuerdo al número de errores permitidos en las polaridades, además de permitir correcciones o pesos para soluciones cercanas a algún plano nodal.

Para poder obtener la mejor solución posible de un mecanismo focal, se compara la respuesta que da en automático el programa FPFIT con la solución del

mecanismo calculada con el programa FOCMEC. FPFIT este es una herramienta que brinda una respuesta automática, en sentido de mínimos cuadrados, lo cual no significa que sea la solución correcta, sino que es la mejor que nos brinda el programa de acuerdo a los datos que tenemos disponibles. Dicha comparación se muestra en el siguiente ejemplo, del sismo del 19 de Julio del 2014 (Figura 5.1.2).

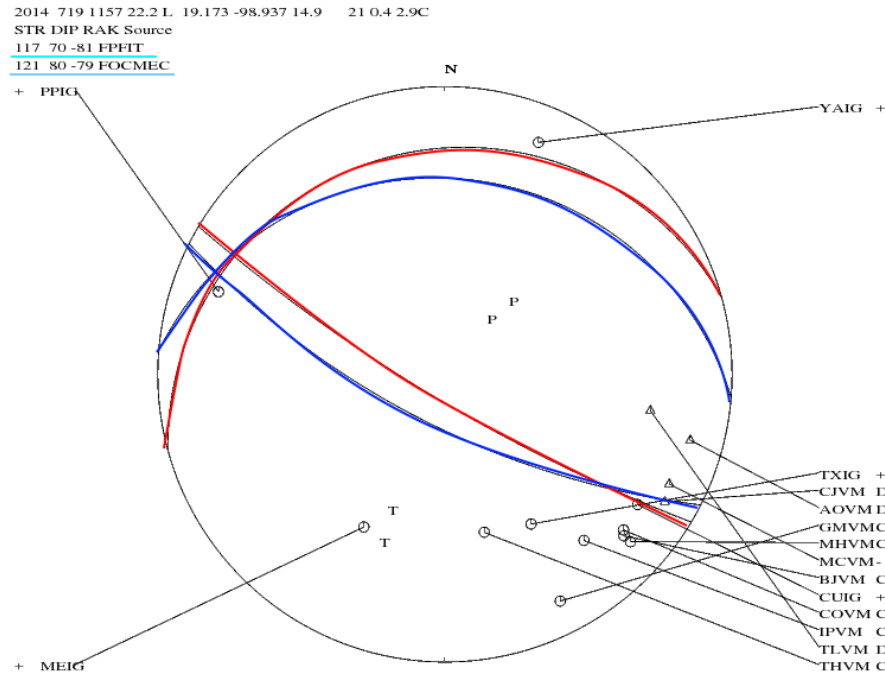


Figura 5.1.2. En la figura se obtuvo la solución del mecanismo focal con el programa FPFIT marcada en la figura de color azul y el cual nos da una solución de: Strike 117; Dip 70 y Rake -81. Tiene una solución similar a la del programa FOCMEC, solución marcada de color rojo en la figura: Strike 121; Dip 80 y Rake -79. El mecanismo focal es normal-oblicuo.

En la figura 5.1.2 observamos una falla de tipo normal-oblicuo, dicho evento se localiza al SE de San Antonio Tecomitl, en Milpa Alta CDMX. En ella se pueden observar dos tipos de soluciones, una realizada de manera manual (FOCMEC) y otra con el FPFIT. Ambas soluciones coinciden en la naturaleza del mecanismo, así como en su orientación, corroborando que la respuesta es correcta. Solución de un Mecanismo focal, en la red estereográfica representada por el círculo

podemos notar dentro de él, las compresiones marcadas con pequeños círculos y las dilataciones en forma de pequeños triángulos, las letras T y P representan la posición de los ejes de la tensión y presión respectivamente; la letra N representa el Norte de la red estereográfica. A demás de que también podemos ver las estaciones sismológicas en las cuales se detectó el sismo.

5.2 Mecanismos Focales en el Valle de México

Todas las soluciones de mecanismos focales se obtuvieron bajo el mismo procedimiento.

Siendo en su gran mayoría mecanismos del tipo normal o compuestos, alcanzando un total de 12 eventos. Véase la Tabla II

Por otro lado se tuvieron 2 eventos sísmicos cuyas soluciones son de tipo inverso:

- Evento 13 (Tabla II). Corresponde al día 03 de Agosto del 2014, localizado a 4 km al Noreste de Naucalpan de Juárez, Edo. De México. A una profundidad de 6 km, lo que indica que es un evento somero y con una magnitud de 1.8.
- Evento 6 (Tabla II). Corresponde al día 01 de Diciembre del 2014, localizada a 3 km al Noreste de Magdalena Contreras CDMX. Localizado a una profundidad de 7.2 km, y tiene una magnitud de 3.0, como se observa son sismos de magnitud muy baja y someros.

Es muy poco probable de que este tipo de fallas se deban algún deslizamiento en el terreno, debido a que las profundidades a las que se generaron son considerablemente mayores a aquellas en las que suelen existir deslizamientos. Probablemente su origen tectónico se deba a algún régimen de esfuerzos compresionales, muy locales. En las siguientes figuras (5.2.1 y 5.2.2), se muestran los mecanismos focales y las características de estos dos eventos.

En el **Anexo I** se localizan cada una de las soluciones de los mecanismos focales realizados con el programa FOCMEC, y algunas con el programa FPFIT.

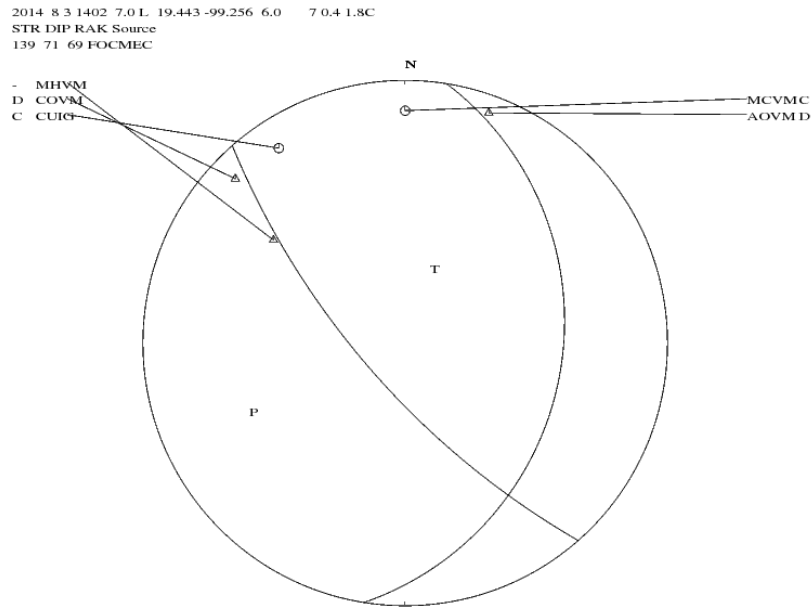


Figura 5.2.1.- Solución de Mecanismo Focal Inverso para el sismo del 03 de Agosto del 2014, localizado a 4 km de Naucalpan de Juárez Edo. De México. Se muestran sus componentes: Strike 139, Dip 71 y Rake 69; profundidad 6 km y Mc (Magnitud de coda) 1.8. Calculado con el programa FOCMEC.

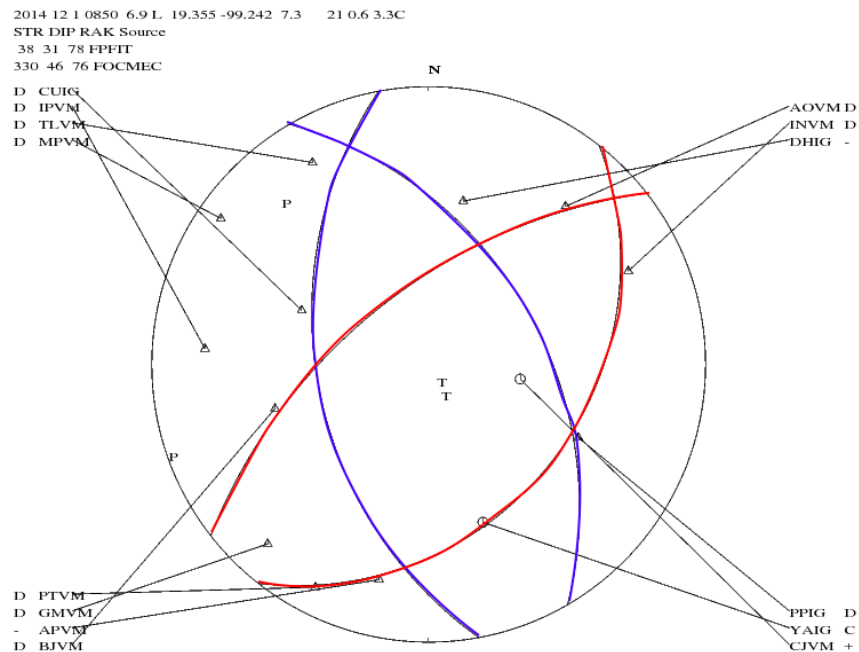


Figura 5.2.2.- Solución de Mecanismo Focal Inverso, para el evento del 1 de Diciembre del 2014, localizado a 3 km al Noreste de Magdalena Contreras CDMX. Con resultado de: Strike 330, Dip 46 y Rake 76; profundidad de 7.3 y Mc 3.3. Se puede notar que con ambos programas FOCMEC (Rojo) y FPFIT (Azul) nuestra solución es de tipo inversa.

En la Tabla II, la primer columna muestra los sismos enumerados del 1 al 14, y señalados con un color según sea la región del sistema de fallas al que pertenecen de acuerdo al análisis; la segunda y tercera columna muestran la fecha y el tiempo de origen de los sismos; la cuarta y quinta columna muestran la localización en coordenadas geográficas de los eventos sísmicos (latitud y longitud); la columna seis indica la magnitud de coda (M_c); la columna siete, ocho y nueve describen los resultados de los respectivos parámetros de las soluciones de los mecanismos focales (Strike, Dip y Rake); y finalmente la columna diez describe el tipo de falla que probablemente existe en cada zona sísmicas del Valle de México.

