



BENÉMERITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

COLEGIO DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y GEODÉSICA

TESIS

***“EL INCLINÓMETRO SECO, UN MÉTODO DE NIVELACIÓN UTILIZADO PARA DETERMINAR
LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO EN LOS VOLCANES, EMPLEADO PARA MEDIR EL
DESLIZAMIENTO DE LADERAS EN LOS MUNICIPIOS JUAN GALINDO Y ZIHUATEUTLA EN EL
ESTADO DE PUEBLA.”***

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA

PRESENTA

ERNESTO PANOHAYA AMADOR

ASESOR: MTRO. MÁXIMO ÁVILA CRUZ

CO-ASESORES: DR. ROGELIO RAMOS AGUILAR Y DRA. PATRICIA MÁXIMO ROMERO

HEROICA PUEBLA DE ZARAGOZA

AGOSTO 2020

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
CAPÍTULO 1: DEFINICIONES	6
1.1 Topografía	6
1.2 Vulcanología.....	9
1.3 Métodos para medir deformaciones en la vulcanología	10
CAPITULO 2: INCLINOMETRIA	15
2.1 El inclinómetro húmedo	16
2.2 Inclinómetro seco	18
CAPITULO 3: APLICACIÓN DEL INCLINÓMETRO SECO AL DESLIZAMIENTO DE LADERAS.....	20
3.1 Selección de la zona de estudio.....	23
3.1.1 Resumen de los municipios seleccionados	24
3.2 Actividades de gestión para iniciar trabajos	28
CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN DEL INCLINOMETRO SECO EN LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA.	33

4.1 Marco teórico.....	33
4.1.2 Obtención de las ecuaciones	35
4.1.3 Adaptación de las ecuaciones al método del inclinómetro seco.....	40
4.2 Establecimiento del inclinómetro	43
CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DEL MÉTODO AL DESLIZAMIENTO DE LADERAS	47
5.1 Instalación de las estaciones.....	47
5.2 Inicio de las mediciones	63
5.3 Cálculo de constantes de los sitios	72
CAPÍTULO 6: RESULTADOS	81
CONCLUSIONES.....	89
Bibliografía	92
ANEXOS	95

INTRODUCCIÓN

El análisis de riesgos relacionados con los fenómenos naturales que tienen la capacidad de producir desastres, se constituye como un área de oportunidad para la aplicación de las diferentes especialidades de la ingeniería, aplicación donde la ingeniería Topográfica y Geodésica se establece como un valioso aliado en las tareas de aquellas personas que de diversas maneras son responsables de trabajar en la mitigación y prevención de estos riesgos.

Por ello, en este trabajo se decide abordar el problema relacionado con estos fenómenos naturales, específicamente lo que concierne al deslizamiento de laderas en zonas cercanas a asentamientos humanos que han ocasionado en tiempos recientes innumerables daños incluyendo en muchos casos pérdidas de vidas humanas.

La falta de un control adecuado sobre el desarrollo urbano ha provocado que cada vez más familias ubiquen sus viviendas en zonas donde el riesgo es latente, siendo esto, uno de los actores principales en la pérdida de vidas humanas dentro del último lustro. Esto ha generado una preocupación genuina en estudiantes de ingeniería quienes aportan el conocimiento adquirido para encontrar alternativas en la prevención del deslizamiento de laderas.

En la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a iniciativa de un equipo compuesto de profesores y alumnos, se constituyó un grupo de investigación el cual se plantea como objetivo participar conjuntamente con las autoridades de dos municipios que afrontan un gran riesgo de deslizamiento de laderas, mediante la implementación de un método cuantitativo que permita, en caso de ocurrencia, medir los deslizamientos del terreno de los asentamientos humanos.

Debido al paralelismo que existe entre el deslizamiento del suelo con fenómenos de deformación del terreno que sufren los volcanes previos a una erupción y dado que el grupo de investigación cuenta con los conocimientos y la experiencia en su

aplicación, se establecieron estaciones de inclinometría, cuya descripción, instrumentación y resultados serán descritos en el presente trabajo.

Los municipios objeto de este trabajo, se ubican en el Estado de Puebla, México, concretamente los Municipios de Juan Galindo y Zihuateutla.

OBJETIVOS

Objetivo general

Obtener un indicador cuantitativo que pueda complementar los estudios para prevenir el riesgo de desastres relacionados con las laderas en las zonas que son propensas de sufrir esta situación.

Objetivos específicos

- Recabar datos e información que sean de ayuda para la organización de Protección Civil del lugar.
- Establecer estaciones de inclinometría que permitan medir la inclinación del terreno.
- Determinar el movimiento promedio por deslizamiento de laderas, si existe.
- Analizar el comportamiento del movimiento con ayuda de los datos recabados.

CAPÍTULO 1: DEFINICIONES

1.1 Topografía

Esta disciplina se ha definido tradicionalmente como la ciencia y el arte de determinar las posiciones relativas de puntos situados por encima de la superficie de la Tierra, sobre dicha superficie y debajo de la misma, o de situar tales puntos. En un sentido más general, sin embargo, la topografía se puede considerar como la disciplina que abarca todos los métodos para reunir y procesar información acerca de partes físicas de la Tierra y sus alrededores (Brincker y Wolf, 1982. Topografía moderna 6 edición).

En la realización de obras civiles para el aprovechamiento de recursos naturales tales como acueductos, canales, vías de comunicación, embalses etc., en la elaboración de planes de desarrollo urbano, en el catastro, así como en la arqueología, y en muchos otros campos, la topografía es un elemento indispensable.

La topografía es la ciencia y la técnica de realizar mediciones de ángulos y distancias en porciones de la superficie terrestre no muy extensas en donde se puede despreciar la curvatura terrestre, para después procesarlas y obtener así coordenadas de puntos, direcciones, elevaciones, áreas o volúmenes, en forma gráfica y/o numérica, según los requiera la finalidad del trabajo.

Dentro de los tipos de levantamientos encontramos los levantamientos topográficos y geodésicos. (Brincker y Wolf, 1982. Topografía moderna 6 edición).

Los levantamientos topográficos consisten en realizar la descripción de pequeñas superficies de terreno sin tomar en cuenta la curvatura de la Tierra, generando una proyección sobre un plano horizontal normal a la dirección de la gravedad.

Los levantamientos geodésicos comprenden grandes extensiones de terreno tomando en cuenta la curvatura de la tierra y su relación con su campo gravitacional, además de establecer redes de medición de ángulos y distancias para controlar los levantamientos de grandes extensiones como mediciones de países o estados, las técnicas de medición de alta precisión y modelos matemáticos que consideran la curvatura terrestre. (Brincker y Wolf, 1982. Topografía moderna 6 edición).

Estos levantamientos son útiles en la elaboración de cartografía de países completos por el método de trilateración geodésica (fig.1) con el apoyo de equipo de alta precisión y equipos con antenas de recepción GPS.



Fig. 1 Ejemplo de trilateración Geodésica, Tomada de levantamientos Geodésicos, Ecured.

Dentro de los métodos utilizados en la topografía se encuentra la nivelación en circuito cerrado, usado para el control vertical y la base del método descrito en este trabajo.

La nivelación en circuito cerrado consiste en realizar una nivelación compuesta a lo largo de todos los bancos que componen el circuito de nivelación (fig.2), llegando al mismo punto de donde se parte, para comprobar la correcta ejecución de la nivelación y de esta manera hacer correcciones mínimas a las cotas obtenidas al final del proceso.

Es un método que, debido a su alta precisión y metodología es utilizado para establecer bancos maestros en el control vertical de obra civil, así como por otras ciencias para medir y determinar la deformación del terreno, como el caso de la vulcanología o en los deslizamientos de laderas.

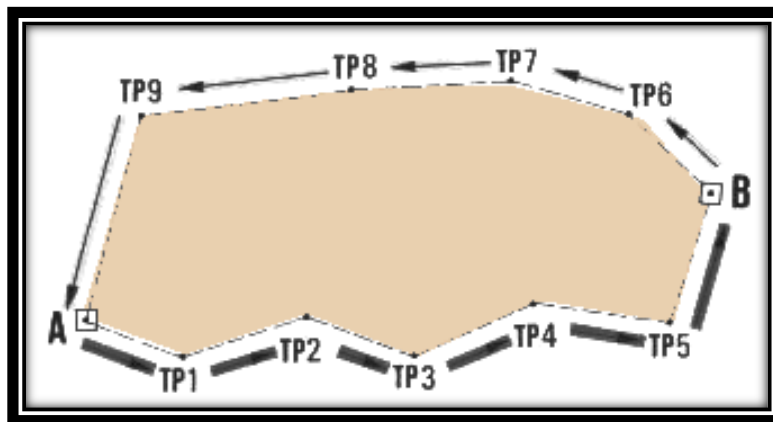


Fig.2 Esquema de un circuito de nivelación

1.2 Vulcanología

La vulcanología es una ciencia que deriva de la geología, que estudia los volcanes, desde su origen y los productos que genera, así como los efectos al ambiente y peligros asociados.

Los vulcanólogos han desarrollado métodos en conjunto con otras ciencias como la geodesia para medir y prevenir actividad volcánica que ponga en riesgo el desarrollo de las actividades humanas.

Las erupciones volcánicas normalmente van precedidas de señales anómalas que pueden indicar su próxima ocurrencia y que se denominan precursores. La única manera de detectarlas es realizar una vigilancia volcánica adecuada empleando técnicas diferentes y realizando un análisis conjunto de los datos obtenidos. Este trabajo coordinado ayuda a mejorar los pronósticos de cómo, dónde y cuándo tendrá lugar la próxima erupción volcánica. (Universidad Veracruzana, Centro de ciencias de la Tierra (2020), Vulcanología)

1.3 Métodos para medir deformaciones en la vulcanología

El ascenso de magma a través del manto y la corteza terrestre puede provocar distintos tipos de procesos relacionados entre sí: aumento de presión en la roca encajante, eventos sísmicos producidos por la fracturación de las rocas, deformación de la superficie terrestre, cambios fuertes de temperatura en el medio, emisión de gases magmáticos que pueden alterar la composición química y el estado de las fumarolas o las aguas subterráneas, cambios en el patrón de circulación de los fluidos subterráneos, cambios en la densidad del medio y en su señal gravimétrica, cambios en los campos eléctrico y magnético a escala local, etc. Cada uno de estos procesos se puede monitorizar mediante diferentes técnicas geofísicas, geodésicas y geoquímicas, por lo que es necesario un enfoque pluridisciplinar para obtener una imagen lo más completa posible de la evolución del sistema volcánico (fig.3). (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

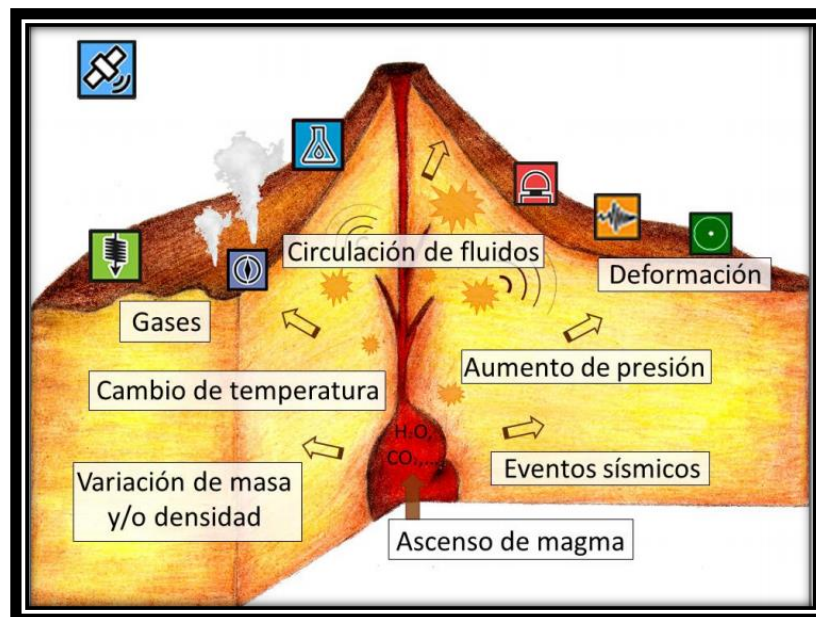


Fig.3 Esquema general de movimientos en una erupción tomado del IGN. Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica)

SISMOLOGÍA

La sismología es la parte de la geofísica que se dedica al estudio de terremotos y otros eventos generadores de ondas sísmicas.

La sismología es una de las técnicas más antiguas que permiten conocer el estado de un volcán. Mediante el análisis de las distintas señales sísmicas asociadas a la actividad volcánica se puede obtener información de posibles intrusiones magmáticas, alteraciones de una cámara magmática preexistente, ascenso de magma ante una inminente erupción y un largo etcétera (fig.4).

A menudo son utilizados sismómetros que son instrumentos capaces de medir las vibraciones del suelo, ya sean de origen sísmico o de origen antropogénico, meteorológico, etc. Su funcionamiento se basa en una masa sujeta mediante un sistema elástico a una estructura fijada al suelo.

Los acelerómetros se basan en el mismo principio que los sismómetros, pero están pensados para el análisis de movimientos fuertes. Ahí donde un sismómetro se saturaría si el temblor fuera moderadamente fuerte, el acelerómetro debe ser capaz de registrar las aceleraciones producidas en el terreno por cualquier terremoto sin importar su tamaño. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

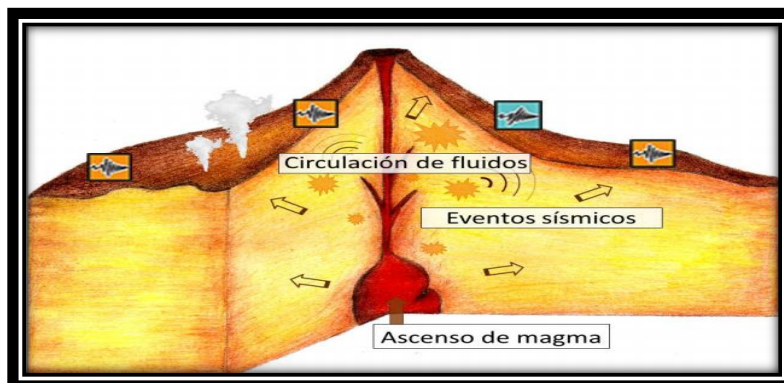


Fig.4 Movimientos sísmicos en un volcán, tomado del IGN. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

GEOQUÍMICA

La mayoría de las erupciones volcánicas vienen precedidas por cambios geofísicos y/o geoquímicos. Estos cambios pueden ser detectados y medidos con exactitud mediante técnicas de monitoreo, utilizando la instrumentación y tecnología adecuadas. El estudio por métodos químicos de la composición de los productos volcánicos, así como los efectos de la interacción de estos productos con el medio ambiente, constituyen una herramienta valiosa para obtener información referente a las distintas etapas de la actividad volcánica (fig. 5). (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

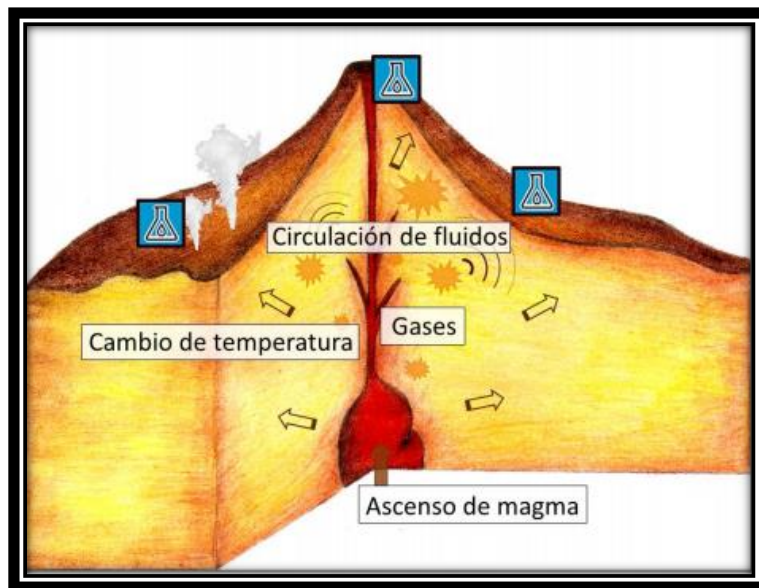


Fig. 5 Cambios geoquímicos en un volcán tomado del IGN. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

GRAVIMETRÍA

La Gravimetría se encarga del estudio de las fuerzas de atracción entre cuerpos, sus causas y consecuencias. Dichas fuerzas están relacionadas directamente con la masa y/o densidad de estos cuerpos y de manera inversa con la distancia que separa los mismos.