SISMICIDAD EN EL VALLE DE MÉXICO

PERIODO: 2014-2016							NUMERO DE EVENTOS REGISTRADOS: 14					
No. De evento	Fecha			Tiempo de origen			Latitud	Longitud	Magnitud	Strike	Dip	Rake
	Año	Mes	Día	HH	MM	SS	(°)	(°)	(°)			
1	2016	2	24	20	03	34	19.319	-98.477	2.3	180	60	-89
2	2015	10	24	05	24	32	19.303	-99.202	2.2	91	46	-53
3	2015	9	13	00	06	28	19.380	-99.179	1.6	82	64	16
4	2015	6	21	16	52	11	19.316	-99.090	1.6	262	61	-41
5	2015	4	9	08	38	16	19.417	-99.069	2.2	73	40	-25
6	2014	12	1	08	50	6	19.355	-99.242	3.3	330	46	76
7	2014	11	28	19	10	36	19.388	-99.232	2.3	276	74	-36
8	2014	10	7	03	04	11	19.263	-99.073	2.5	308	90	35
9	2014	10	7	02	54	56	19.205	-99.061	3.5	130	90	54
10	2014	9	29	07	05	55	19.359	-99.143	2.4	203	54	-36

11	2014	9	6	00	26	29	19.409	-99.059	2.0	63	90	70
12	2014	8	24	11	32	25	19.252	-99.114	2.6	95	71	-68
13	2014	8	3	14	02	7	19.443	-99.256	1.8	139	71	69
14	2014	7	19	11	57	22	19.173	-99.937	2.9	121	80	-79

Tabla II.- Muestra la localización de los 14 eventos sísmicos de tipo estructural en el área urbana del Valle de México y, los componentes de las soluciones del mecanismo focal (Strike, Dip, Rake) así como el tipo de fallas que corresponde a cada mecanismo.

5.3.1 Interpretación, características y localización de los mecanismos focales en la zona de estudio.

En el siguiente mapa (Figura 5.3.1) del Valle de México, están representadas las soluciones de mecanismos para 14 eventos que han tenido lugar durante el periodo de estudio comprendido (2014-2016), correspondientes a los sistemas de fallas que hay dentro de la región. El número de bajo de cada una de las “pelotas de playa” representa el número de evento sísmico, tal como se muestra en la tabla.

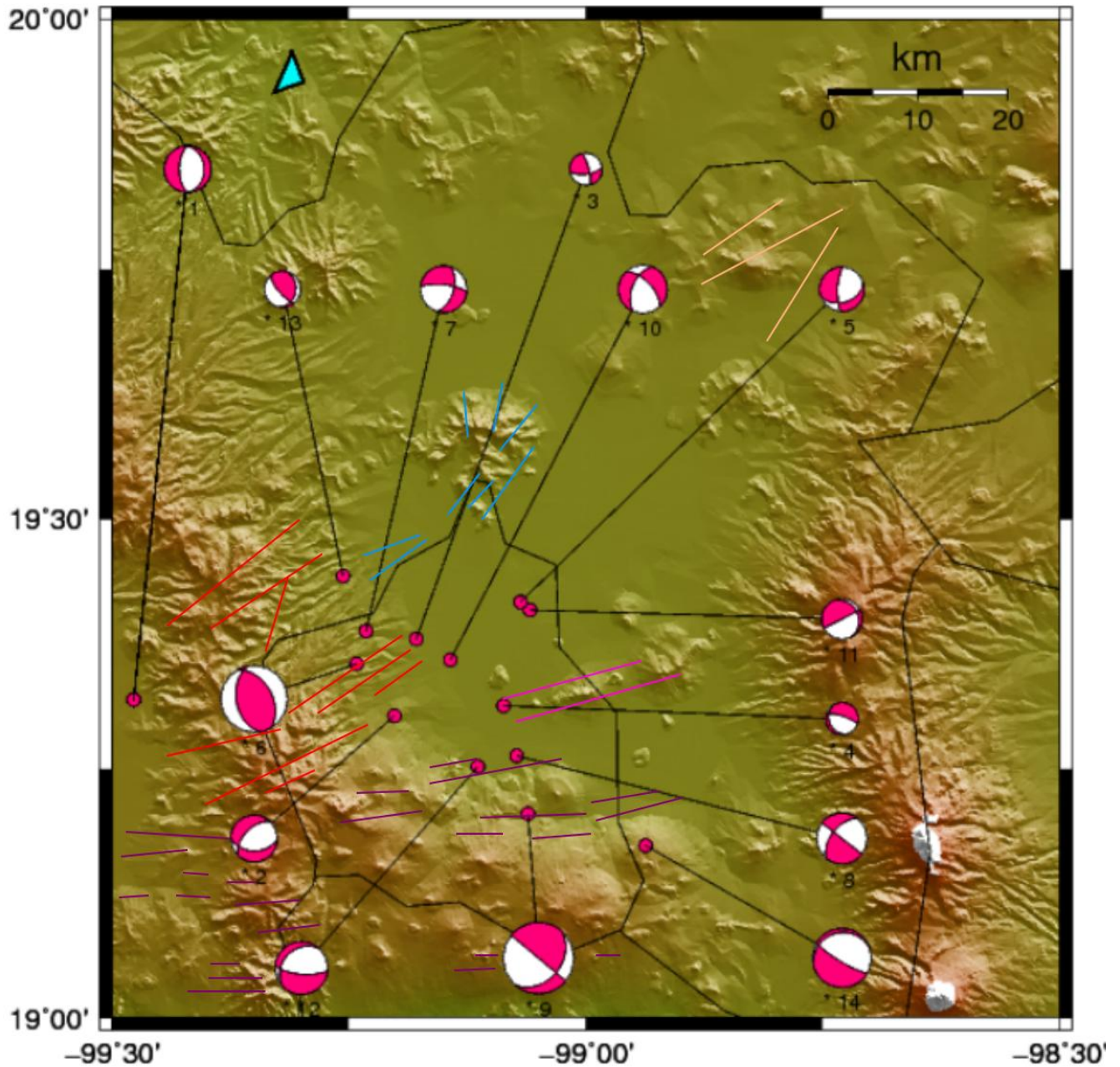


Figura 5.3.1.- Mapa del Valle de México con las soluciones de los mecanismos focales de los eventos sísmicos ocurridos durante el periodo comprendido del año 2014 al año 2016. Nótese que de las 14 soluciones, solo 2 son de tipo inverso (3 Agosto 2014 y 1 de Diciembre del 2014).

Si asociamos los mecanismos focales de la Figura 5.3.1 con el mapa de fallas del Valle de México de la Figura 1.3.1 *Bello-Segura (2009)* (Capítulo 1) se puede apreciar que los mecanismos focales caen principalmente dentro de tres tipos de sistemas de fallas:

- Los eventos 3, 5, 10 y 11 (Tabla II) corresponden al sistema de fallas inferidas por *De Cserna (1988)* en la parte norte-centro del Valle de México. Las soluciones de los mecanismos focales tienen la misma orientación que el sistema de fallas NE-SO y el evento 10 es la excepción con una orientación de plano de falla de NW-SE, aunque también se le podría considerar con una orientación horizontal N-S. Los mecanismos son de tipo normal-oblicua. Cabe mencionar que el evento número 10 del día 29 de septiembre del 2014 es el que se localiza a mayor profundidad 15.1 km; de lo contrario uno de los más someros tiene lugar también en esta zona (13 de Septiembre del 2015: 1.8 km). En general presentan baja magnitud que varían desde 1.6C hasta los 2.4C. El periodo con el que ocurren los terremotos en esta zona no es mayor a un año aproximadamente. De los cuatro eventos registrados en esta área, el evento número 5 y el 11, correspondientes a los días 9 de Abril del 2015 y al 6 de Septiembre del 2014 respectivamente, se encuentran relativamente muy cercanos, tal y como se puede observar en el mapa, por lo que se puede llegar a considerar que el evento 11 pudo haber influido para que el evento 5 se llevara a cabo meses más tarde; aunque esta sería una hipótesis ya que tendríamos que hacer estudios geológicos más precisos dentro del área.

- Para los siguientes eventos 1, 2, 6, 7 y 13 (Tabla II), localizados al poniente del Valle de México, están asociados al sistema de fallas de la Sierra de las Cruces estudiada por *García Palomo et., al (2008)*. Según los estudios realizados, esta zona solo se compone de fallas de tipo normal localizadas por tres subsistemas: N-S, NE-SW y E-W. Se puede notar en el mapa que de los cinco eventos que ocurrieron en esta zona, solo 3 de ellos pertenecen a mecanismos focales de tipo normal, normal-oblicuo; los eventos 1, 2, y 7 se pueden notar claramente las fallas de tipo normal con orientaciones NE-SW. Se podría considerar al evento 2 como una falla de orientación E-W, pero esta no está totalmente horizontal. En contraparte dos mecanismos presentan como ya se mencionó anteriormente, soluciones focales de tipo inverso, como se mira claramente en el mapa de la Figura 5.2.1. De acuerdo a la información de estudios de la geología obtenidos previamente, es inusual que se presente algún mecanismo de tipo inverso para la zona de Sierra de las Cruces. Sin embargo en este sistema de fallas se localiza el sismo más somero que ocurre en el lapso comprendido del año 2014 al año 2016, ocurrido el día 02 de Febrero del 2016 con una profundidad de 1 km, lo cual nos puede indicar que este sismo se pudo haber debido a algún deslizamiento en el terreno o a la actividad antropogénica del lugar. Esta misma teoría puede ser lo que dio lugar a que los eventos de los días 03 de Agosto del 2014 y 01 de Diciembre del 2014, la cual dio como resultado mecanismos de tipo inverso; estos podrían deberse también a un régimen de compresión cercano por algún efecto en el terreno ya que presentan profundidades muy someras que van desde los 6km a 7km. Los mecanismos inversos describen fallas con orientación NW-SE.

Por otro lado cabe la posibilidad que debemos de tomar en cuenta que tal vez estos dos mecanismos sean de tipo inverso debido a una mala interpretación de los datos ya que errores pequeños en la determinación de la profundidad cambian el ángulo de salida y por lo tanto la distribución de compresiones y dilataciones, lo que puede repercutir en el tipo de fallamiento calculado. El rango de las magnitudes va desde los 1.8C hasta los 3.3C la cual es una de las mayores magnitudes y con profundidades que van desde 1km, 9km, 7.2km, 8.6km y 6km, respectivamente para cada evento.

- La solución de los mecanismos focales para los eventos 4, 8, 9, 12 y 14 (Tabla II) que están localizados en la parte sur del Valle, se relacionan al sistema de fallas de Iztapalapa, Xochimilco y al de la Sierra de Sta. Catarina. Esta zona se caracteriza por un sistema de fracturas con direcciones NE-SW y N-S. Cuatro de los sismos ocurridos en esta zona tienen profundidades de: 13.5km, 10.3km, 7.0km y 14.9km, respectivamente; siendo la excepción el evento 4, ocurrido el día 21 de Junio del año 2015, que fue muy somero con una profundidad de 4.1 km. En esta zona también tiene lugar el sismo con mayor magnitud (3.5C), ocurrido el día 07 de Octubre del año 2014 a una profundidad considerable de 10.3 km, localizado a 4 km al norte de San Salvador Cuauhtenco, CDMX. Las soluciones de los mecanismos focales coinciden con el tipo de fallas que se presentan en esta zona; es decir son de tipo normal y normal-oblicuo. Los resultados de las soluciones nos arrojan fallas con orientación NW-SE, a excepción de los eventos número 9 y 12 que tiene una orientación casi horizontal de E-W; todos estos resultados en la parte sur

del Valle de México podrían deberse a que es una zona donde hay una gran cantidad de fallas, sobre todo en la zona que comprende la delegación Iztapalapa, donde año tras año, se reportan derrumbes, deslaves y hundimientos en esta zona.

- De los 14 eventos estudiados dentro del Valle de México, solo 2 de ellos ocurrieron a las afueras de la CDMX, dentro del área delimitada por la Sierra de las Cruces, estos eventos son el evento 1 y 13. El primero corresponde al ocurrido a 6 km al Noreste de Sta. María Atarasquillo, Edo. De México, el día 24 de Febrero del 2016 y el segundo correspondiente al día 03 de Agosto del 2014, localizado a 4 km al Noreste de Naucalpan de Juárez, Edo. De México.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Se analizaron 14 eventos sísmicos, ocurridos dentro del Valle de México en el periodo comprendido por los años 2014-2016, se obtuvieron las soluciones de los mecanismos focales para estos eventos, los cuales se asociaron a diferentes sistemas de fallas presentes en el Valle de México, principalmente a 3 sistemas de fallas ubicadas al Centro-Norte, al Poniente del Valle y al Sur del mismo; en los cuales se pudo determinar que la mayoría de las soluciones están asociadas a las fallas presentes en el Valle, ya que presentan la misma orientación que éstas.

Dos de las soluciones de los mecanismos focales resultaron anómalos ya que representan soluciones de tipo inverso, es decir, las fallas que describen son contrarias a estudios realizados previamente, estos mecanismos se encuentran en la zona poniente del Valle (Sierra de las Cruces), esta zona fue previamente estudiada y descrita por *García Palomo et., al (2008)* y en su trabajo, no se pudo identificar ninguna falla de naturaleza inversa. Sin embargo, podríamos considerar que la naturaleza de estas fallas se deba tal vez a esfuerzos compresionales muy locales; o algún deslizamiento del terreno pero, esto se descarta debido a que tienen profundidades considerables, mayores a los 6 km. Otra posibilidad cabría en errores en la determinación de las profundidades de los sismos, lo cual repercute en un cambio en la distribución de polaridades y por lo tanto en la determinación del mecanismo focal por este método.

Por otro lado los resultados obtenidos nos arrojan algunos mecanismos con orientaciones de falla diferentes a las descritas en estudios previos, principalmente en la parte del sur del Valle de México, esto podría ser debido a que esta zona se

caracteriza por tener una gran cantidad de fallas, principalmente en los eventos ocurridos cerca de la zona de Iztapalapa-Xochimilco y alrededores.

Con el análisis de estos eventos, y sus soluciones podemos corroborar que la sismicidad de los eventos estudiados durante el intervalo de tiempo comprendido (2014-2016) en el Valle es producto de fuentes naturales asociadas a fallas tectónicas; ya que todos los eventos tienen origen dentro de las fallas geológicas descritas en estudios geológicos y geofísicos previos.

Se recomienda volver analizar, con otro software los eventos que nos resultaron de naturaleza inversa; además de volver a hacer estudios geológicos más precisos, ya que como sabemos, el Valle de México es un lugar tectónicamente activo.

Otra recomendación sería que se instalen más estaciones sismológicas dentro del Valle, para poder tener una mejor respuesta de los datos y una mejor interpretación de los mismos. Sobre todo en la parte SE, ya que la mayoría de las estaciones se encuentra en la parte Centro-Norte y al poniente de la Ciudad de México.

7 BIBLIOGRAFIA

1. Bello Segura, D.I., Parámetros de la fuente de sismos con epicentro en el valle de México durante 2008-2012. Tesis de Maestría. Posgrado en ciencias de la tierra, UNAM (2013).
2. Buforn, E., Métodos para la Estimación de Mecanismos Focales de Terremotos, Dpto. de Geofísica, Universidad Complutense, Madrid. Física de la Tierra, Núm. 6. pp. 113.139. Editorial Complutense, Madrid, (1994).
3. CIREs, AC [En Línea]. <https://bloqcires.mx/>, (Consultada: 29 de Abril 2017).
4. Escolero Óscar, A., Morales-Casique E., Arce, J., Prefacio Geología del Valle de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 67, Núm. 2, 2014, pp i-ii.
5. Figueroa, J., Serie de Investigación No. 289. Instituto de Ingeniería, UNAM, (1971).
6. García Palomo, A., Zamorano, José J., López-Miguel C, Galván-García, A., Carlos-Valerio V., Ortega Roberto y Macías José Luis, (2008), El Arreglo Morfoestructural de la Sierra de las Cruces, México Central, revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 25, No. 1, pp. 158-178.
7. Gutiérrez de MacGregor, María T., González Sánchez, J., Zamorano Orozco, Juan J., Formas del Relieve en la Cuenca de México.

8. Instituto de Geología UNAM. [En Línea] www.geologia.unam.mx, (Consultada: 30 de Marzo de 2017).
9. Nakata, N., Mecanismos Focales, Stanford University, (2013).
10. Reinoso, E., Características Sísmicas de la Ciudad de México: Amplificación de las ondas Sísmicas del movimiento del terreno y microzonificación de la ciudad. Centro de Investigación Sísmica.
11. Reyes Pimentel, Thalía A., "Sísmicidad en el poniente de la Ciudad de México, Resultados en la parte Norte de la delegación Álvaro Obregón. Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, (2009).
12. Rodríguez Lozada, José A., Mecanismo Focal de un Terremoto, Universidad de la Laguna. La Laguna. S/C de Tenerife.
13. Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F., León, E., 2005, Síntesis Geotécnica de la cuenca del Valle de México, México, D.F., TGC geotecnia S.A. de C.V.
14. Servicio Sismológico Nacional (SSN) [En Línea] http://www2.ssn.unam.mx/website/jsp/region_sismica_mx.jsp, (Consultada: 29 de Marzo del 2017).
15. Udias, A., Madariaga & Buforn, E., Fuentes de Mecanismos de Terremotos, (2014).

16. Unión Geofísica Mexicana. [En Línea].
<http://www.ugm.org.mx/publicaciones/geos/pdf/geos01-3/REDES01-3.pdf>,
(Consultada: 4 Abril 2017).
17. Vázquez-Sánchez, E., Jaimes-Palomera, R., Geología de la Cuenca de México. Revista de la Unión Geofísica Mexicana, Auspiciada por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, Vol. 28, No. 2, Ciudad de México, (1989).

ANEXO I

Evento 1

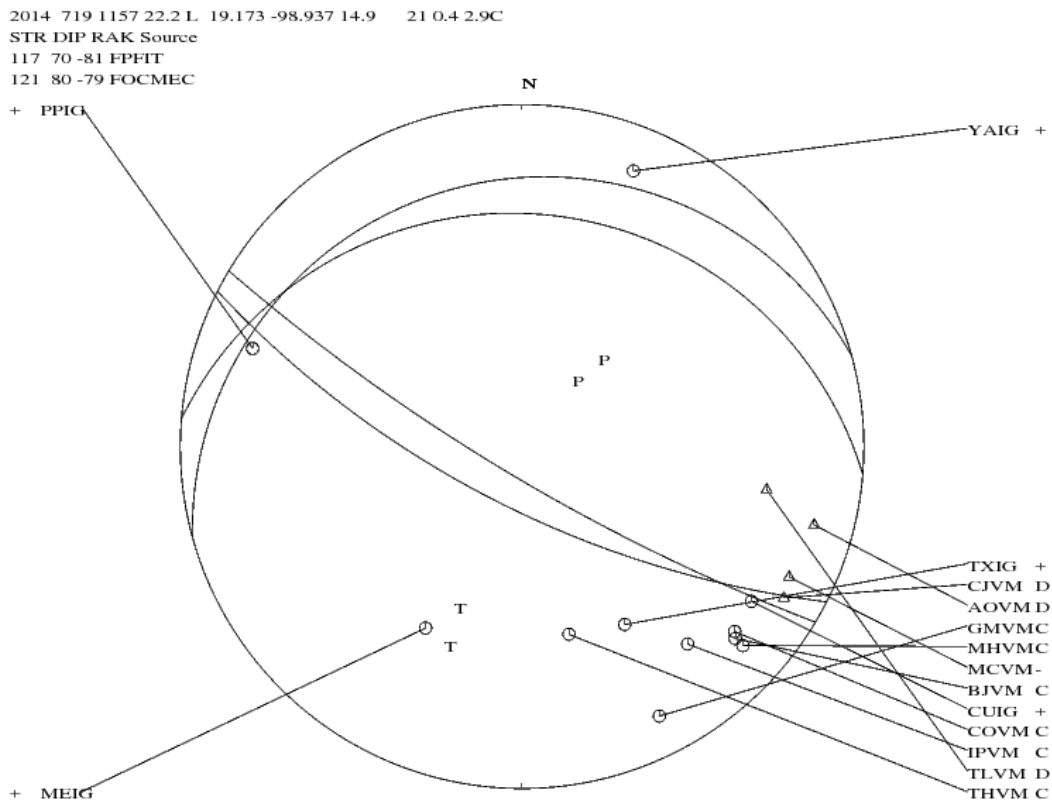


Figura 1. Solución de mecanismo focal del evento del 19 de Junio del 2014, localizado a 8 km al Sur de San Andrés Mixquic CDMX. Mecanismo con falla de tipo normal, registrado en 15 estaciones sismológicas.