Todo elemento que se encuentre rotando solidariamente con la Tierra, se verá sometido a la atracción de ésta. Esta atracción no se ejerce de manera homogénea. Depende tanto de la estructura del interior de la Tierra como de fenómenos externos, así como de la ubicación geográfica del lugar sobre la superficie terrestre. Midiendo la aceleración experimentada por un cuerpo al caer y comparándola con la que predicen los modelos, seremos capaces mediante distintas técnicas, de obtener información del interior de la Tierra. Las áreas volcánicas están caracterizadas por fuertes contrastes de masa y/o densidad. Además, en periodos de actividad volcánica, es usual encontrar variaciones espaciotemporales del valor de la gravedad, originadas por los distintos procesos magmáticos, que en general involucran cambios de densidad. Por lo tanto, es común el uso de esta técnica como un complemento al estudio de estos fenómenos volcánicos (fig. 6). (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

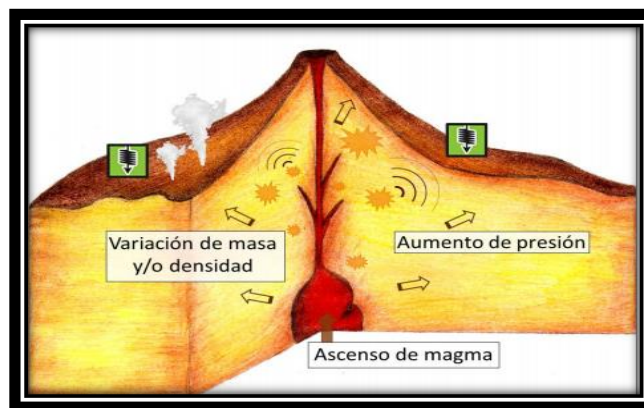


Fig. 6 Cambios gravimétricos en un volcán, tomado del IGN. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

GEODESIA

El principal objetivo de la geodesia aplicada al vulcanismo es el control de posibles deformaciones en un complejo volcánico y sus inmediaciones, a diferentes escalas de espacio y tiempo. Estas deformaciones, que se miden en la superficie terrestre, se producen cuando la presión interna ejercida por el magma cambia, por lo que son el reflejo de un cambio de la actividad volcánica. De esta forma la detección de deformaciones y su cuantificación puede dar una información muy útil sobre qué es lo que está ocurriendo en el interior (fig. 7).

Las técnicas de posicionamiento por satélite, como es el GPS (Global Positioning System) o de forma más general GNSS (Global Navigation Satellite System) son frecuentemente usadas para el control de deformaciones en áreas volcánicas. La constelación de satélites GPS provee a cualquier usuario del número mínimo de satélites a la vista para determinar su posición, siempre y cuando tengan un horizonte despejado. De esta forma con un receptor GPS se puede obtener la posición de un punto de forma muy rápida con una precisión por debajo del metro. Pero en el caso de los volcanes, la precisión necesaria para detectar la deformación ocasionada por el cambio del estado del volcán debe ser muy superior, debiendo ser capaz de detectar deformaciones por debajo del centímetro. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

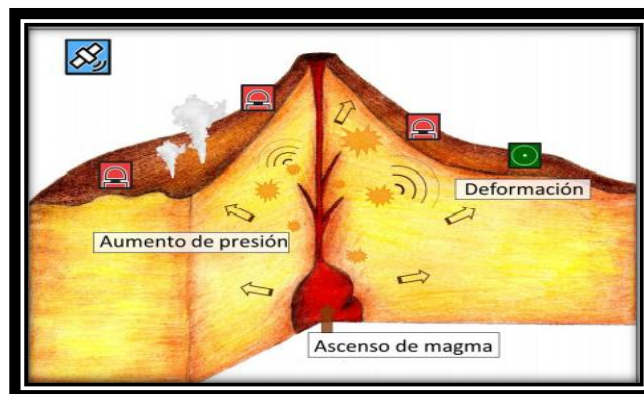


Fig. 7 Monitoreo geodésico en un volcán tomado del IGN. (Instituto geográfico nacional. (2015). Técnicas de vigilancia volcánica).

CAPITULO 2: INCLINOMETRIA

La deformación del terreno en los procesos volcánicos fue estudiada por Jaggar en 1926 en Hawaii. Notó que un sismómetro de péndulo horizontal registraba de forma efectiva cambios de inclinación en el terreno durante amplios lapsos de tiempo.

Fue hasta 1958 que se desarrolló instrumentación adicional cuando diez inclinómetros húmedos fueron instalados alrededor de la cima del volcán kilauea por parte del personal del Observatorio Vulcanológico de Hawaii (H.V.O.)

Los inclinómetros son instrumentos utilizados para medir la inclinación de un plano respecto de la horizontal mostrando así muy diversos campos de aplicación (ingeniería civil, prospecciones petrolíferas, astronomía, nivelación, industria aeroespacial, vulcanología, etc....).

Son instrumentos diseñados para detectar vectores muy pequeños de inclinación mediante la utilización de medición de desniveles en circuito cerrado.

En el estudio de volcanes activos, los Inclinómetros permiten la monitorización del cambio de forma antes, durante y después de los periodos eruptivos y complementan la información proporcionada por otras técnicas geodésicas. Las magnitudes de las inclinaciones de las superficies pueden ser muy pequeñas y se requieren equipos muy precisos llegando a alcanzar resoluciones de hasta 5 nano radianes.

Existen dos tipos de inclinómetro, siendo el primero, el denominado inclinómetro húmedo, conocido así por la intervención de líquidos en su funcionamiento. Posteriormente se sustituyeron los líquidos por miras de nivelación de material Invar y niveles geodésicos, para aumentar el alcance del instrumento en distancia vertical, por ello obtiene el nombre de inclinómetro seco debido a que no intervienen líquidos en él.

2.1 El inclinómetro húmedo

Estos instrumentos medían los cambios de nivel de agua en tubos extendidos sobre bases de hormigón, debido a que intervienen líquidos en él surge el nombre de *inclinómetro húmedo de base larga*.

Son instrumentos de alta precisión, pero están limitados a superficies donde el desnivel no es mayor a un centímetro, configurados en un triángulo equilátero de veinticinco a cincuenta metros de largo que constituye la estación del instrumento (fig. 8). Otra desventaja es que la máxima precisión se obtiene solo durante días muy nublados o de noche, ya que al ser un líquido la expansión térmica y la contracción del agua en el sistema altera las mediciones.

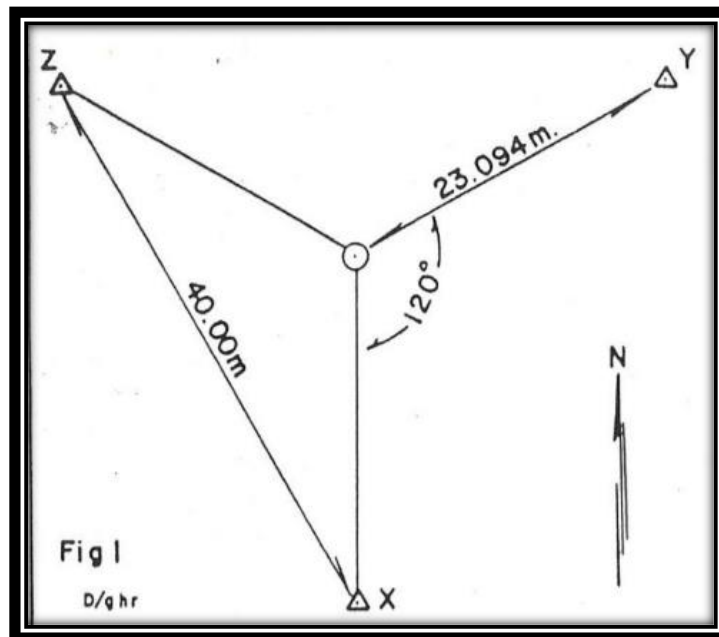


Fig. 8 Ejemplo de triángulo de inclinometría

INSTRUMENTAL

Se instalaban tuberías sobre bases de hormigón graduadas que al producirse una inclinación cambiaban la altura del nivel, muy similar al funcionamiento de un nivel de manguera (fig.9).

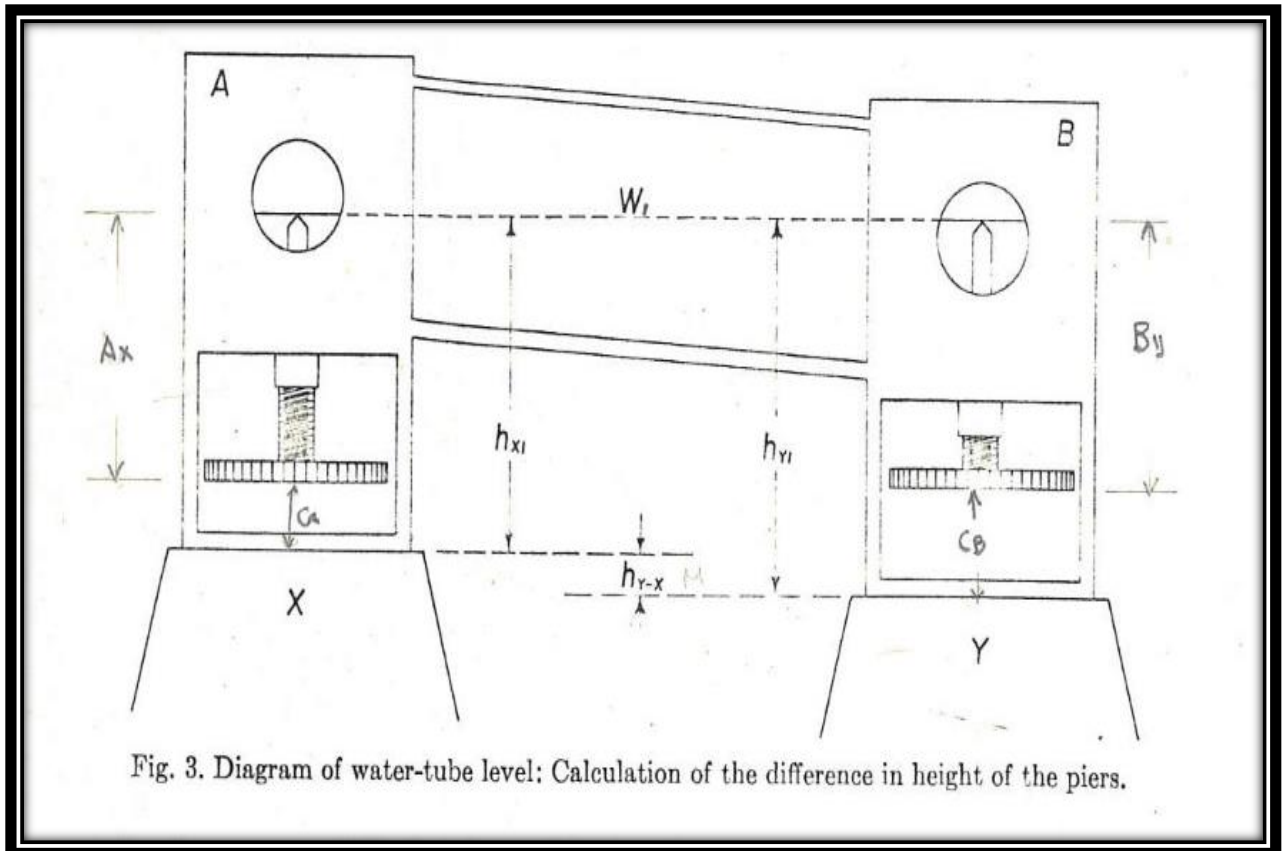


Fig. 9 Diagrama de inclinómetro húmedo. A portable wáter-tube tiltmeter, Yamashita, K.

2.2 Inclinómetro seco

Para superar las dificultades que presentaba el inclinómetro húmedo, D.B. Jackson empezó a desarrollar un sistema de nivelación de precisión en el H.V.O. en 1968. Este es un método de nivelación de precisión de un circuito de bancos de nivel. Puesto a que ningún fluido participa en el instrumento, fue denominado inclinómetro seco o método conocido como “spirit level” o de nivel preciso.

Las primeras mediciones mostraron que cambios significativos del terreno podían ser detectados mediante la medición de los bancos de nivel en un circuito cerrado, obteniendo como ventaja triángulos con lados más largos y la posibilidad de establecerlos con mayores desniveles hasta donde lo permite la longitud de la mira de nivelación, usualmente de tres metros.

Desde su introducción ha sido un método utilizado ampliamente en el monitoreo de deformación de terreno en volcanes, teniendo por sus principios grandes opciones de aplicación como en el deslizamiento de laderas, debido a el paralelismo entre ambas alteraciones del terreno.

INSTRUMENTAL

Usualmente las estaciones de inclinometría seca son monitoreadas por medio de un nivel geodésico equipado con micrómetro de placa plano paralela (fig. 10) y miras de nivelación de material invar (fig.11).



Fig. 10, nivel geodésico Zeiss ni2 con micrómetro de placa plano-paralela.



Fig. 11, mira de nivelación de material invar.

CAPITULO 3: APLICACIÓN DEL INCLINÓMETRO SECO AL DESLIZAMIENTO DE LADERAS.

Existe un paralelismo entre el deslizamiento de laderas y la deformación de terreno previa o posterior a la actividad volcánica aunque esta no sea evidente, ya que en ambos existen movimientos en alguna dirección y con alguna magnitud que puede ser medida y representada como un vector de desplazamiento.

Debido a que la magnitud del vector de desplazamiento es muy pequeña debe ser medida en micro radianes; un micro radián equivale a 0.00206 segundos de arco o equivalente a separar una línea de 1 km de largo un segundo de arco.

Durante las primeras dos décadas del siglo XXI, en la zona de la sierra norte de Puebla en la región correspondiente a Nuevo Necaxa, Zihuateutla y Huauchinango sufrieron de graves estragos sociales y económicos debido a el deslizamiento de laderas en época de lluvias.

Debido a que son movimientos de grandes extensiones de terreno se teoriza que los deslizamientos de laderas ocurren poco a poco con el paso del tiempo hasta llegar a un punto de ruptura, en donde parte de la estructura geológica se desploma debido a diversos factores como son, la filtración del agua, la erosión del suelo, la deforestación de la zona, la construcción de grandes y pesadas estructuras para el desarrollo de la actividad humana en la región. (Notas de clase, Ing. Joel Panohaya Analco, 2018)

Debido a su practicidad técnica y las amplias ventajas que ofrece, se selecciona el inclinómetro seco como método para medir y calcular el vector de deslizamiento de las laderas, además de ya tener resultados comprobados en mediciones de deformación de terreno en volcanes, otorgando una gran precisión y alta fiabilidad.