Evento 4

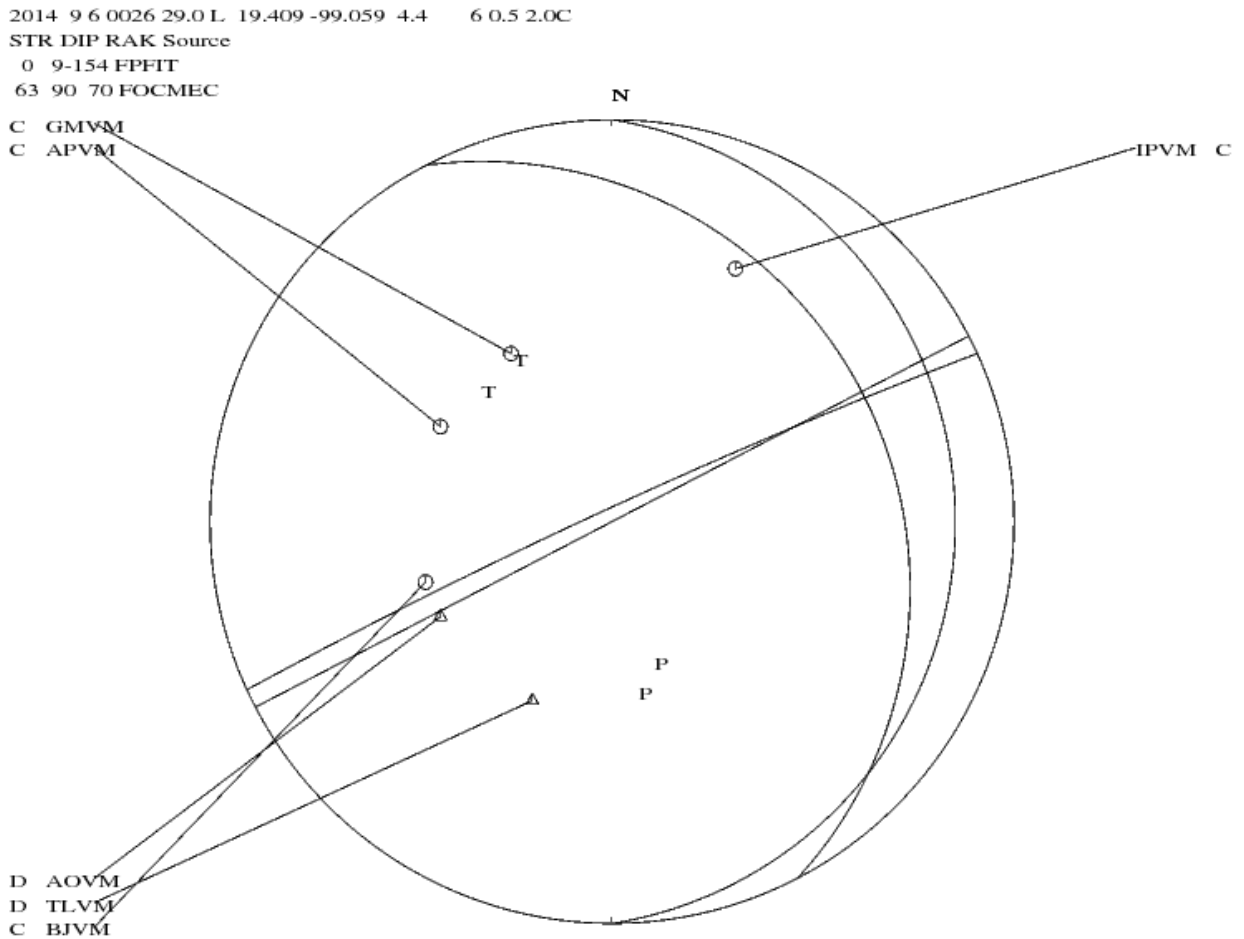


Figura 4. Solución de mecanismo focal para el evento del 06 de Septiembre del 2014, ubicado a 7km al noroeste de Venustiano Carranza, CDMX. Falla de tipo oblicua normal-sinistral. Sismo registrado en 6 estaciones.

Evento 5

2014 929 0705 55.2 L 19.359 -99.143 15.1 3 0.1 2.4C
STR DIP RAK Source
203 54 -36 FOCMEC

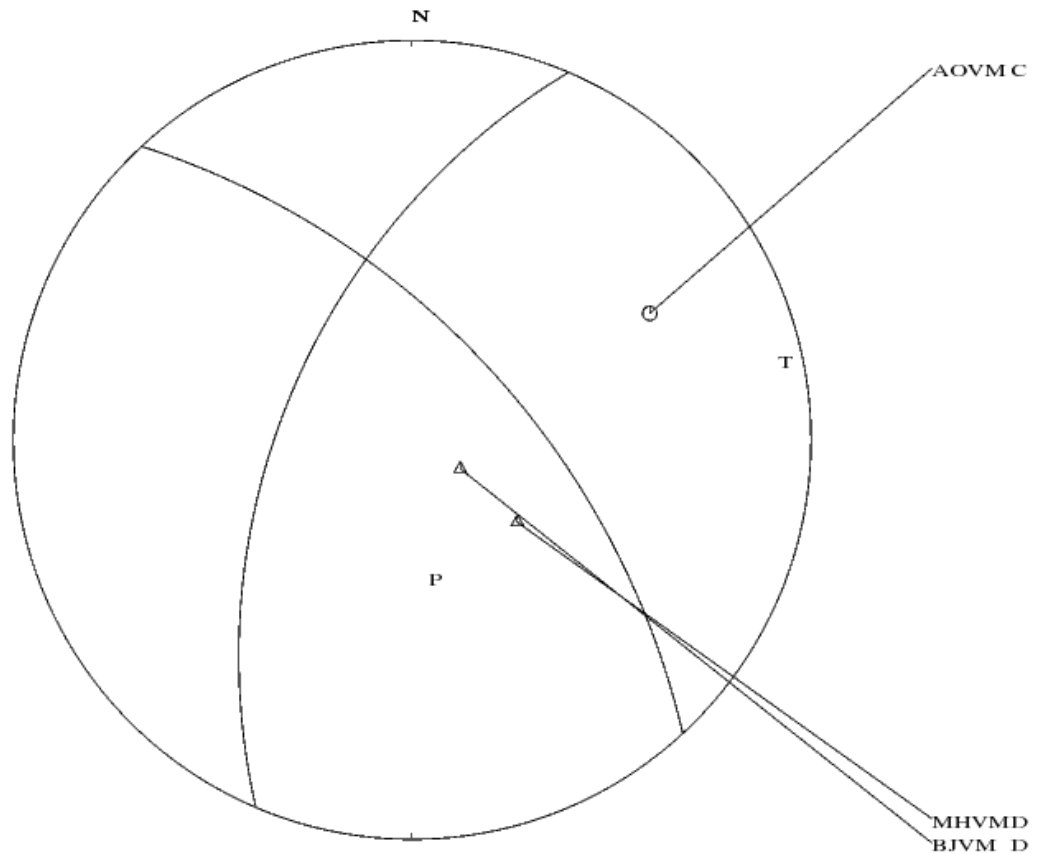


Figura 5. Solución de mecanismo focal para el evento del día 29 de Septiembre del 2014, localizado a 3 km al este de Tlalpan. CDMX. Falla de tipo normal compuesta. Sismo detectado en solo 3 estaciones.

Evento 6

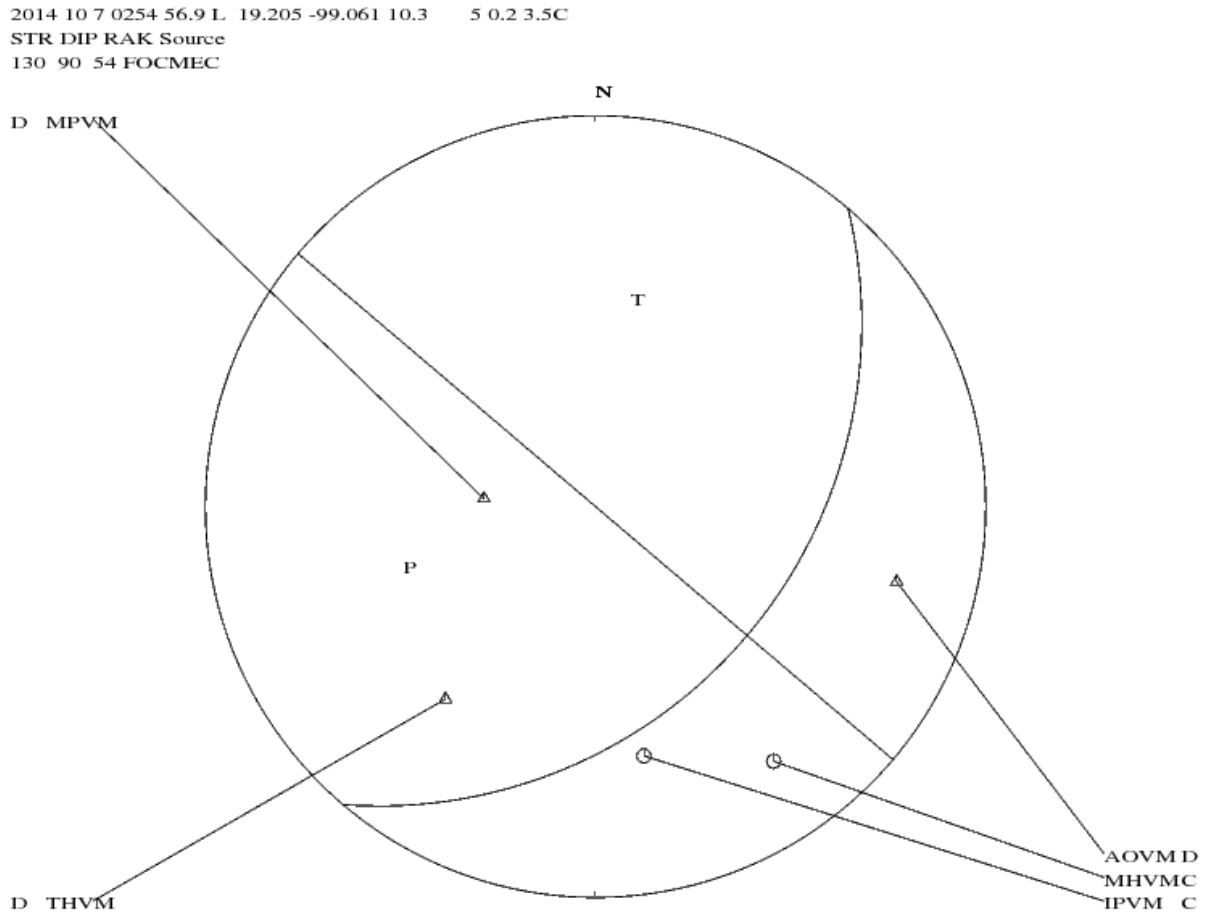


Figura 6. Solución de mecanismo focal para el evento del día 07 de Octubre del 2014 a 4 km al sur de San Salvador Cuauhtenco, CDMX. Falla de tipo oblicua normal-dextral. Sismo detectado en 5 estaciones.