Para la selección de la zona de estudio se consideran varios factores:

1.- Deslizamientos frecuentes en los últimos 5 años:

2.- Zonas donde haya riesgo de deslizamiento cuyas afectaciones impacten directamente a los asentamientos humanos cercanos a la zona:

3.- Zonas de interés de las Direcciones Municipales de protección civil.

Fueron elegidos los municipios de Juan Galindo (fig. 12) en la comunidad de Necaxatepétl (fig.12.1) y Zihuateutla (fig.13) en la comunidad de Tecpatlán (fig.13.1), siendo instaladas cinco estaciones de inclinometría en total.

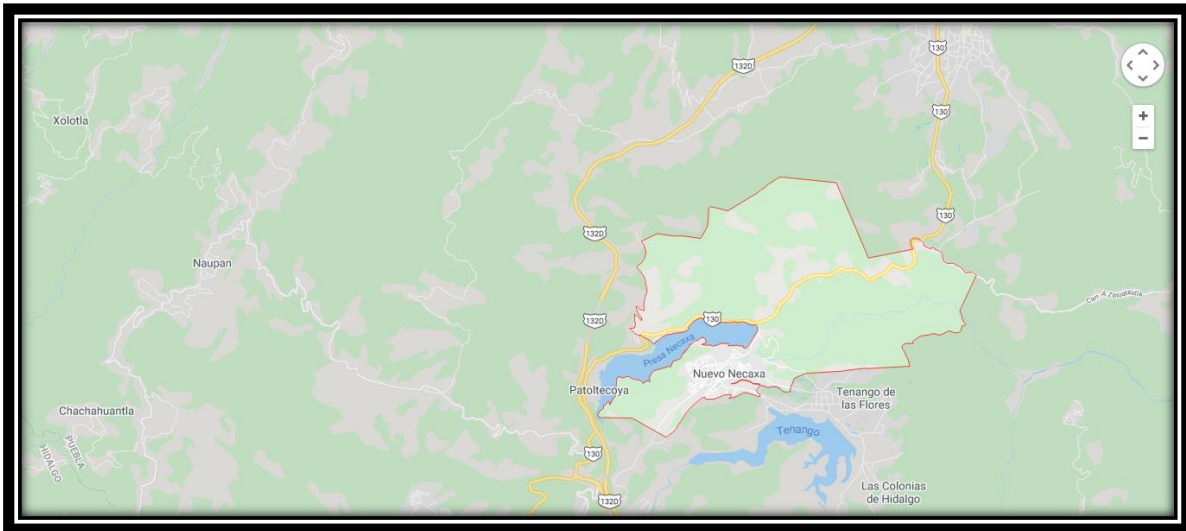


Fig.12 Municipio de Juan Galindo, Puebla, México. Google Maps, 2020

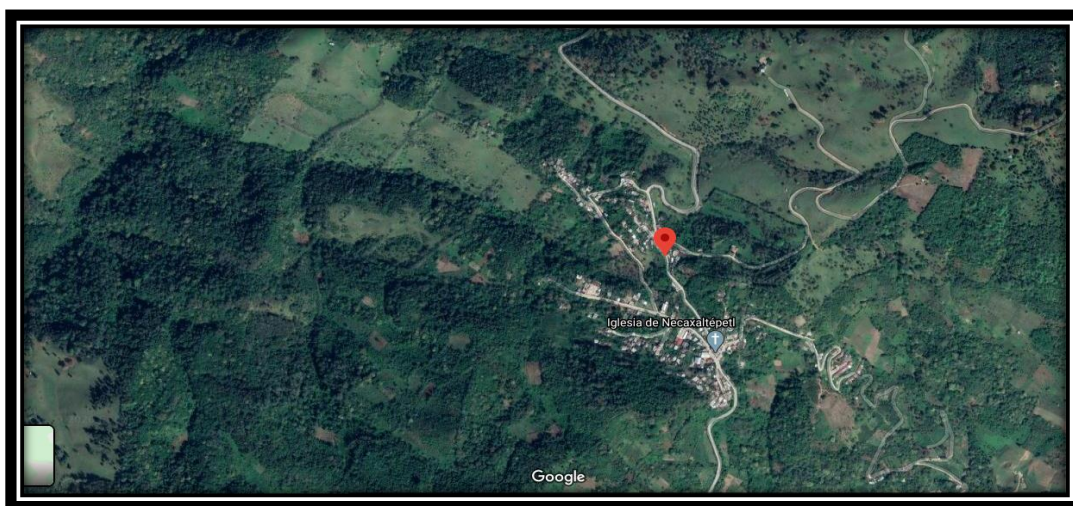


Fig. 12.1 Necaxatepétl, Juan Galindo, Puebla, México. Google earth, 2020

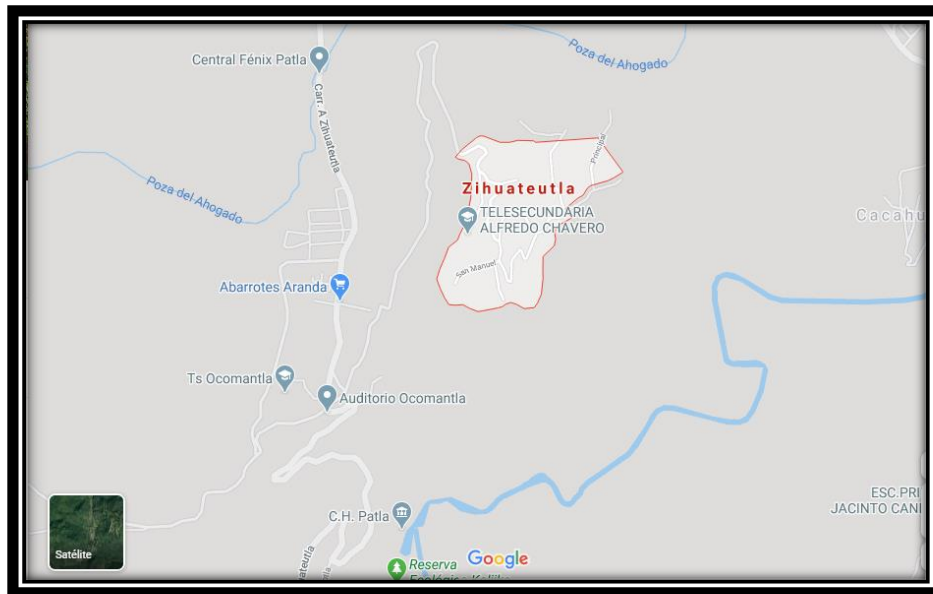


Fig.13 Municipio de Zihuateutla, Puebla, México. Google maps, 2020

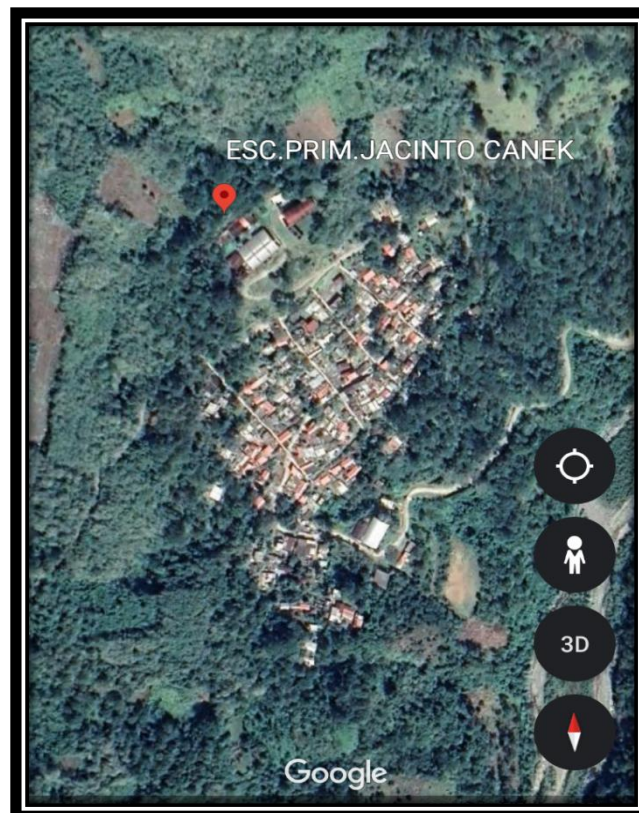


Fig.13.1 Tecpatlán de Benito Juárez, Zihuateutla, Puebla, México. Google earth 2020

3.1 Selección de la zona de estudio

Uno de los objetivos fundamentales de este trabajo es brindar información a la comunidad acerca de lo que puede ocurrir en sus localidades.

Se inicia una investigación en periódicos (fig. 14,15) y medios informativos digitales para poder hacer una selección previa del municipio donde se quiere trabajar el proyecto.



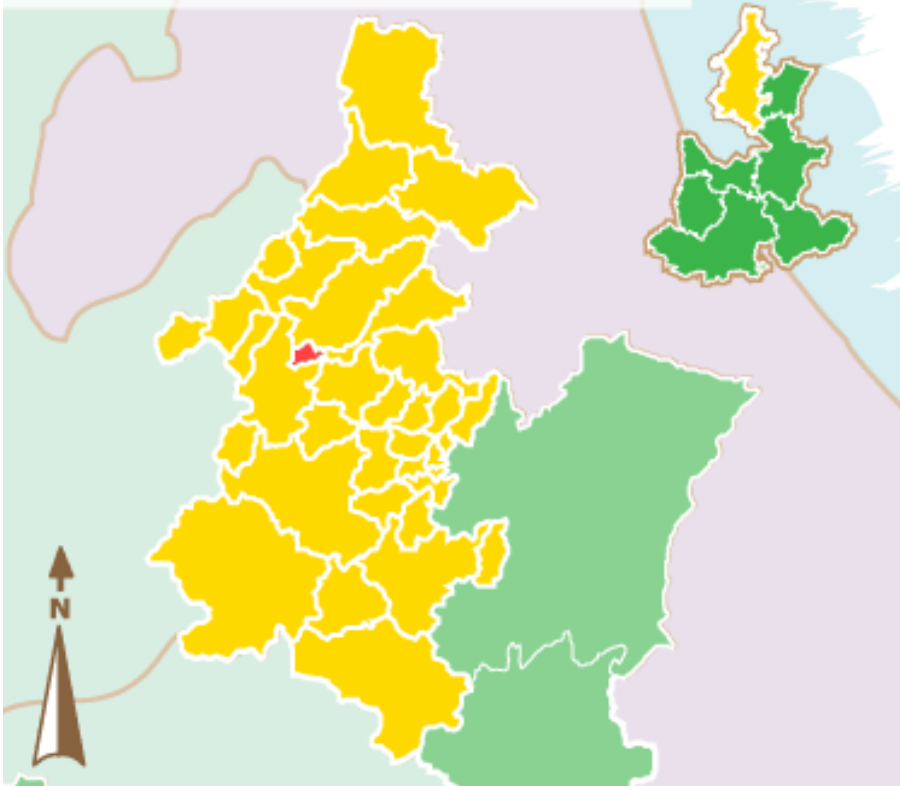
Fig. 14 viernes 5 de septiembre 2006. La jornada



Fig.15 jueves 5 de octubre de 2017. Municipios.

3.1.1 Resumen de los municipios seleccionados

JUAN GALINDO (NUEVO NECAXA)



Se localiza en la parte Noroeste, del estado de Puebla, sus coordenadas geográficas son: los paralelos 20° 12' 24" y 20° 14' 24" de latitud norte y los meridianos 97° 57' 00" y 98° 01' 24" de longitud poniente. Sus colindancias son al Norte con Xicotepec, al Sur con Huauchinango y Tlaola, al Oeste con Xicotepec y Zihuateutla y al Poniente con Huauchinango.

Tiene una superficie de 23.15 kilómetros cuadrados que lo ubican en el lugar 175 con respecto a los demás municipios del estado. (INAFED, 2020)

CARACTERÍSTICAS DEL USO DE SUELO.

En su territorio se identifican tres grupos de suelos:

Acrisol: Suelos muy pobres en nutrientes además para explotación forestal y práticamente, de productividad baja. Se localiza en la porción nor-oriental.

Luvisol: Son suelos ricos en nutrientes con horizonte cálcico o presencia de material calcaría por lo menos en la superficie. Son de fertilidad moderada a alta se localiza en la zona más baja del municipio, en la porción meridional.

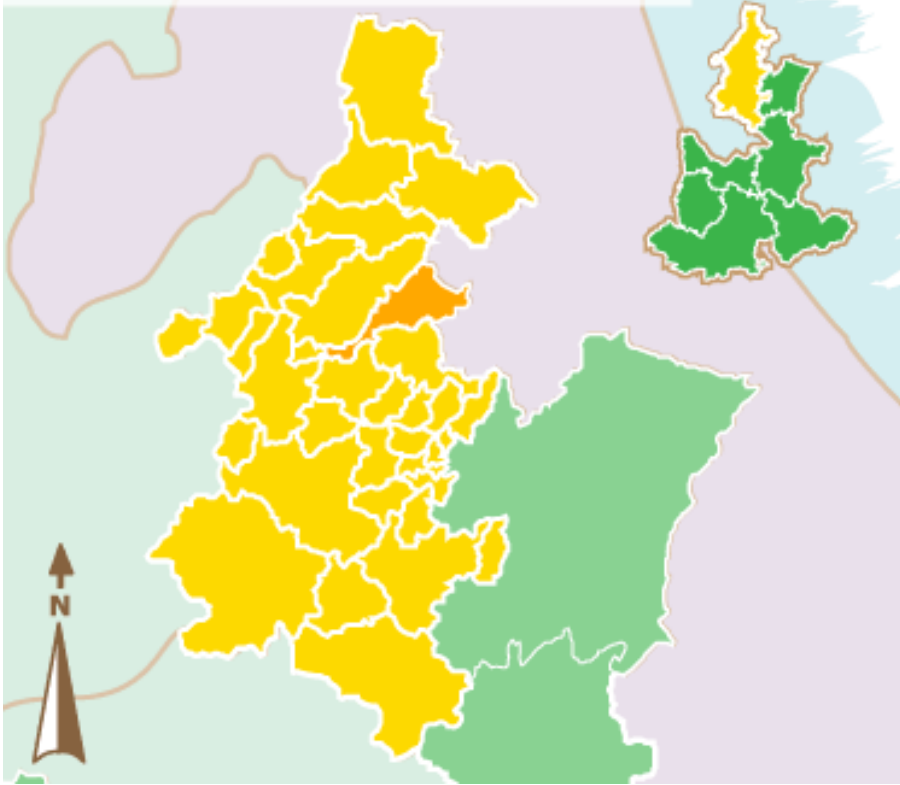
Regosol: Suelos formados por material que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etc., su uso varía según su origen, muy pobres en nutrientes prácticamente infértiles. Es el suelo predominante; ocupa en la porción central del municipio. (INAFED, 2020)

LOCALIDAD DE NECAXALTEPETL

Se encuentra en longitud poniente $97^{\circ}59'45''$ y la latitud norte $20^{\circ}13'58''$.

Su principal actividad económica es la Agricultura, su número de habitantes aproximado es de 729. Tiene una distancia aproximada a la cabecera municipal de 2 km. (INAFED, 2020)

ZIHUATEUTLA



Se localiza en la parte suroeste del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son los paralelos $20^{\circ} 12' 18''$ y $20^{\circ} 23' 12''$ de latitud norte y los meridianos $97^{\circ} 43' 54''$ y $97^{\circ} 56' 36''$ de longitud occidental. Sus colindancias son al Norte con Xicotepec, al Sur con Tlaola y Jopala, al Oeste con el estado de Veracruz y al Poniente con Xicotepec de Juárez.

Tiene una superficie de 176.53 kilómetros cuadrados que lo ubican en el lugar 73 con respecto a los demás municipios del estado. (INAFED, 2020)

CARACTERISTICAS DEL USO DE SUELO

Su territorio presenta gran diversidad edafológica se identifican seis grupos de suelos:

Fluvisol: Son suelos de origen aluvial reciente muy variable en su fertilidad. Se localizan en una angosta franja a lo largo del río Tepexi y Necaxa.

Acrisol: Suelos muy pobres en nutrientes adecuados para explotación forestal y practicultura. Se localizan en zonas dispersas al poniente y una gran área en la porción central.

Castañozem: Suelos con acumulación calcárea de alta productividad agrícola y patricola; susceptibles a salinizarse o saturarse con sodio si se riegan con agua de mala calidad, son de color pardo oscuro. Se localizan en una angosta franja a lo largo del río Buenavista.

Vertisol: Suelos de textura arcillosa y pesada que se agrietan doblemente cuando se agrietan, presentan dificultades para su labranza, se localizan en un área reducida a lo largo del río Necaxa.

Feozem: Son adecuados para cultivos que toleran exceso de agua, aunque mediante obras de drenaje pueden destinarse a otro tipo de cultivo, son de fertilidad moderada a alta. Se presenta en un área reducida al suroeste.

Regosol: Suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etcétera; son muy pobres en nutrientes, prácticamente infértiles. Se localizan en áreas dispersas al sur, noroeste, y a lo largo del río Xolintla, presenta fase gravosa (fragmentos de roca o tepetate a menos de 7.5 centímetros de diámetro en el suelo). (INAFED, 2020)

TECPATLÁN DE BENITO JUÁREZ

Se ubica en la longitud 97°52'03" de longitud poniente y en 20°14'22" de latitud norte.

Su principal actividad económica es la cafecultura, su número de habitantes aproximado es de 859. Tiene una distancia a la cabecera municipal de 20 kilómetros. (INAFED, 2020)

3.2 Actividades de gestión para iniciar trabajos

El 26 de enero de 2018 una comisión de presentación del proyecto integrada por el Ingeniero Josué Irving Carcaño Soriano, Victoria Matías Osorio, Jahir Uriel Zamora López, Jesús Israel Solá Jiménez encabezada por el coordinador del colegio de ingeniería topográfica y geodésica de esta casa de estudios el Mtro. Máximo Ávila Cruz se entrevistaron con el entonces presidente municipal de Huauchinango el Mtro. Gabriel Alvarado Lorenzo y parte de su gabinete encargado de las funciones de protección civil, con la finalidad de presentar el proyecto y se obtiene una respuesta negativa debido a que se avecinaban cambio de administración; no existió interés en apoyar el proyecto (véase anexos).

El 24 febrero de 2018 se presenta el proyecto por el Ing. Joel Panohaya Analco al presidente municipal de Juan Galindo (Necaxa), el Lic. Luis Gerardo Martínez Gómez, estando presente el coordinador de protección civil, C. Manuel Hernández y el director de protección civil, C. Raúl Pozos, quienes aceptan y apoyan el proyecto. El coordinador de protección civil comenta sobre algunas regiones del municipio que presenta deslaves continuamente, aumentando estos en época de lluvias, pidiendo canalizar la instalación de las estaciones de inclinómetro seco a la localidad de Necaxatepétl.

Llegando a la localidad de Necaxatepétl se realiza un análisis rápido in situ de todos los factores de riesgo para la población con apoyo y sugerencias del coordinador de protección civil.

Se entrevistó a un lugareño llamado Juan González Martínez, quien describe que los deslizamientos cercanos a la ladera donde está ubicada su casa son recurrentes en tiempo de lluvias expresando preocupación por su construcción ya que considera un factor de riesgo el peso de la estructura y angustia por perder su patrimonio familiar.

A petición de Don Juan, dueño del inmueble, se accede a la propiedad para seleccionar la posición del primer sitio que fue denominado "*Sitio Don Juan*".

Se estableció un segundo sitio hacia el sur, en la calle panteón, ubicada cerca de la ladera. A este sitio se le denomina "*Sitio 24 de febrero*".

El proyecto inicia con un nivel fijo marca hi target, estatales de aluminio de 4 metros, y marcas de partida puestas con clavos de concreto, utilizando también varillas ubicadas en la edificación del primer sitio y tornillos en la ubicación del segundo, se ubicaron conforme a las condiciones requeridas para minimizar los errores en la medición.

Posteriormente en mayo 5 de 2018 se inicia la gestión y trabajo en la misma visita en el municipio de Zihuateutla, presentando el proyecto al presidente municipal, Lic. Dolores Campos Pelcastre (véase anexo, oficio 2). En compañía del coordinador de protección civil, el C. Armando Andrade Villegas se establece una única estación en una calle de nombre desconocido en Tecpatlán.

OBTENCIÓN DEL EQUIPO GEODÉSICO Y MIRAS INVAR

En el mes de mayo se inicia la gestión de un nivel geodésico y miras de nivelación INVAR, para cumplir con las sugerencias mencionadas en el trabajo de Van Der Laet, iniciando una gestión ante el INEGI para la donación de un equipo completo que incluye nivel fijo y miras de nivelación INVAR.

Después de arduo trabajo administrativo el día 13 de noviembre de 2018 por medio del Director Regional Oriente de INEGI el Ing. Miguel Ángel Vizconde Ortuño se hace entrega del nivel geodésico Zeiss Ni2 y dos miras de nivelación INVAR (fig. 16-18).



Fig. 16 Alumnos del grupo de investigación acompañado del Mtro. Fernando Daniel Lazcano Hernández recibiendo miras INVAR



Fig. 17 Ingeniero Joel Panohaya Analco montando el nivel geodésico.



Fig.18 Entrega del nivel geodésico y miras INVAR a la Facultad de Ingeniería. De izquierda a derecha, Mtro. Fernando Daniel Lazcano Hernández, director F.I., Ing. Miguel Ángel Vizconde Ortuño, Director Regional Oriente, INEGI.

CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE LA APLICACIÓN DEL INCLINOMETRO SECO EN LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO POR ACTIVIDAD VOLCÁNICA.

4.1 Marco teórico

La acumulación de magma dentro de un volcán deforma la superficie del suelo alrededor del mismo. Es por ello que surge el inclinómetro húmedo como método para medir la inclinación en la caldera del volcán Kilauea, realizando las primeras mediciones entre octubre de 1958 y febrero de 1959.

Mogi en 1958 observó las grandes perturbaciones detectados por métodos geodésicos de medición como nivelaciones y triangulaciones en las superficies donde existen deformaciones.

Algunos investigadores afirmaron que la deformación del terreno no es solo observable previa o posterior a la actividad volcánica, sino también durante otras fases de la actividad volcánica.

Jaggar y Fitch en 1929 mostraron que la inclinación de la superficie de la Tierra en el borde de la caldera del Kilauea depende del nivel de lava fundida en Halemaumau. En Asama en Japón durante 1942 Minakami mostró que la inclinación de las laderas del volcán puede ser usado para predecir actividad explosiva en la cima con varias semanas de ventaja. (Traducido de "a portable water-tube tiltmeter, Eaton, 1959).

El principio del inclinómetro húmedo que, posteriormente fue trasladado al inclinómetro seco consiste en el establecimiento de un triángulo, que por geometría básica compone un plano. Este plano de inicio queda determinado de manera única formando un ángulo con la dirección de la gravedad el cual se constituye como al plano de partida queda materializado por los tres vértices de la figura geométrica en mojoneras o bancos de nivel fijos, (fig. 19).

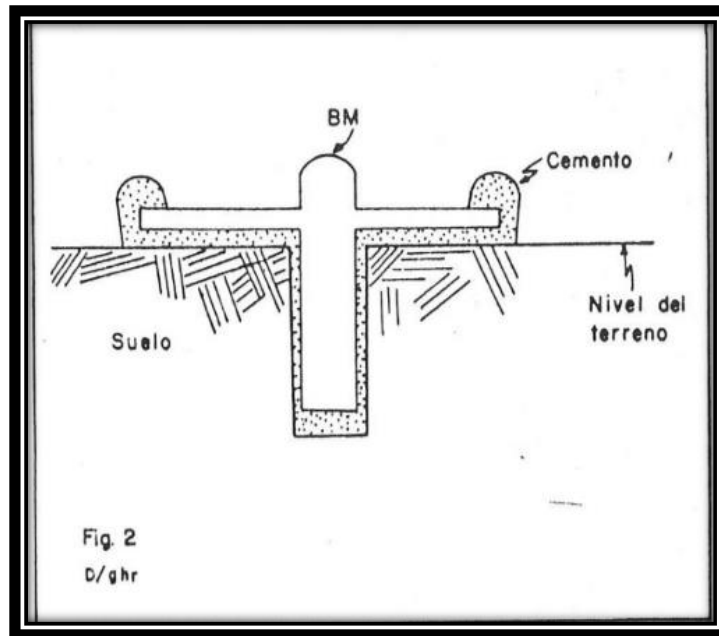


Fig. 19 esquemas de monumentación.

En la aplicación del inclinómetro húmedo estos monumentos estaban conectados por tubos con agua que eran muy precisos pero poco prácticos, ya que era necesario establecer el instrumento en lugares planos y preferentemente lejos de la luz del sol ya que, al ser un líquido, el calor influye dentro de la medición del desnivel. Por lo poco práctico en las laderas de los volcanes se sustituye por niveles geodésicos y miras de nivelación, para de esta forma medir en circuito cerrado los desniveles entre cada uno de los vértices.

Es aquí donde recae la importancia del Ingeniero Topógrafo y Geodesta en la aplicación de estos métodos, ya que el ingeniero es el encargado de realizar el establecimiento de los sitios, medición y monitoreo de las estaciones y la correcta georreferenciación de los sitios.

La obtención de las ecuaciones que se utilizan para la medición de la inclinación se adquiere a partir de la configuración del inclinómetro húmedo. Debido a que no intervienen líquidos se omitirán ecuaciones relacionadas con la mecánica de fluidos manteniendo solo las ecuaciones relacionadas con la inclinación del plano.

4.1.2 Obtención de las ecuaciones

En la figura siguiente se observa el diagrama de dos vértices donde se ha colocado un dispositivo para medir el desnivel entre los bancos por medio de un micrómetro. Los recipientes A y B están atornillados a las bases X e Y, respectivamente, y los micrómetros son ajustados hasta que solo toquen la superficie del agua W_1 . Sean h_{x1} y h_{y1} las alturas de la superficie del agua sobre las bases X e Y, respectivamente; tomando A_X y B_Y los micrómetros posicionados en los recipientes A y B, respectivamente; y siendo C_A y C_B las distancias entre las bases A y B, y los micrómetros respectivamente, cuando los micrómetros están en cero. Entonces, $h_{y1} = C_B + B_Y$, $h_{x1} = C_A + A_X$, y $h_{y-x} = h_{y1} - h_{x1} = (B_Y - A_X) - (C_A - C_B)$. (Traducido de "a portable water-tube tiltmeter, Eaton, 1959).

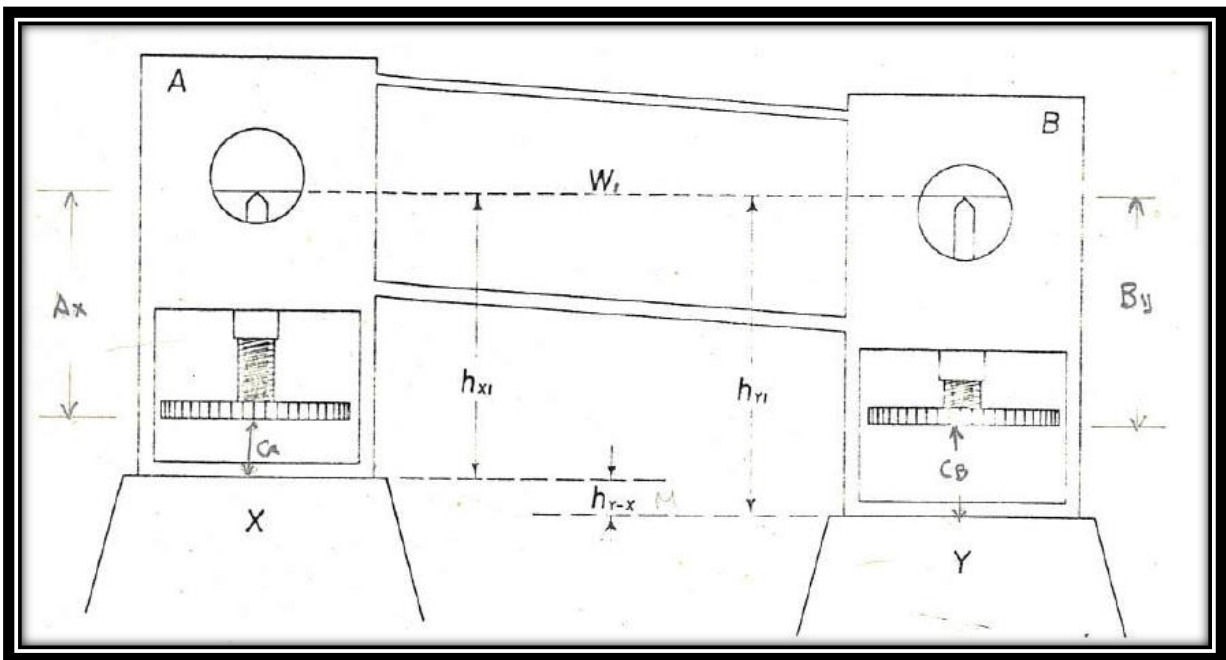


Diagrama de dos puntos en una estación de inclinometría de inclinómetro húmedo.

$$h_{y1} = C_B + B_Y$$

$$h_{x1} = C_A + A_X$$

Este par de ecuaciones nos determinan las distancias entre las bases, siendo necesario conocer el desnivel entre ellas que, como definimos anteriormente, queda expresado por la ecuación:

$$h_{y-x} = h_{y1} - h_{x1} = (B_Y - A_X) - (C_A - C_B)$$

Ahora, tomando en cuenta que es una nivelación de ida y vuelta, el recipiente A se posiciona ahora sobre la base Y, y el recipiente B sobre la base X, reajustando los micrómetros para que toquen la superficie del agua W_2 (W_2 no es necesariamente igual a W_1). Siendo A_Y y B_X los micrómetros sobre las bases A y B respectivamente, obtenemos, $h_{y2} = C_A + A_Y$, $h_{x2} = C_B + B_X$, que nuevamente representan la distancia entre las dos bases y $h_{y-x} = h_{y2} - h_{x2} = (A_Y - B_X) + (C_A - C_B)$ que expresa el desnivel nuevamente entre ambas bases.

Tenemos entonces que:

$$h_{y-x} = \frac{(B_Y - A_X) + (A_Y - B_X)}{2}$$

Y

$$M = C_A - C_B = \frac{(B_Y - A_X) - (A_Y - B_X)}{2}$$

Donde h_{y-x} es la altura de la base X menos la altura de la base Y (como se describe con anterioridad, el desnivel entre ambas bases) y M es una constante que depende de la construcción de las bases. (Traducido de "a portable water-tube tiltmeter, Eaton, 1959).

Siendo que debe establecerse un plano definido por tres puntos, se añade la base Z a las ecuaciones, obteniendo las ecuaciones

$$h_{z-y} = \frac{(B_z - A_y) + (A_z - B_y)}{2}; \quad M = \frac{(B_z - A_y) - (A_z - B_y)}{2}$$

Y

$$h_{x-z} = \frac{(B_x - A_z) + (A_x - B_z)}{2}; \quad M = \frac{(B_x - A_z) - (A_x - B_z)}{2}$$

Que definen el desnivel entre el tercer vértice y el resto de las bases, conformando un circuito de nivelación cerrado, garantizando el cierre y exactitud del trabajo, considerando que la suma de los desniveles en el circuito es equivalente a cero, quedando definido por la expresión:

$$h_{x-y} + h_{y-z} + h_{z-x} = 0$$

El valor del factor M debe ser constante entre las bases.