Evento 8

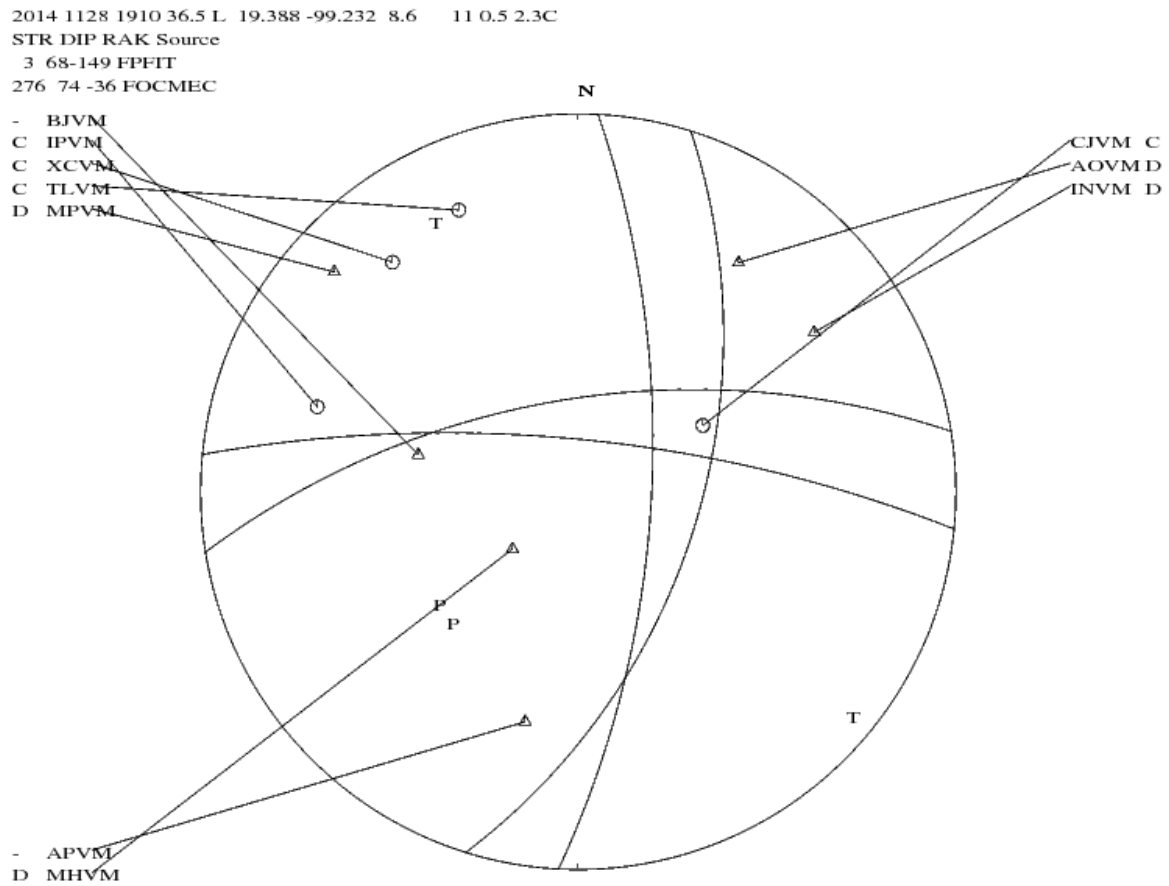


Figura 8. Solución de mecanismo focal para el evento del día 28 de Noviembre del 2014 a 4 km al suroeste de Álvaro Obregón, CDMX. Falla de tipo normal; evento registrado en 10 estaciones sismológicas.

Evento 9

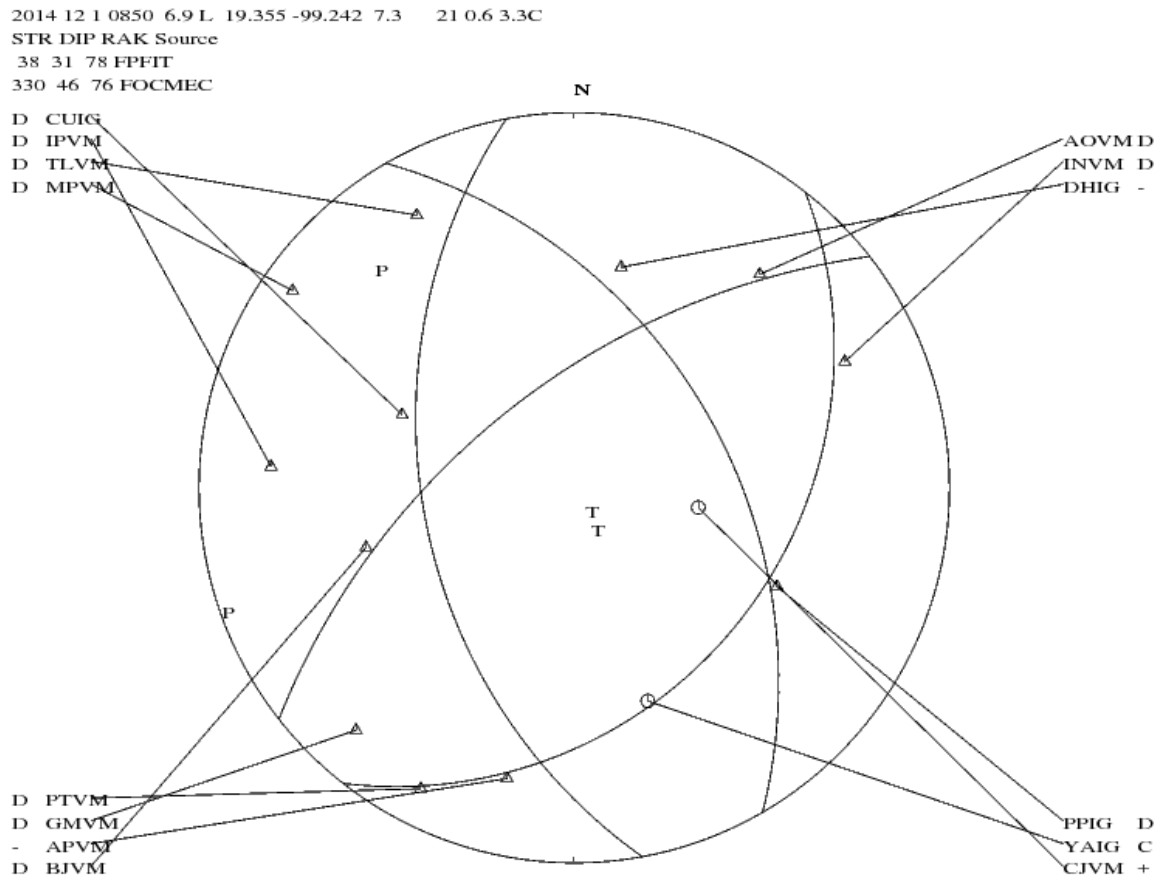


Figura 9. Solución de mecanismo focal del evento del día 01 de Diciembre del 2014, localizado a 3 km al noroeste de la Magdalena Contreras, CDMX. Falla de tipo inverso; evento registrado en 14 estaciones sismológicas. En la figura del mecanismo estan representadas las soluciones del mecanismo focal con el programa FOCMEC y FPFIT.

Evento 11

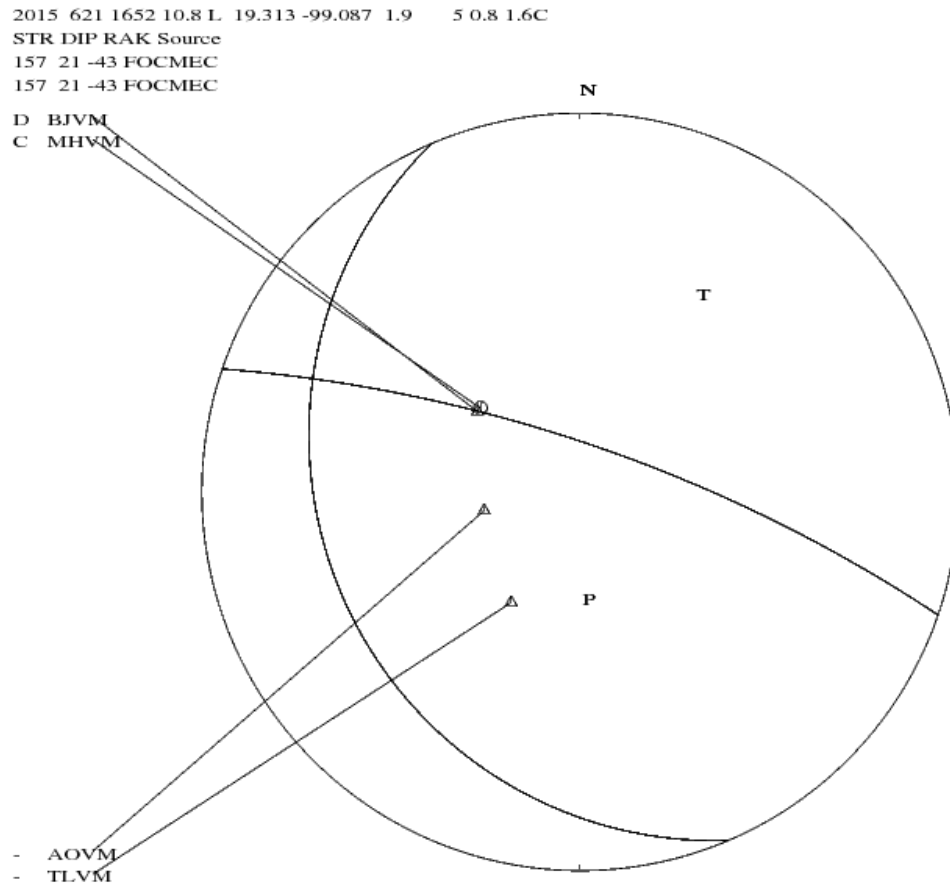


Figura 11. Solución de mecanismo focal para el sismo del día 21 de Junio del 2015, localizado a 2 km al sureste de Coyoacán, CDMX. Falla de tipo normal-dextral; evento registrado en 4 estaciones sismológicas.