Los errores en una nivelación nunca son iguales a cero, debido a que intervienen diversos factores, errores sistemáticos o equivocaciones, por lo que el error resultante debe ser ajustado "repartiéndose" entre cada uno de los bancos, para poder obtener un residuo igual a cero.

Los tres puntos que, como se menciona anteriormente, definen un plano, obtienen una posición inicial al realizarse la primer observación en los micrómetros, que nos otorgará un primer desnivel entre cada una de las bases. Con el paso del tiempo, al regresar a observar las lecturas de los micrómetros y calcular los desniveles entre las bases, observamos un cambio en los mismos y podemos decir que este plano se ha inclinado, por lo que es posible obtener el gradiente la magnitud de la inclinación en este plano, quedando definidos los cambios en los desniveles por:

$$\delta_y = h_{y-x} - h'_{y-x}$$

Y

$$\delta_z = h_{x-z} - h'_{x-z}$$

Lo que se busca en el inclinómetro es determinar el vector inclinación de la estación, con las ecuaciones anteriores obtuvimos el cambio del desnivel respecto al tiempo, lo que nos brinda la magnitud del vector.

Para definir de forma completa los vectores no solo es necesario conocer su magnitud, ya que para terminar de definirlos nos haría falta conocer la dirección y sentido de estos. Para ello, como labor fundamental y elemental del ingeniero topógrafo y geodesta se establece un sistema de referencia cartesiano para brindar orientación al plano y de esta forma expresar la dirección respecto al norte (Azimut) que nos dará el sentido del movimiento, la dirección quedando determinada por el valor numérico del azimut.

Por facilidad se fijará el sistema de referencia en el vértice más al sur del plano, que quedará denominado como el banco X (fig. 20) de esta forma podremos definir el azimut hacia el vértice

Sean l_y y l_z las distancias a los bancos Y y Z desde el banco X respectivamente, el ángulo ϕ queda definido como el ángulo tomado desde el Este hasta la línea \overline{xz} , y el ángulo θ como el ángulo medido desde la línea Este hasta la línea \overline{xy} (fig. 19). La medición y cálculo de estos ángulos debe ser en sentido anti horario.

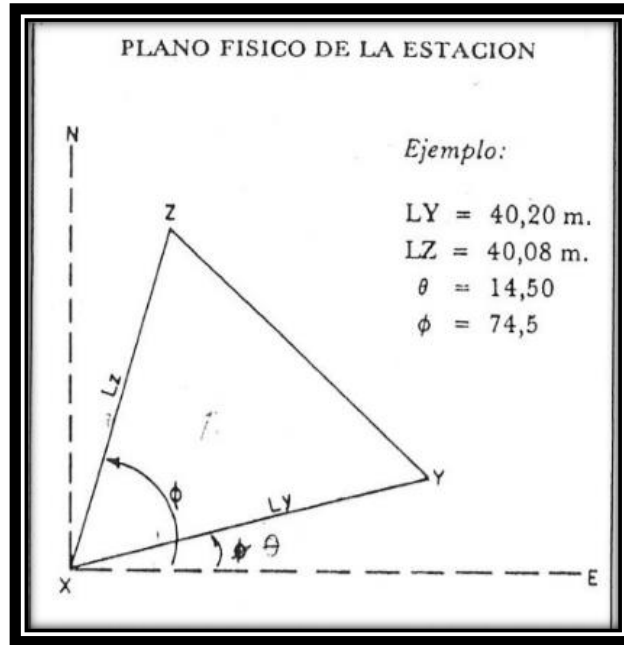


Fig. 20 Diagrama de un triángulo de inclinometría. Tomado de “El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii”

Una vez establecido el sistema de referencia para el vector, podemos expresar el sentido y dirección del cambio en los desniveles δ_y y δ_z que componen el plano y expresan su movimiento respecto a este sistema, quedando definido por las componentes rectangulares Este y Norte, quedando definidas por las expresiones:

Para la componente Norte

$$\overline{\tau}_N = \frac{\cos \Phi}{ly \sin \phi - \theta} \delta_y - \frac{\cos \theta}{lz \sin \phi - \theta} \delta_z$$

y para la componente Este

$$\overline{\tau}_E = \frac{\sin \Phi}{ly \cos \phi - \theta} \delta_y + \frac{\sin \theta}{lz \cos \phi - \theta} \delta_z$$

4.1.3 Adaptación de las ecuaciones al método del inclinómetro seco

El inclinómetro seco es una adaptación y mejora al método del inclinómetro húmedo, para medir los desniveles y lecturas en el micrómetro se sustituyen los recipientes con agua por nivel geodésico con un micrómetro de placa plano-paralela y miras de nivelación de material invar. Dado que no intervienen líquidos se denomina de esta forma (Van Der Laat, R. 1980, El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii).

Dados los cambios en la instrumentación obtenemos δ_y y δ_z de la diferencia en las lecturas sobre la mira de nivelación INVAR.

El principio físico geométrico del inclinómetro húmedo es muy simple, sin embargo, al cambiar la forma en la que se miden los desniveles se vuelve necesario hacer adecuaciones a las expresiones que definen las componentes del vector inclinación, y, al mismo tiempo, simplificar el cálculo del mismo.

Van Der Laat, en su trabajo “El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii” realiza las adecuaciones a las ecuaciones de Eaton (1959) para poder ser utilizadas en el inclinómetro seco, tal que quedan expresadas de la siguiente forma:

Para la componente Norte

$$\overline{\tau}_N = \left[\frac{-\cos \Phi \ 10}{ly \sin \phi - \theta} (y - x) - \frac{\cos \theta \ 10}{lz \sin \phi - \theta} (x - z) \right] 1000$$

Y para la componente Este

$$\overline{\tau}_E = \left[\frac{\sin \Phi \ 10}{ly \cos \phi - \theta} (y - x) + \frac{\sin \theta \ 10}{lz \cos \phi - \theta} (x - z) \right] 1000$$

Se multiplica por mil debido a que el resultado de la inclinación del plano es un ángulo muy pequeño, casi imperceptible.

Ahora que se conocen las componentes rectangulares del vector inclinación, necesitamos hacer los cálculos necesarios para conocer la magnitud, dirección y sentido del vector, que quedan definidos por las expresiones:

Para la magnitud del vector

$$\vec{r} = \sqrt{(\tau_E^2) + (\tau_N^2)}$$

Y para la dirección y sentido

$$Az_{\vec{r}} = \tan^{-1} \frac{\tau_E}{\tau_N}$$

Ahora que se conocen las expresiones para determinar las componentes del vector inclinación es necesario conocer el pequeño ángulo que se forma entre el cambio de las posiciones de los planos, en específico, el ángulo formado entre el plano de partida y la medición posterior pasado un considerable período de tiempo.

El plano que establece el inclinómetro forma un ángulo con la dirección de la gravedad, por ello, el ángulo que se busca medir es el que se forma al inclinarse el plano respecto a la posición inicial. (Fig. 21)

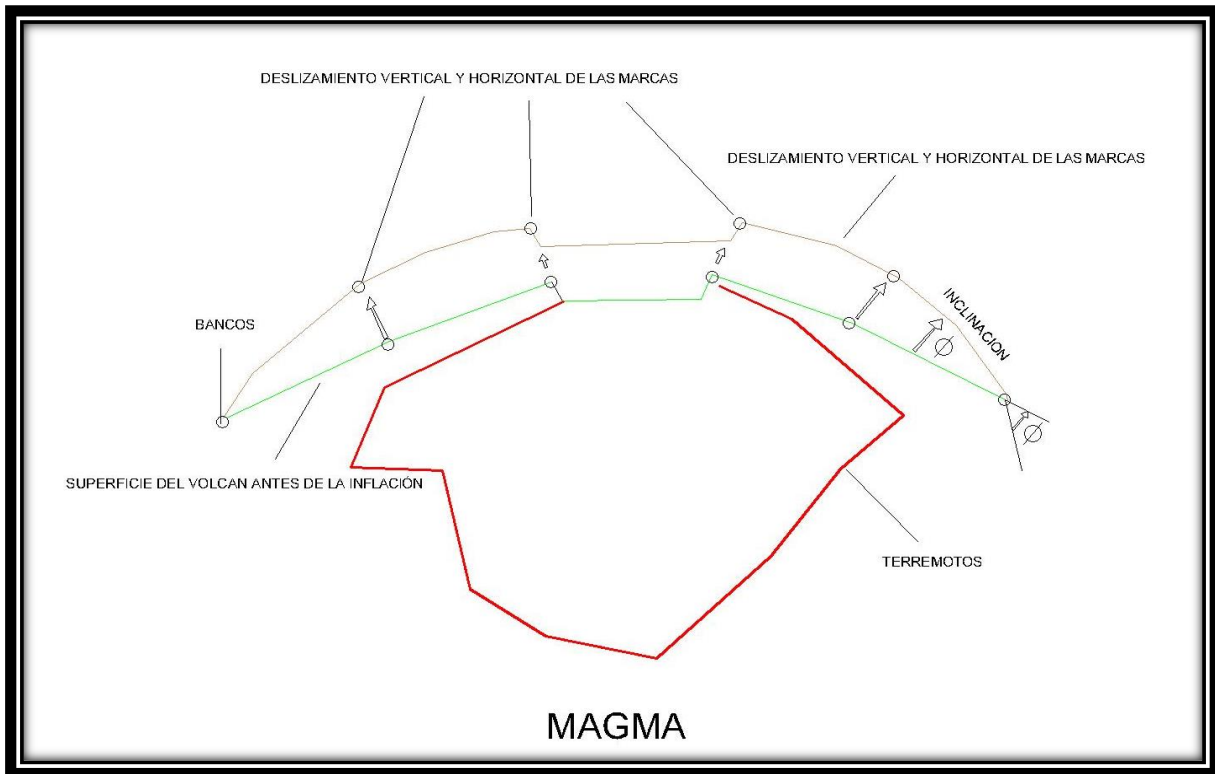


Fig. 21 Diagrama de la inclinación en la ladera de un volcán.

En la figura veinte se puede observar la inflación (deformación del terreno) que sufre un volcán previo y/o posterior a la actividad volcánica, al haber un cambio en la posición vertical e incluso horizontal del plano se produce un movimiento de inclinación respecto a la línea de gravedad, este ángulo señalado en el diagrama como ϕ corresponde a este movimiento. Este movimiento es detectable con el cambio de desnivel ya que el ángulo formado entre las líneas que dibujan el cambio con el tiempo son equivalentes al ángulo medido justo entre el plano y la dirección de la gravedad. El inclinómetro cubre, como su nombre lo dice, inclinaciones, cuando el plano se hunde en la dirección de la gravedad, no es posible para este método detectarlo, ya que no hay ningún cambio en el ángulo que buscamos.

4.2 Establecimiento del inclinómetro

La configuración de una estación de inclinómetro seco, es un triángulo equilátero de cuarenta metros de lado con un vértice mirando al sur. Para establecer los vértices del triángulo, se marca un punto aproximadamente en el lugar (centro) donde el inclinómetro seco va a ser instalado. Se estaciona una estación total o tránsito en ese punto y se fija el cero horizontal en la dirección sur, la exactitud de esa dirección dependerá de las condiciones del terreno. Sobre esa dirección se mide una distancia de 23.094 y se amoja un punto X (más adelante se describirá el amojonamiento). Los dos puntos restantes se colocan a 23.094 de el centro, girando dos ángulos sucesivos de 120° a partir del primero (fig 22). (Van Der Laat, R.1983, El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii).

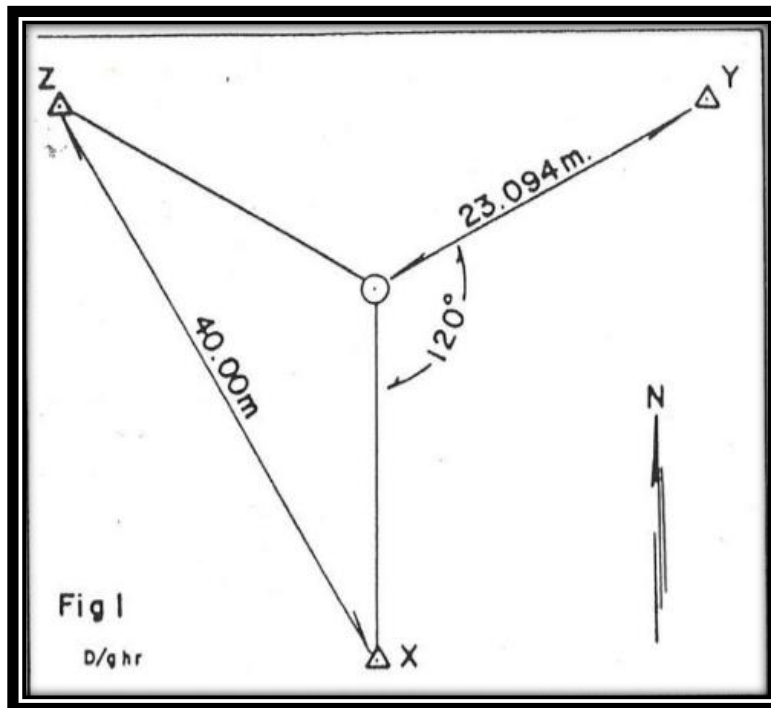


Figura 22. Ejemplo descrito de la estación, tomada de “El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en hawaii”

Hecho esto cada lado del triángulo es medido y anotados sus datos. Cada lado medirá aproximadamente cuarenta metros. La elevación de cada vértice se medirá solo para chequear que la longitud de la mira es suficiente para nivelar los tres vértices desde la estación central. Preferiblemente se usará la mitad de superior de la mira pues la refracción cercana al nivel del suelo puede causar errores apreciables. (Van Der Laat, R.1983, El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii).

Ya que se concluyó el establecimiento del triángulo, se denominará X, Y, Z en sentido contra horario, siendo X el de la ubicación más cercana al sur. Cada uno de los vértices del triángulo funcionará como un banco de nivel. El procedimiento queda a libre modificación de acuerdo con las condiciones del lugar donde se vaya a instalar el inclinómetro.

El triángulo equilátero de cuarenta metros de lado es considerado ideal, pero puede modificar su tamaño y su figura sin afectar la medición de la estación. También puede sustituirse el triángulo por arreglos lineales, cuadrados o hexagonales.

La distancia mencionada por Van Der Laat es casi ideal para realizar la nivelación en condiciones normales, pero este requisito no es rígido. Asimismo con la orientación de la estación y la nomenclatura es una estandarización adoptada por conveniencia, puede ser modificado a elección del ingeniero para adaptar su instalación en cualquier sitio.

BANCOS DE NIVEL (BM)

Los BM usados en el HVO (Observatorio Vulcanológico de Hawaii por sus siglas en inglés) constan de una placa metálica con un borde semiesférico de 2.5 centímetros por 5 centímetros en el centro, empotrada en concreto (fig. 23). (Van Der Laat, R.1983, El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii).

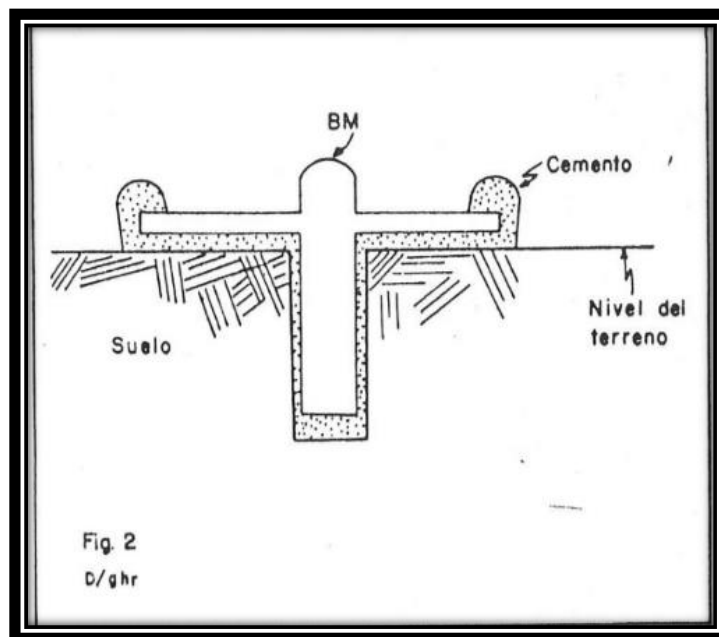


Fig. 23 Ejemplo de monumentación de mojonera según Van Der Laat.

En lugar de la placa pueden usarse tornillos de cabeza redonda. La forma del banco sostendrá a la mira y garantizará que la lectura sobre ella se realizará en el mismo sitio cuando se corra la nivelación tal como ocurre con un sapo.

INSTALACIÓN DE LOS BM

La roca es la base más estable para la instalación. Para instalara un BM en roca, con un taladro con broca en forma de estrella se hace un agujero apenas del tamaño del borde semiesférico del BM. Se chorrea concreto alrededor y dentro del hueco para pegar la placa de manera que resista el movimiento. Una cubierta plástica facilita la fragua y prevé resquebrajamiento del concreto, con lo cual la vida y estabilidad del BM es alargada. (Van Der Laat, R.1983, El inclinómetro seco: un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii).

Si el suelo es demasiado blando se puede cavar un hueco de 30 centímetros de largo por 20 de profundidad y se entierra una varilla larga hasta que esté lo suficientemente honda como para poder resistir el movimiento (fig. 24).

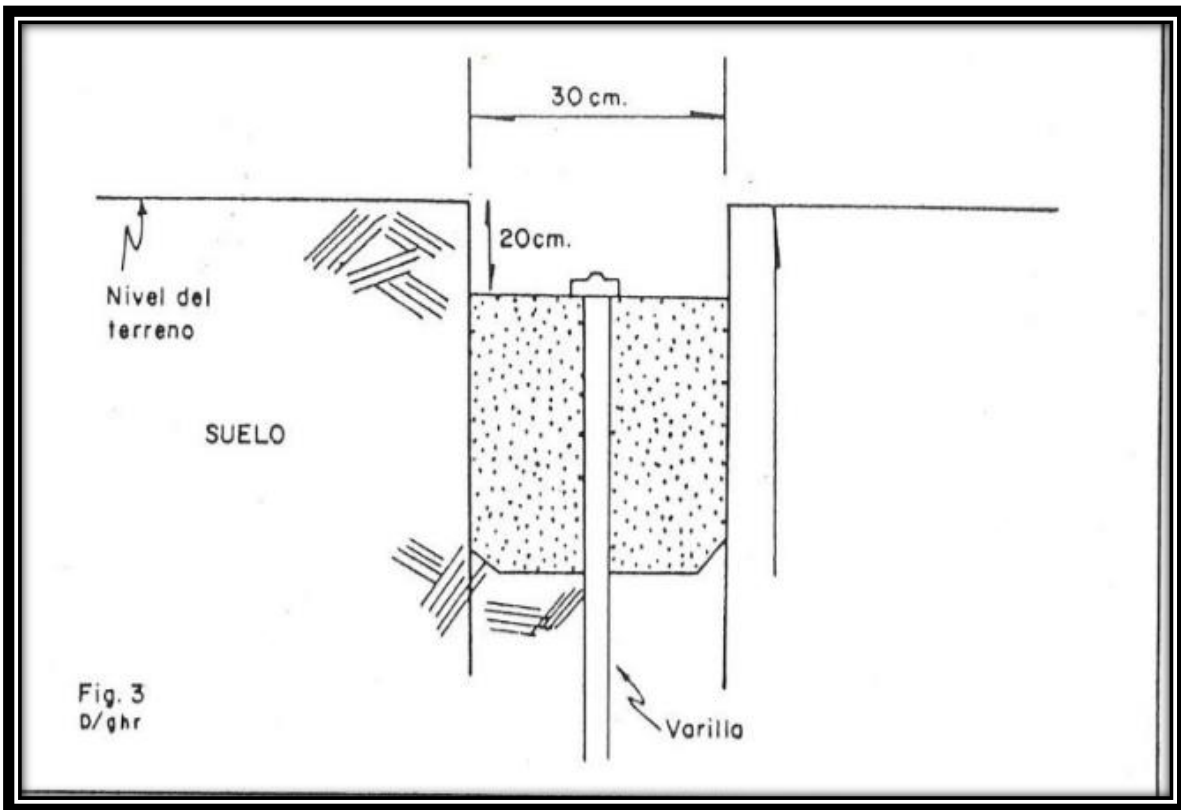


Fig. 24 ejemplo de monumentación con Varilla.

CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DEL MÉTODO AL DESLIZAMIENTO DE LADERAS

Considerando el paralelismo entre la deformación del terreno ocasionada por la actividad volcánica y el deslizamiento de laderas, aunque este no sea evidente, ambos movimientos pueden monitorearse por medio de las estaciones de inclinometría, dado que, en ambos movimientos, el plano que se establece con la estación puede sufrir cambios en su posición horizontal y vertical, lo que con el paso del tiempo nos arrojará un cambio o inclinación respecto a la dirección del plano de partida.

Se pretende detectar estos movimientos antes de que ocurran para prevenir desastres y pérdidas humanas como ha ocurrido en los últimos veinte años en los municipios de Juan Galindo y Zihuateutla.

5.1 Instalación de las estaciones

La localidad de Necaxatepétl fue la elegida para instalar las primeras estaciones de inclinometría. Se instalaron inicialmente dos triángulos en los sitios donde el director de Protección Civil del municipio de Juan Galindo en el año 2018, el C. Raúl Pozos y el coordinador de Protección Civil, el C. Manuel Hernández tenían inquietud en conocer si había deslizamiento, ya que la comunidad se encuentra muy cercana a las laderas del cerro y la comunidad afirmaba que frecuentemente “se iba el cerro” cuando llovía.

Esta visita se realiza el 24 de febrero de 2018 para instalar los dos primeros sitios en la zona, acudieron el Ing. Joel Panohaya Analco, Mtro. Máximo Ávila Cruz, Ing. Josué Irving Carcaño Soriano, Victoria Matías Osorio, Jahir Uriel Zamora López, Jesús Israel Solá Jiménez y un servidor.

Accedimos con autorización del señor Juan González Martínez a su domicilio a establecer la primera estación de inclinometría el 24 de febrero de 2018, denominando a este sitio “Don Juan”. Se establece el sitio debido a la inquietud del

propietario, debido a que la parte más al sur de su casa quedaba en la ladera del cerro e iba a iniciar la construcción de una segunda planta, lo que aportaría un mayor peso a la estructura.

La monumentación se realizó sobre varillas existentes en el sitio (fig. 25 y 26) quedando un triángulo sobre el techo de la estructura (fig. 27 y 28).

Para facilitar la tarea del cálculo de los ángulos del triángulo se midieron las distancias con cinta de acero de 30 metros, además de tomar las coordenadas de proyección UTM de los vértices con un equipo de navegación GPS de mano, siendo la posición del sitio $97^{\circ}59'41''$ W, $20^{\circ}14'1''$ N. Las primeras mediciones se realizaron con estadales de aluminio de cuatro metros, debido a que la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla no contaba con el equipo hasta la adquisición a finales de 2018. Las medidas posteriores a mayo se realizan con estadal de material INVAR y el micrómetro de placa plano-paralela.



Fig. 25 colocación de una de las bases sobre varilla existente. Sitio Don Juan



Fig. 26 Señalamiento de varilla para banco de nivel, Vértice X, Sitio Don Juan



Fig. 27 Ubicación de la estación de inclinometría, Sitio Don Juan

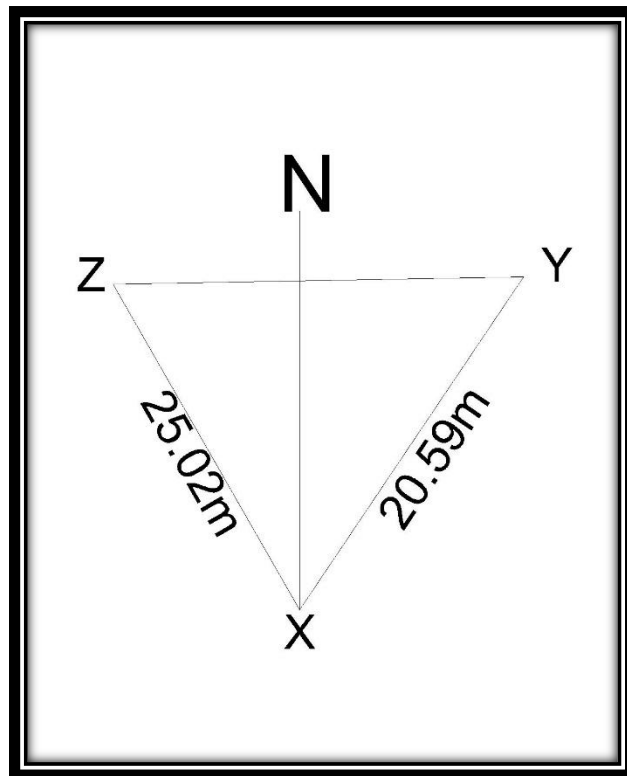


Fig. 28 Croquis del Sitio Don Juan.

Durante la misma visita se estableció el sitio denominado “24 de Febrero”, ubicado en la calle Panteón en la misma Comunidad de Necaxatepétl, una calle cercana a donde se encuentra la presidencia auxiliar que según el coordinador de protección civil, había deslizamientos de pequeñas masas de tierra de forma recurrente.

El marcaje de esta estación se realizó sobre varillas existentes (fig. 29) en el sitio, las distancias fueron tomadas con cinta métrica de acero de 30 metros (fig. 30, 31 y 32). Para la medición de los ángulos se usó el mismo procedimiento descrito anteriormente, quedando ubicado en las coordenadas, $97^{\circ}59'42''$ W, $20^{\circ}13'54''$ N.



Fig. 29 Vértice Y en varilla de construcción existente



Fig. 30 Tomando la distancia LZ de la estación.



Fig. 31 Vista general del Sitio, Grupo de Investigación del colegio de Topografía

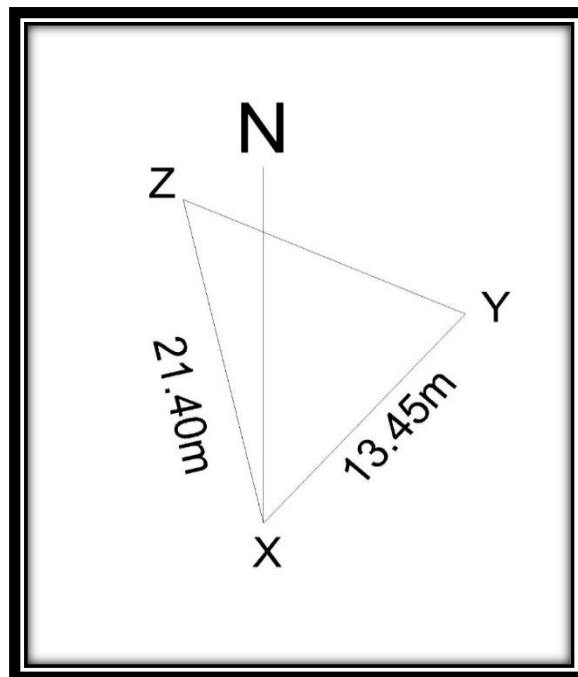


Fig. 32 Croquis del sitio 24 de febrero

Debido a la confirmación de la adquisición de las miras de nivelación INVAR en agosto de 2018, con motivo de la tercera visita programada para el 25 de Agosto de 2018, se decide establecer dos sitios más en la localidad de Necaxatepétl y anexar un nuevo sitio en una nueva región, previa gestión y consulta del Mtro. Juan José Benítez Suárez en Zihuateutla, en la localidad de Tecpatlán de Benito Juárez.

El grupo de investigación se expandió para poder añadir más líneas de investigación e incluir a alumnos de reciente ingreso para colaborar en el trabajo de investigación y ampliar el panorama de lo que se puede hacer por la sociedad como Ingeniero Topógrafo y Geodesta.

En la comisión que se trasladó a instalar los dos nuevos en el municipio de Juan Galindo y en el municipio añadido, Zihuateutla, viajaron, Mtro. Juan José Benítez Suárez, Ing. Joel Panohaya Analco, Jesús Israel Solá Jiménez, Fabián Méndez, Daniel Hernández, Danna Michelle Flores, Dannae Mendiola, Andrea Rojas Hernández y el autor de este trabajo, Ernesto Panohaya Amador.

Por cuestiones de logística se viaja un día antes de las actividades para hospedarnos en el hotel “Mi Ranchito” en Xicotepec de Juárez, Puebla, gracias a la gestión del Mtro. Juan José Benítez Suárez.

Los dos nuevos sitios establecidos para complementar y adaptar el método tras la llegada de las miras de nivelación INVAR, (cuya longitud es de 3 metros) se instalan en los mismos sitios de los primeros.

El sitio denominado “Don Juan II” se localiza en la misma posición del sitio “Don Juan” en las coordenadas $97^{\circ}59'41''$ W, $20^{\circ}14'1''$ N, la monumentación se estableció en varillas existentes para los vértices Y e Z (fig. 33 y 34). El sitio centra el monitoreo en el techo de la estructura del predio tomando un área más pequeña de monitoreo.



Fig. 33 ubicación vértice de uno de los vertices, sitio Don Juan II

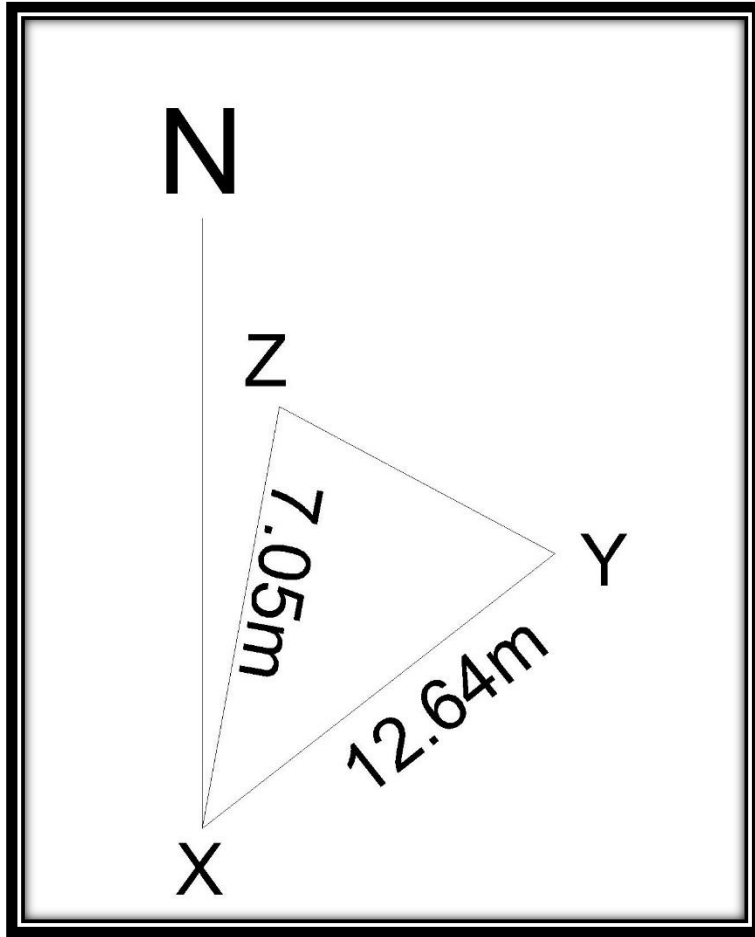


Fig. 34 Croquis del sitio Don Juan II

En la misma ubicación del sitio 24 de Febrero, se establece el sitio “El batallón”(fig. 35), modificando la ubicación de los vértices para comodidad en el uso del equipo de material INVAR. La ubicación del sitio está en las coordenadas $97^{\circ}59'42''W$, $20^{\circ}13'54''N$. el sitio se establece para complementar la medición del inclinómetro y corroborar o descartar errores o equivocaciones.