Evento 12

2015 913 0006 28.2 L 19.380 -99.179 1.8 6 0.6 1.6C
STR DIP RAK Source
82 64 16 FOCMEC

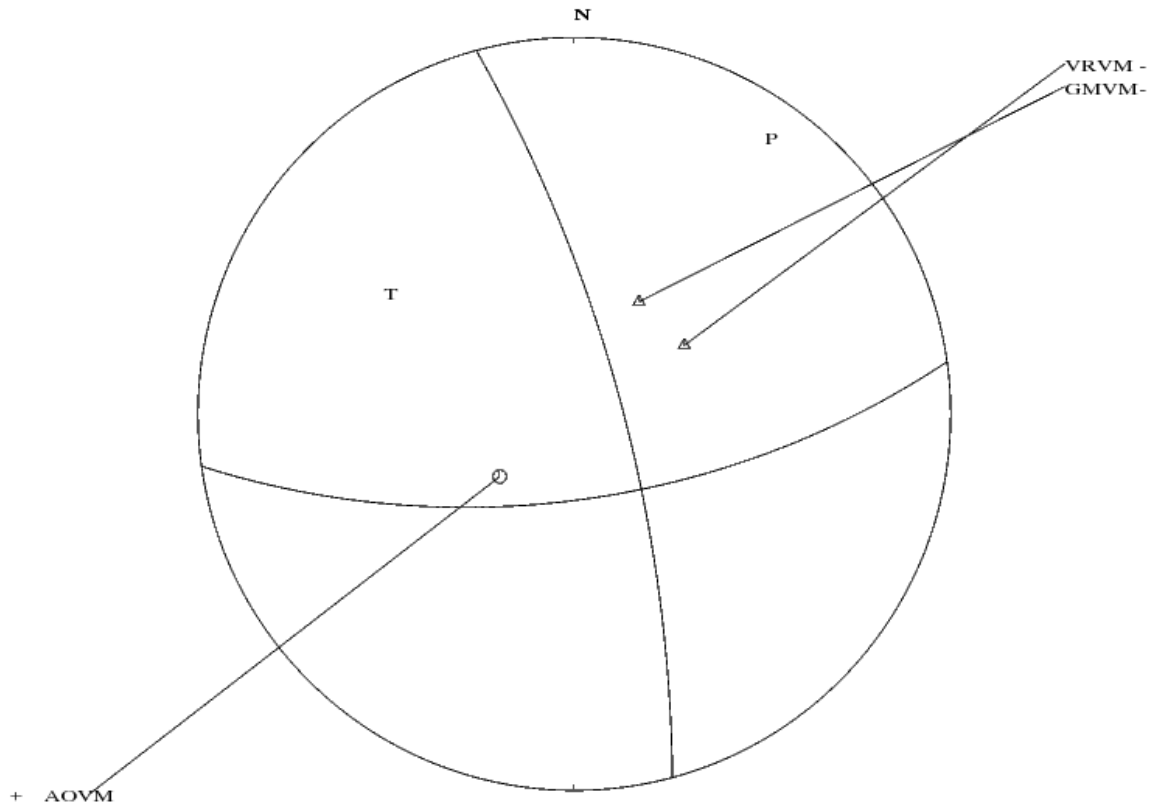


Figura 12. Solución de mecanismo focal para el evento del día 13 de Septiembre del 2015, localizado a 1 km al sureste de Benito Juárez, CDMX. Falla de tipo normal-sinistral; evento registrado en solo 3 estaciones simicas.

Evento 13

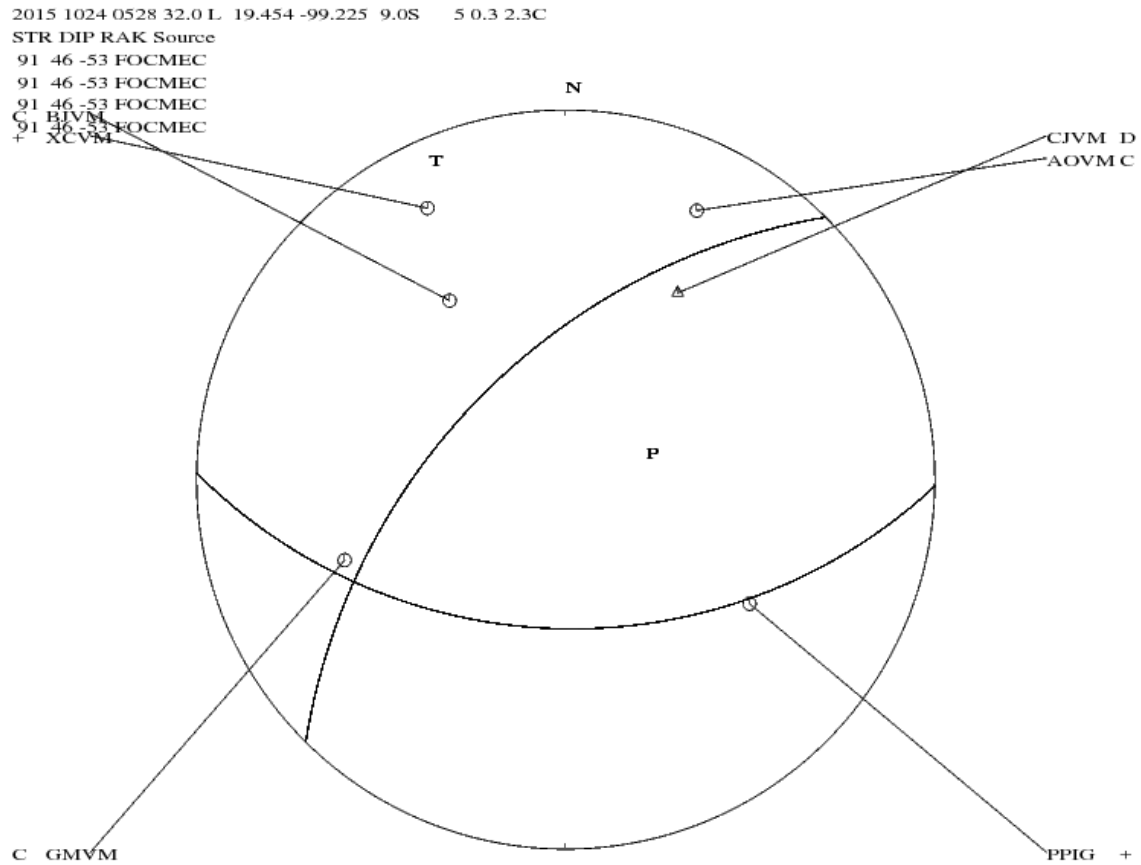


Figura 13. Solución de mecanismo focal para el evento del día 24 de Octubre del 2015, ubicado a 2 km al norte de Miguel Hidalgo, CDMX. Falla de tipo normal-dextral; evento registrado en 6 estaciones sismológicas.

Evento 14

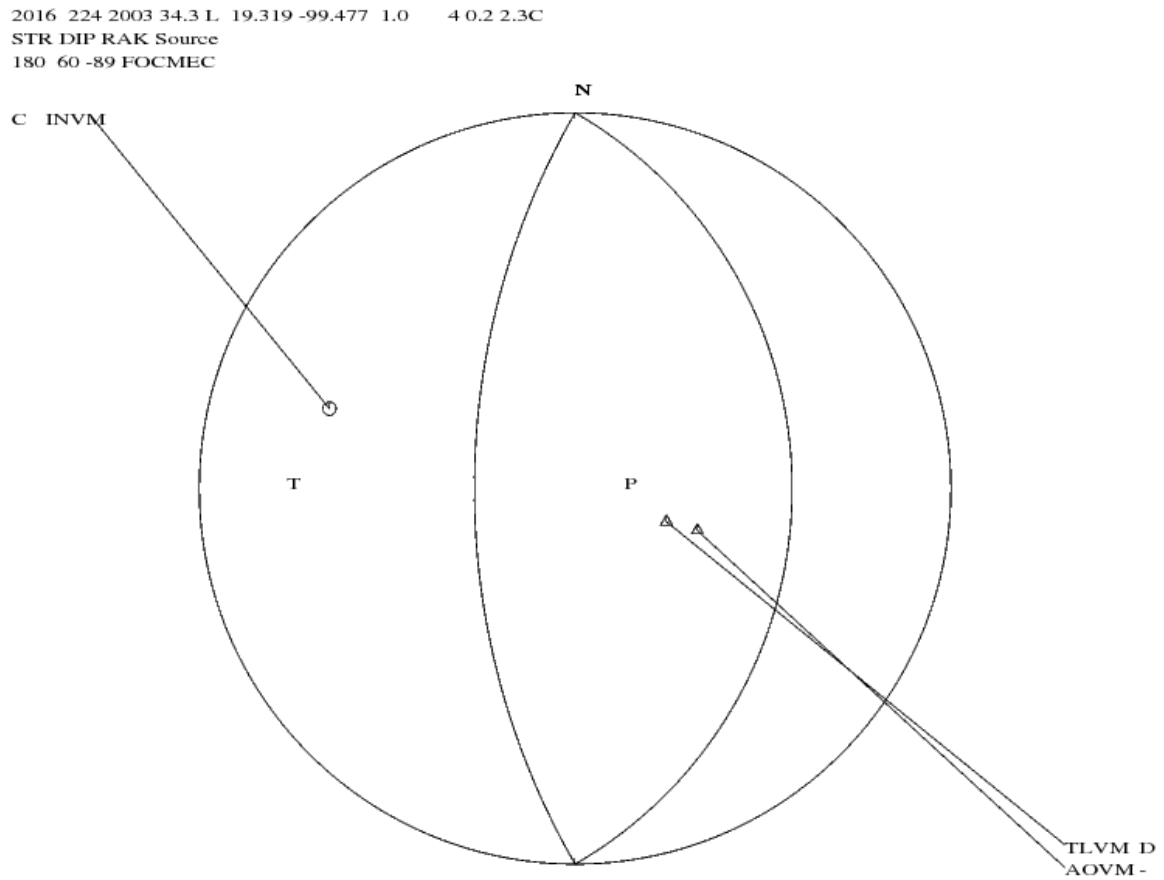


Figura 14. Solución de mecanismo focal para el evento del día 24 de Febrero del 2016, localizado a 6 km al noreste de Santa María Atarasquillo, Edo. De México. Falla de tipo normal; evento registrado en 3 estaciones sismológicas.