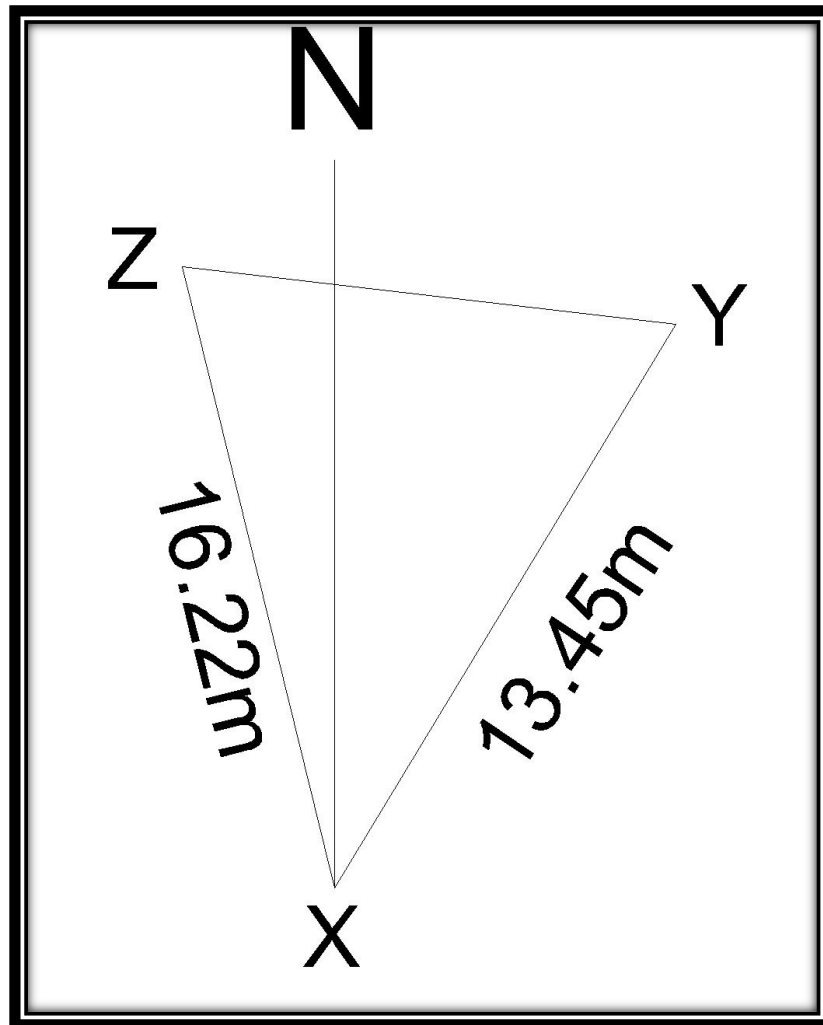


Fig. 35 Croquis del Sitio “El Batallón”

Tras la gestión aproximación con el municipio de Zihuateutla por parte del Mtro. Juan José Benítez Suárez nos acercamos por recomendación del coordinador de Protección Civil municipal el C. Armando Andrade Villegas, a la localidad de Tecpatlán de Benito Juárez, una comunidad muy pequeña.

Llegando al sitio se selecciona una parte intermedia de localidad que se encuentra en la ladera de un cerro en las coordenadas $97^{\circ}52'03''$ W, $20^{\circ}14'18''$ N. Se ubicó una sola estación, haciendo mejoras en el método de monumentación ya que las condiciones del terreno lo permitían, se usaron tornillos de cabeza redonda para mejorar la colocación del estadal, se reforzó con una capa de cemento (fig. 36, 37, 38, 39 y 40) para mantener su estabilidad y garantizar la no revocación de las marcas de la vía pública, ya que se localizan en el arroyo vehicular. El sitio fue denominado como Zihua.



Fig. 36 Vista general del sitio, en la foto Ing. Joel Panohaya

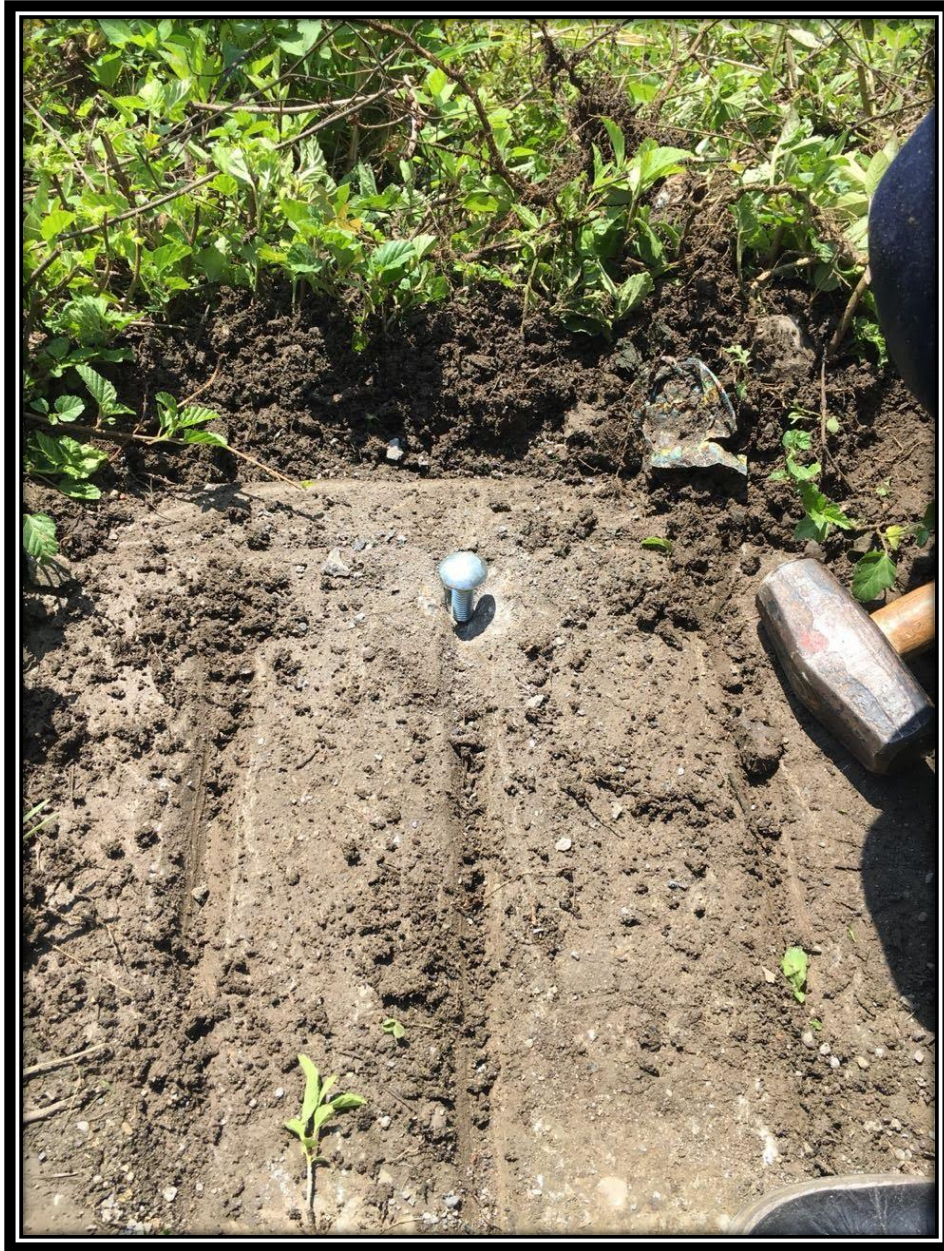


Fig. 37 Uso de tornillos de cabeza redonda como parte fundamental de los bancos de nivel.



Fig. 38 Uso de concreto para garantizar la conservación de los puntos de control.



Fig. 39 Monumentación con varilla y concreto para reforzar.

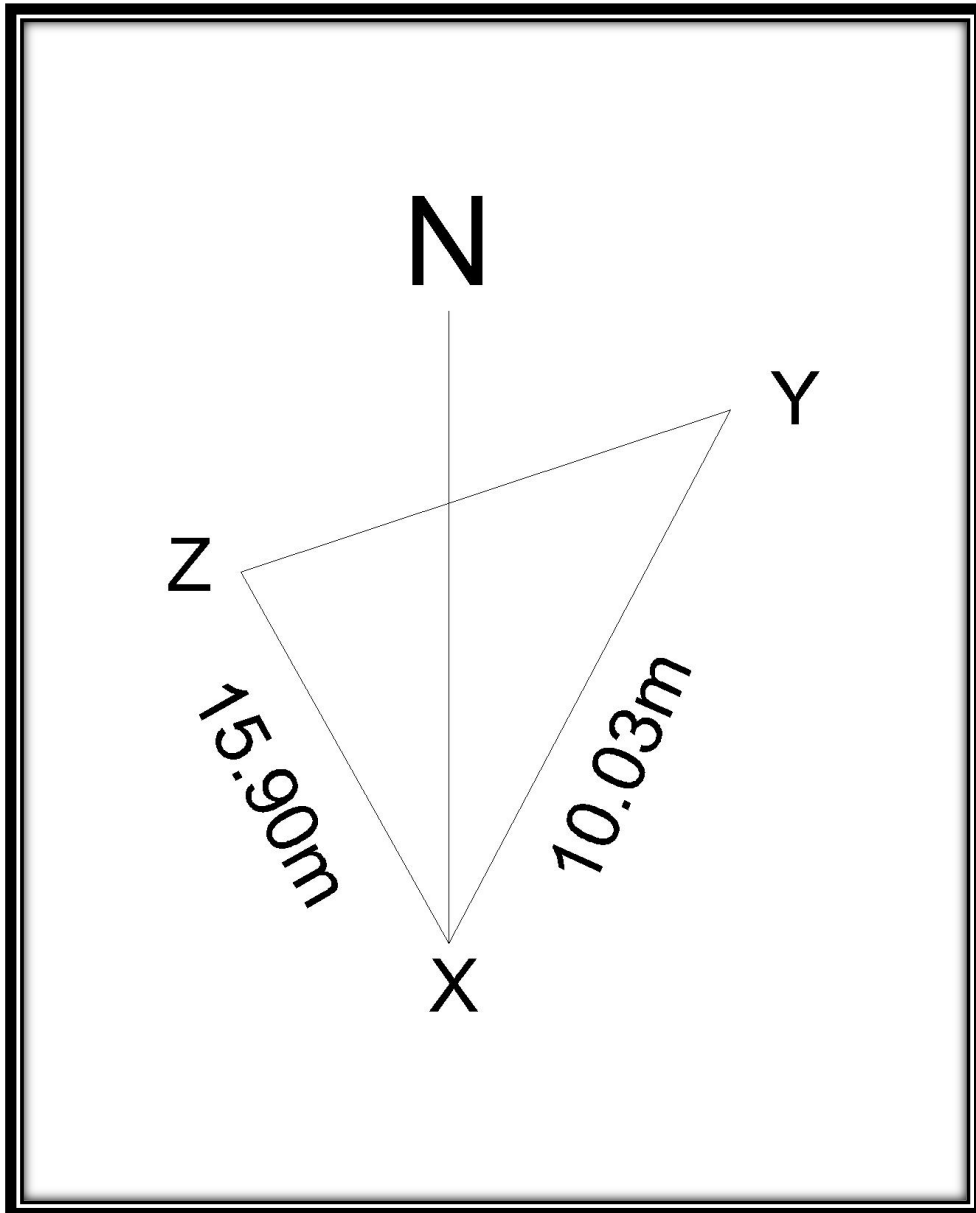


Fig. 40 Croquis general del sitio "Zihua"

5.2 Inicio de las mediciones

Una vez descrito el procedimiento para la selección e instalación de las estaciones, es necesario establecer la posición inicial del plano que se define al instalar la estación, por lo cual, es necesario realizar el proceso de medición.

Se inicia la nivelación en circuito por el vértice X, para conservar un orden en la toma de lecturas y cálculo de desniveles.

Se coloca el nivel en el centro del triángulo, las lecturas se realizan con el método de nivelación de precisión, usando los 3 hilos estadimétricos. En este proceso participan 3 personas como mínimo, siendo 4 el número idóneo, cumpliendo las funciones de:

Observador: Encargado de leer y hacer las observaciones por medio del telescopio del nivel y con ayuda de los hilos de estadía y el uso del micrómetro de placa plano-paralela.

Anotador: delegado a anotar las lecturas dadas por el observador y encargado de llevar de forma correcta las anotaciones en el registro de campo.

Calculador: Comisionado de realizar los cálculos con las lecturas dictadas por el observador y así confirmar el resultado o dictaminar la repetición de la observación.

Estadaletero: Encargado de colocar el estadal en cada uno de los vértices, con el compromiso de mantener el estadal nivelado para garantizar la perpendicularidad del plano respecto a la dirección de la gravedad.

El procedimiento de nivelación con los 3 hilos sirve para mantener una buena precisión en la toma de datos, ya que como su nombre lo dicta se usan los tres hilos, leyendo los 3 en orden descendente. El promedio de la lectura del hilo superior y el hilo inferior debe ser igual (o muy similar) a la lectura del hilo inferior, se acepta como observación correcta la diferencia hasta de 1mm; con el uso del micrómetro

de placa plano paralela esta diferencia es mucho menor. El ejemplo de una observación se presenta en la figura 41.