Figura 15

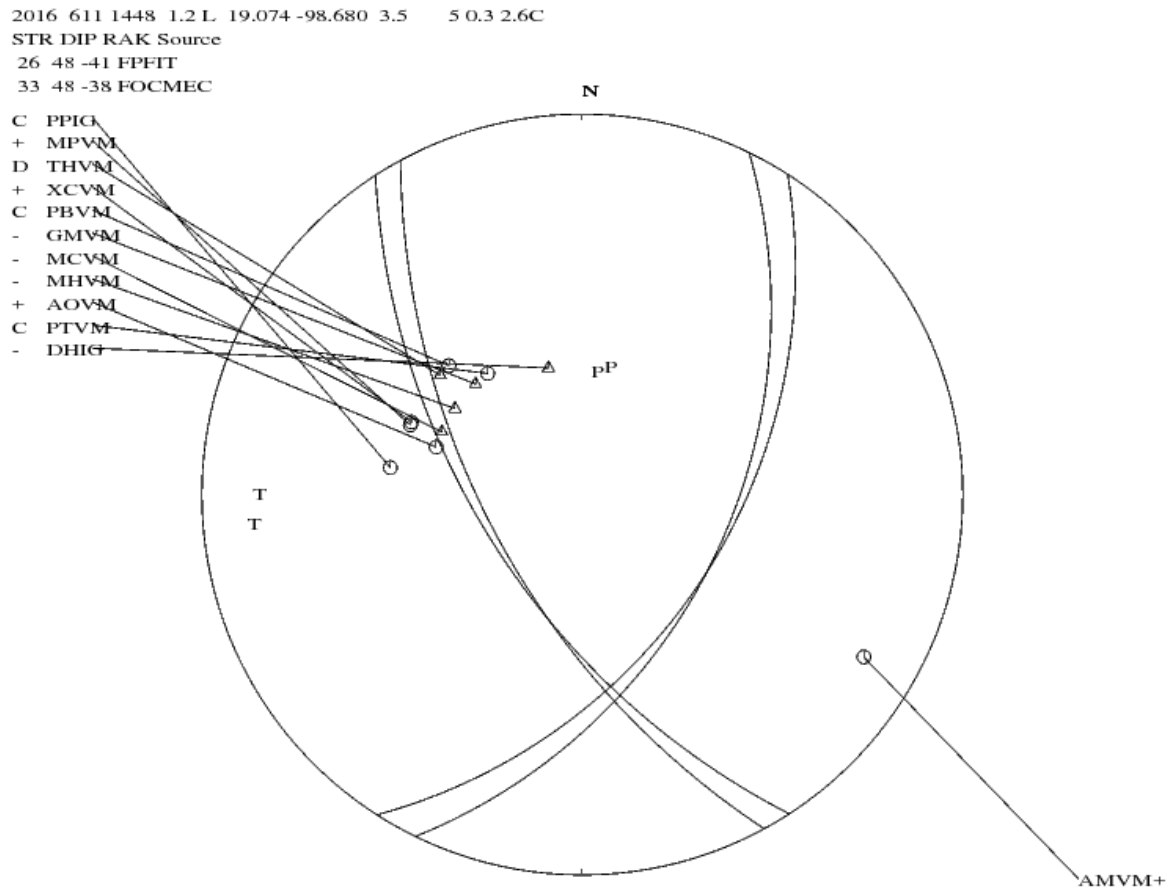


Figura 15. Solución de mecanismo focal para el evento del día 11 de Junio del 2106, localizado a 16 km al este de Ozumba Edo. De México. Este sismo está localizado en el área de la Sierra Nevada (Zona de Volcanes). Falla de tipo normal; evento registrado en 12 estaciones sismológicas.

Evento 16

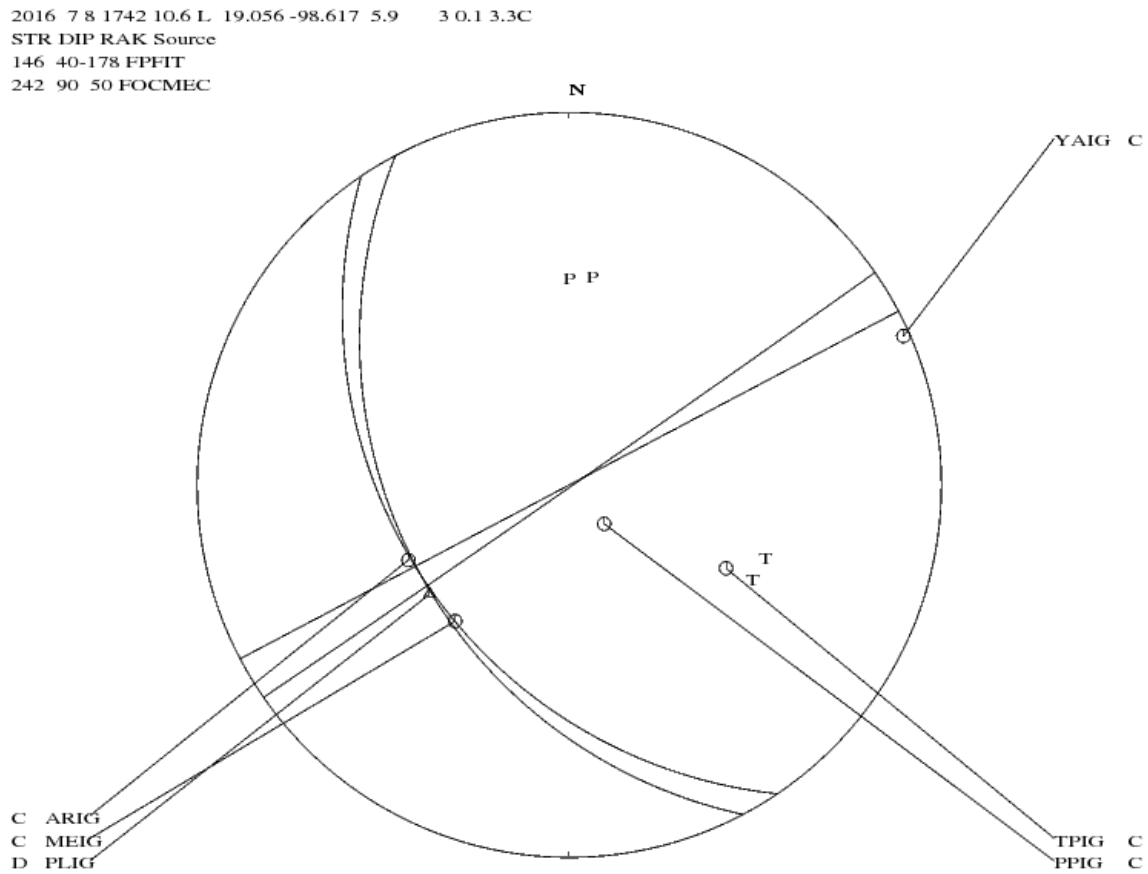


Figura 16. Solución de mecanismo focal para el día 08 de Julio del 2016 a las 17:42 hrs, localizado a 19 km al sureste de Amecameca Edo. De México. Falla de tipo normal-compuesta (sismo de origen volcánico); evento registrado en 6 estaciones.

Evento 17

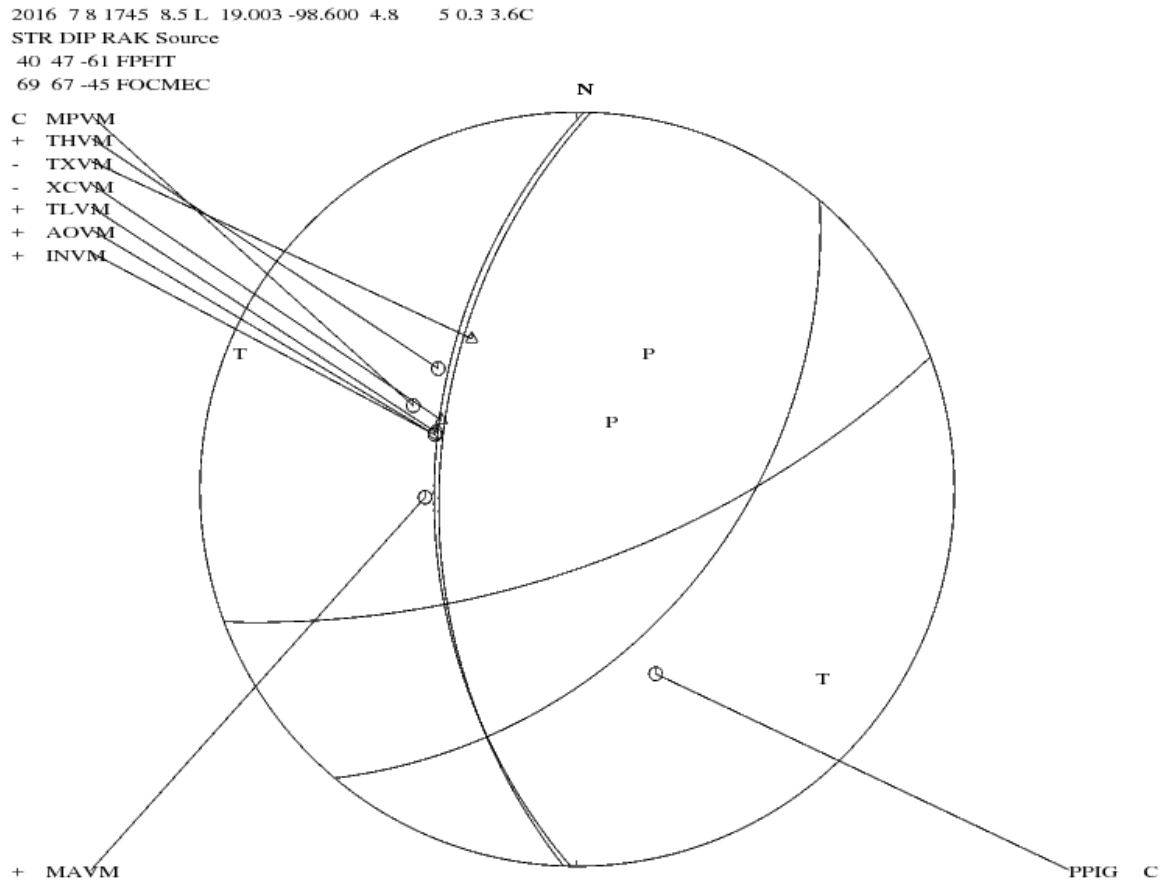


Figura 17. Solución de mecanismo focal para el evento del día 08 de Julio del 2016, ocurrido a las 17:45 hrs, originado a 18 km al este de Amecameca, Edo. De México. Falla de tipo normal-oblicua (sismo volcánico); el evento se pudo detectar en 9 estaciones sismológicas.

Evento 18

2016 7 8 1745 8.4 L 19.043 -98.613 7.0 4 0.3 3.1C
STR DIP RAK Source
0 56 38 FPFIT
338 62 49 FOCMEC

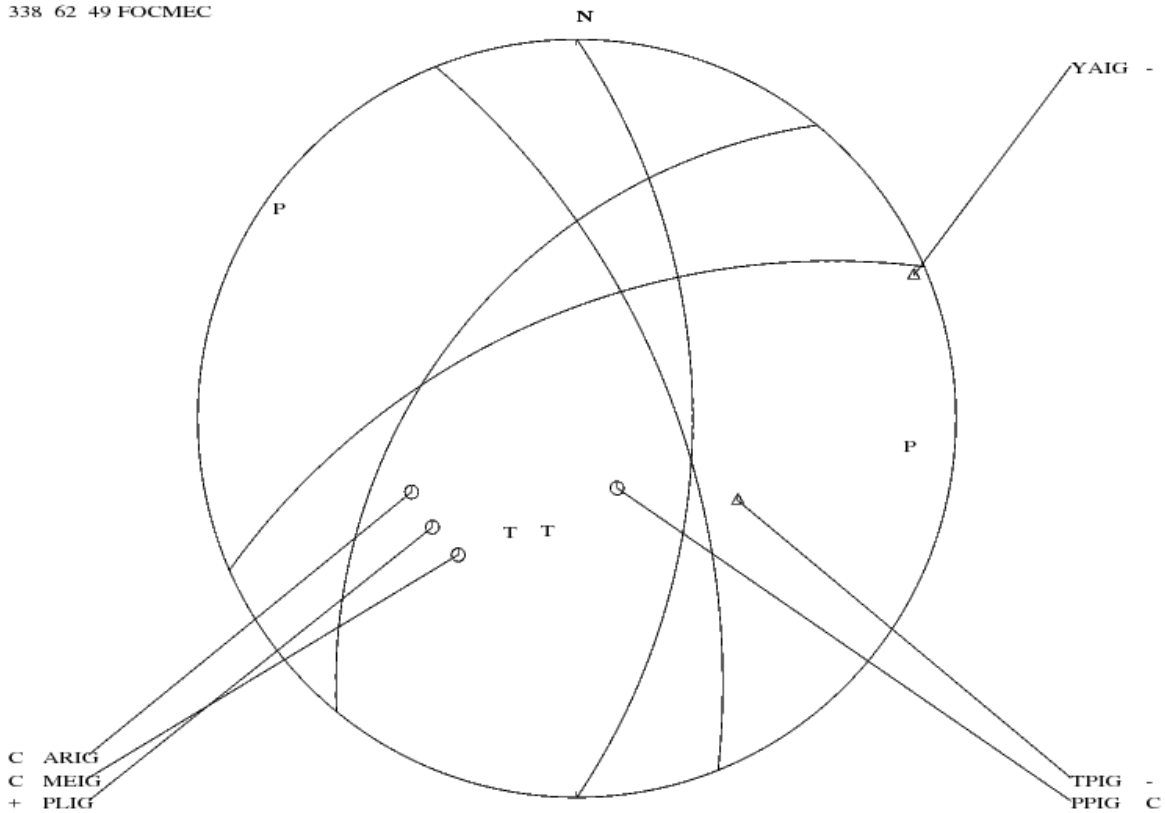


Figura 18. Solución de mecanismo focal para el evento del día 08 de Julio del 2016 a las 17:45 hrs, localizado a 18 km al Sureste de Amecameca, Edo. De México. Falla de tipo normal-compuesta (sismo volcánico); el evento pudo ser registrado en 6 estaciones sinológicas.

Evento 21

2016 914 1957 17.5 L 19.013 -98.618 6.2 3 0.4 3.0C
STR DIP RAK Source
32 50 -22 FOCMEC

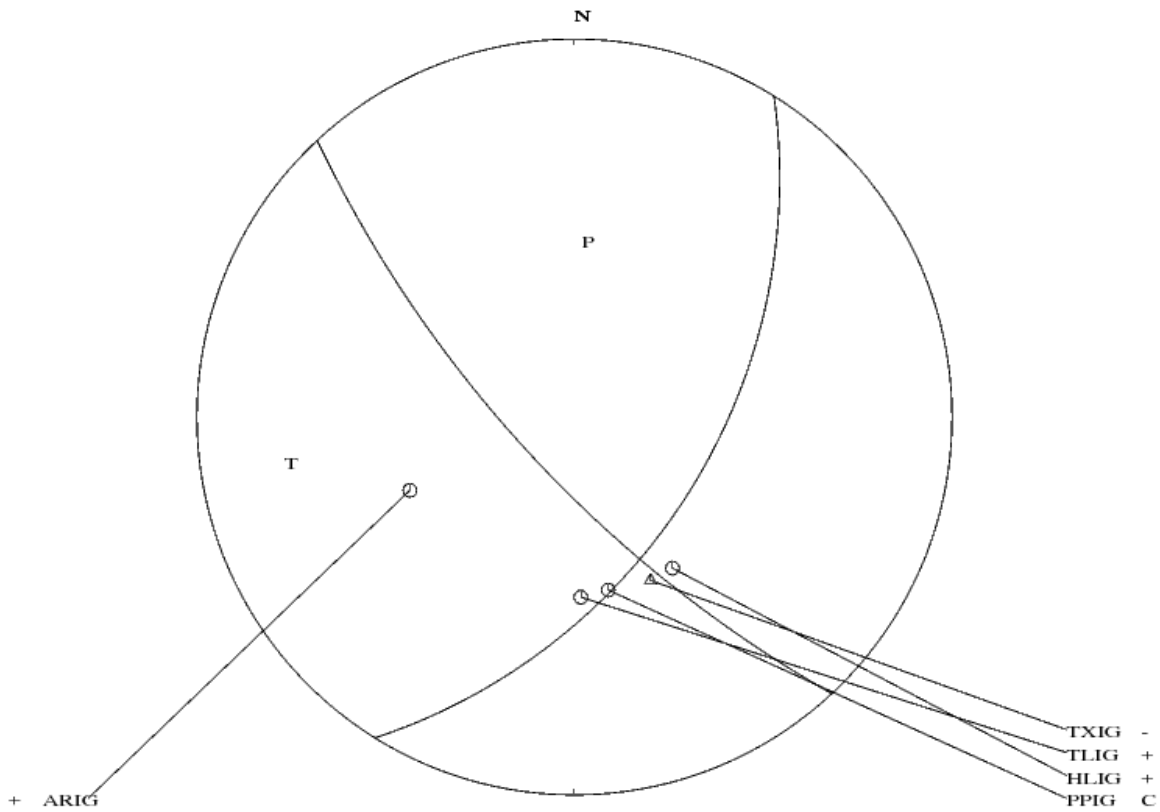


Figura 21. Solución de mecanismo focal para el sismo del día 14 de Septiembre del 2016, localizado a 19 km al sureste de Ozumba, Edo. De México. Falla de tipo normal-sinistral (sismo volcánico); sismo registrado solo en 5 estaciones sismológicas.

Evento 22

2016 1122 1026 25.7 L 19.036 -98.676 3.9 6 0.5 3.0C
STR DIP RAK Source
198 54 37 FOCMEC

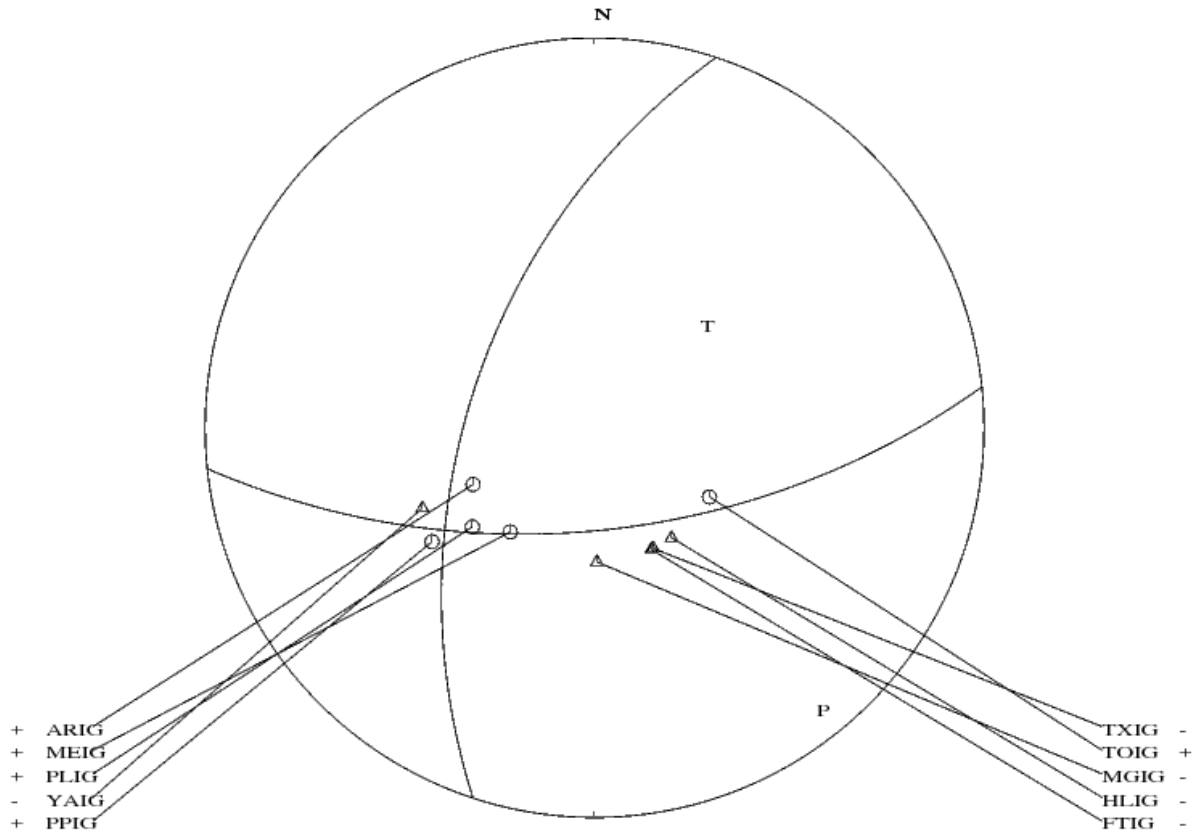


Figura 22. Solución de mecanismo focal para el sismo del día 22 de Noviembre del 2016, localizado a 11 km al este de Ozumba, Edo. De México. Falla de tipo normal compuesta. Sismo registrado en 10 estaciones sismológicas.