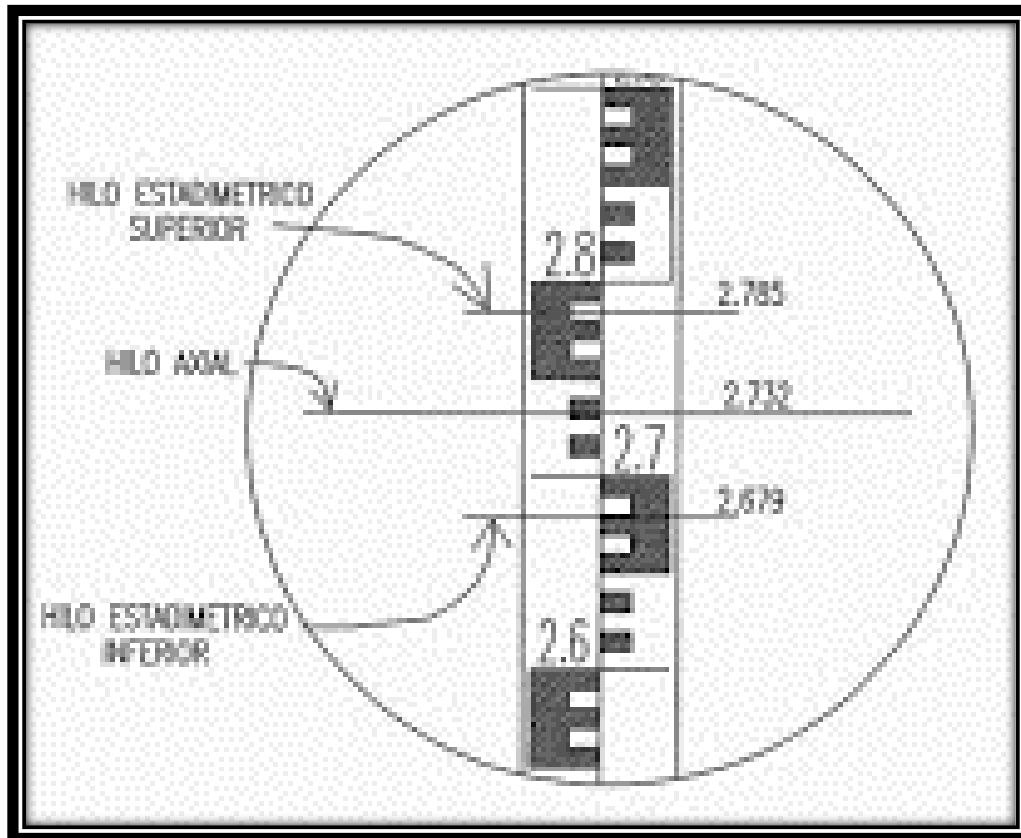


Fig. 41 Ejemplo de una observación por el telescopio del nivel. Apuntes de clase, topografía del relieve terrestre, Ing. Joel Panohaya Analco, 2017

En la imagen se observa la lectura del hilo superior equivalente a 2.785 que sumada y promediada con la lectura del hilo inferior 2.679. La siguiente ecuación muestra la forma de calcular la lectura del hilo medio equivalente a 2.732

$$H_M = \frac{H_S + H_I}{2}$$

Dónde:

H_M = Lectura calculada del hilo medio que debe ser muy similar a la lectura del hilo medio observada.

H_S = Lectura del hilo superior observada.

H_I = Lectura del hilo inferior observada.

Utilizando el ejemplo, los datos quedarían de la siguiente forma

$$H_M = \frac{2.785 + 2.679}{2} = \frac{5.464}{2} = 2.732$$

H_M es la lectura que el observador debe leer en el hilo medio, si esta lectura difiere en 1mm o menos, se anota el resultado, de lo contrario se repiten todas las lecturas hasta que se alcance la tolerancia.

En el caso del ejemplo el resultado de la operación coincide con la lectura del hilo medio observada coincide de forma exacta con la calculada, por lo que la observación es evidentemente correcta.

El margen de error para considerar estas lecturas como buenas es de 1 milímetro de diferencia, para el caso del inclinómetro, al ser cambios muy pequeños los que se desean detectar se requiere una tolerancia menor, lo que se logra con el uso del micrómetro, de placa plano paralela mediante el cual es posible leer hasta la décima de milímetro, lo que permite mantener el margen de error en 5 décimas de milímetro como tolerancia máxima para dar por buena una lectura.

La lectura en el micrómetro se realiza de la misma forma que un vernier, leyendo donde coinciden las líneas que auxilian a la lectura. Cuando se usa en el nivel geodésico, el micrómetro se pone en cero cada vez que se lee cada uno de los hilos para obtener las lecturas respectivamente.

Se requiere y es fundamental mantener un orden en la toma y anotación de las lecturas, para disminuir al máximo los errores que se puedan presentar, para ello se usó el registro de campo que se muestra en la figura 42.

"EL INCLINÓMETRO SECO, UN MÉTODO PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO RELACIONADO CON EL VULCANISMO Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS"

LOCALIDAD:
 DIRECTOR DE PROTECCIÓN CIVIL:
 TELEFONO:
 COORDINADOR DE PROTECCIÓN CIVIL :
 TELEFONO:
 NOTAS:

ESTACION:
 FECHA:

UBICACIÓN DEL SITIO: X() Y() Z()

NIVELÓ: $\tau(E) = (A(Y - X) - B(X - Z))1000 \mu rad$

ANOTÓ: $\tau(N) = (C(Y - X) + D(X - Z))1000 \mu rad$

$AZIMUT = ARCTAN(\tau(E) \div \tau(N)) \quad \tau = \sqrt{\tau E^2 + \tau N^2} \mu rad$

ESPALDA			DIFERENCIA DE ELEVACION	FRENTE		
ESTACION	LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA		LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA	ESTACION
Y						X
X						Z
Z						Y

PROMEDIO		LECTURA CORREGIDA (cm)	CAMBIO DE ELEVACION (cm)	LECTURA PREVIA (cm)
Y-X =				
X-Z =		FECHA:		FECHA:
Z-Y(CALC) =		Y-X =		Y-X=
Z-Y(OBS) =		X-Z =		X-Z=
ERROR DE CIERRE =		Z-Y =		Z-Y=
CORRECCION	$\tau E = [(\quad) (\quad) - (\quad) (\quad)] 1000 \mu rad$			
Y-X =	$\tau N = [(\quad) (\quad) + (\quad) (\quad)] 1000 \mu rad$			
X-Z =	AZIMUT=		$\tau=$	μrad
Z-Y =				

Fig. 42 forma de registro de campo del inclinómetro.

Es un registro de campo sencillo, en dónde es evidente el uso de una nivelación en circuito para poder calcular el cierre del mismo. Contiene la letras X,Y y Z haciendo referencia a cada uno de los bancos en el inclinómetro con lectura atrás (Espalda) y lectura adelante (Frente) para poder anotar los valores correspondientes a cada uno de ellos.

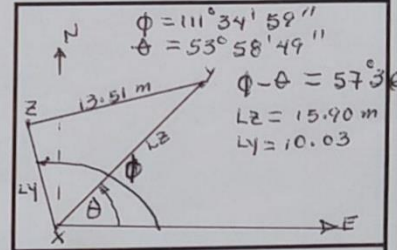
Los demás datos se van llenando utilizando las fórmulas obtenidas anteriormente para poder calcular las constantes para cada sitio de inclinometría, que se explicarán más adelante.

LLENADO DEL REGISTRO

A continuación, se muestra un ejemplo del llenado del registro para los sitios de inclinometría (fig.43). Corresponde a la primera medición del sitio “*Zihua*”.

"EL INCLINÓMETRO SECO, UN MÉTODO PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO RELACIONADO CON EL VULCANISMO Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS"

LOCALIDAD: TECOPACITLAN, ZIHUATEUTLA, PUEBLA
 DIRECTOR DE PROTECCIÓN CIVIL:
 TELEFONO:
 COORDINADOR DE PROTECCIÓN CIVIL:
 TELEFONO:
 NOTAS: ESTABLECIMIENTO DEL SITIO Y PRIMERA MEDICION



ESTACION: Zihua
 FECHA: 25 AGOSTO 2018

UBICACIÓN DEL SITIO: X() Y() Z()

NIVELÓ: DEL PANTANO ANALCO $\tau(E) = (A(Y - X) - B(X - Z))1000 \mu rad$
 ANOTÓ: $\tau(N) = (C(Y - X) + D(X - Z))1000 \mu rad$
 $AZIMUT = ARCTAN(\tau(E) \div \tau(N)) \quad \tau = \sqrt{\tau E^2 + \tau N^2} \mu rad$

ESTACION	ESPALDA		DIFERENCIA DE ELEVACION	FRENTE		ESTACION
	LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA		LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA	
	1.44	32		1.44	50	
Y	1.39	60	1.396	-0.0150	1.411	X
	1.3491	10			1.37	71
	1.44	50			0.57	80
X	1.41	11	1.411	0.8645	0.5466	Z
	1.37	71			0.51	81
	0.57	80			1.44	32
Z	0.54	67	0.5466	-0.8495	1.39	Y
	0.51	81			1.39	91

PROMEDIO	LECTURA CORREGIDA (cm)	CAMBIO DE ELEVACION (cm)	LECTURA PREVIA (cm)
Y-X = -0.0148	FECHA: <u>25/08/18</u>		FECHA:
X-Z = 0.8645	Y-X = -0.0148		Y-X=
Z-Y(CALC) = -0.8497	X-Z = 0.8646		X-Z=
Z-Y(OBS) = -0.8495	Z-Y = -0.8496		Z-Y=
ERROR DE CIERRE = 0.0002			
CORRECCION	$\tau E = [() () - () ()] 1000 \mu rad$		
Y-X = -0.0148	$\tau N = [() () + () ()] 1000 \mu rad$		
X-Z = 0.8646	AZIMUT=		
Z-Y = -0.8496		$\tau =$	μrad

Fig. 43 Registro de campo sitio "Zihua" Primera medición.

Se observan las anotaciones de las lecturas, el orden de llenado es el siguiente:

Se inicia por anotar la ubicación del sitio, localidad y municipio, de conocerse, los datos del Director y Coordinador de Protección Civil del municipio. Además de en el espacio correspondiente anotar las coordenadas UTM del sitio para su posterior conversión a coordenadas geodésicas.

En el espacio de “notas” se escribirá cualquier dato que sirva de apoyo para conocer qué número de medición es, alguna señal especial de los vértices referentes al marcaje.

Existe un recuadro correspondiente al croquis general de los sitios, que auxilian a el cálculo y determinación de los ángulos que se necesitan para el cálculo de las constantes.

De la expresión para el cálculo del vector de inclinación, puede verse que una vez establecido cada sitio, los cocientes que involucran los senos y cosenos son constantes, y por lo tanto, para cada medición la magnitud del vector depende únicamente de la diferencia (Y-X) y (X-Z) comparado con el cambio respecto a la posición inicial, que debido al movimiento del terreno nos arrojará si existe o no movimiento.

Denominaremos como A, B, C y D a las constantes, sus expresiones son:

$$A = \frac{-\cos \Phi \cdot 10}{ly \sin \phi - \theta}; \quad B = \frac{\cos \theta \cdot 10}{lz \sin \phi - \theta}$$

Y

$$C = \frac{\sin \Phi \cdot 10}{ly \cos \phi - \theta}; \quad D = \frac{\sin \theta \cdot 10}{lz \cos \phi - \theta}$$

Las lecturas se inician por el vértice X, anotando las lecturas hasta el centímetro en la casilla de "*Lectura de Mira*" y las lecturas obtenidas en el micrómetro en la casilla con el título "*Lectura Interna*". La primera lectura del vértice X corresponde a la casilla de "*Lectura espalda*" ya que es la que inicia la medición y caminamiento sobre el circuito. A continuación se lee el estadal sobre el vértice Y, se anota de la misma forma que en los espacios para el vértice X, exceptuando que estas lecturas irán en la casilla "*Lectura Frente*", lo que nos permitirá calcular el desnivel entre estas primeras dos líneas. Las lecturas del vértice Y al frente, se pasan a la casilla "*Lectura espalda*" de la misma Y, se procede a repetir el procedimiento con el vértice Z. Al final se lee en el vértice X para calcular el error de cierre del circuito, esta última lectura se anota en el espacio restante.

Esta última parte mencionada se repite durante cada visita, siendo los datos que se toman por única vez los correspondientes a la medición de ángulos y distancias.

5.3 Cálculo de constantes de los sitios

Debido a lo extenso del procedimiento, se mostrará solo un ejemplo de los cálculos realizados para la obtención de las constantes.

En la figura siguiente se observan los datos angulares obtenidos en campo correspondientes al triángulo del sitio "Don Juan" (fig. 44)

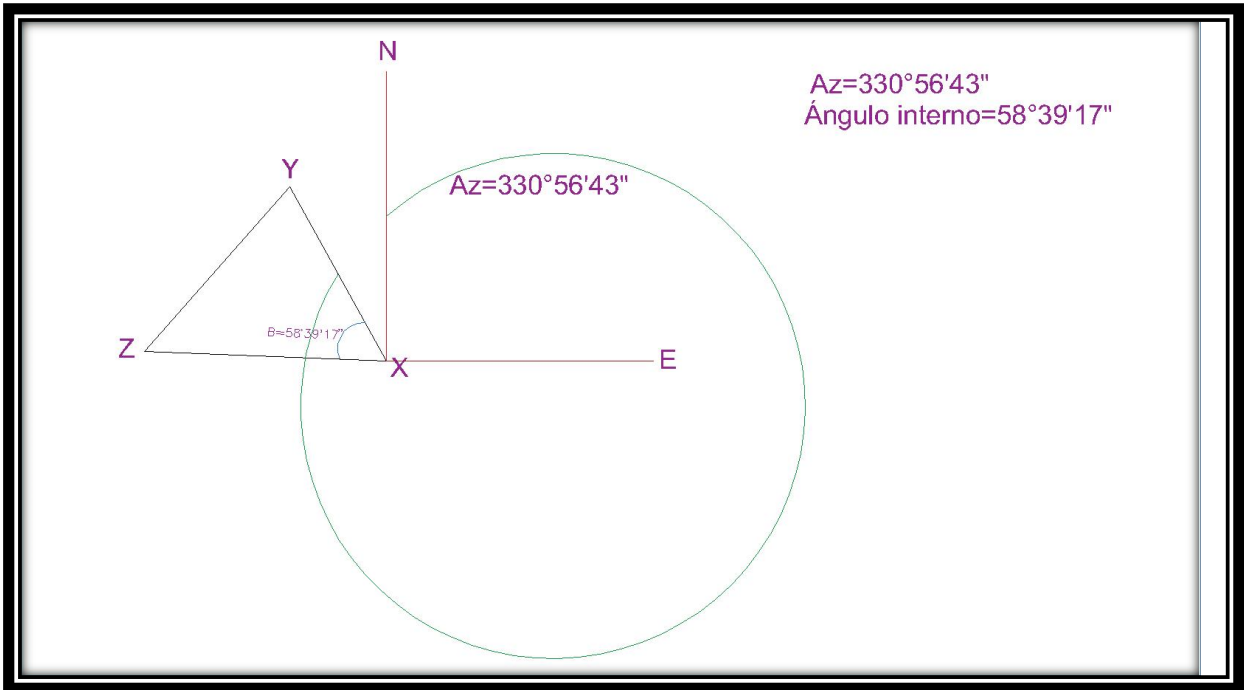


Fig. 44 Triángulo sitio Don Juan

Se observa el Acimut de la línea L_y que corresponde a $Az_{L_y} = 330^{\circ}56'43''$ y el ángulo interno correspondiente al vértice X, cuyo valor es $\beta = 58^{\circ}39'17''$. Estos valores son auxiliares para el cálculo de los ángulos θ y ϕ .

El ángulo θ corresponde al ángulo calculado desde el eje Este hasta la línea L_y . Para este ejemplo se calculará restando $360^{\circ}-Az_{L_y}$ para obtener el ángulo entre la línea Norte y la línea L_y en dirección horaria.

$$360^{\circ}00'00'' - 330^{\circ}56'43'' = 29^{\circ}3'17''$$

Posteriormente sumaremos 90° al resultado de la operación anterior para obtener el ángulo θ .

$$\theta = 29^\circ 3' 17'' + 90^\circ 00' 00'' = 119^\circ 3' 17''$$

Para conseguir el ángulo ϕ restaremos el ángulo β del Az_{L_y} , cuyo resultado nos dará Az_{L_z} .

$$330^\circ 56' 43'' - 58^\circ 39' 17'' = 272^\circ 17' 26''$$

Haremos lo mismo que con el ángulo anterior, ya que buscamos el ángulo que corresponde al que forman la línea L_z y la línea Este.

$$360^\circ 00' 00'' - 272^\circ 17' 26'' = 87^\circ 42' 34''$$

A este ángulo le sumaremos 90° para obtener el ángulo ϕ

$$\phi = 87^\circ 42' 34'' + 90^\circ 00' 00'' = 177^\circ 42' 34''$$

De esta forma tenemos como resultado para $\theta = 119^\circ 3' 17''$ y para $\phi = 177^\circ 42' 34''$ (fig.45).

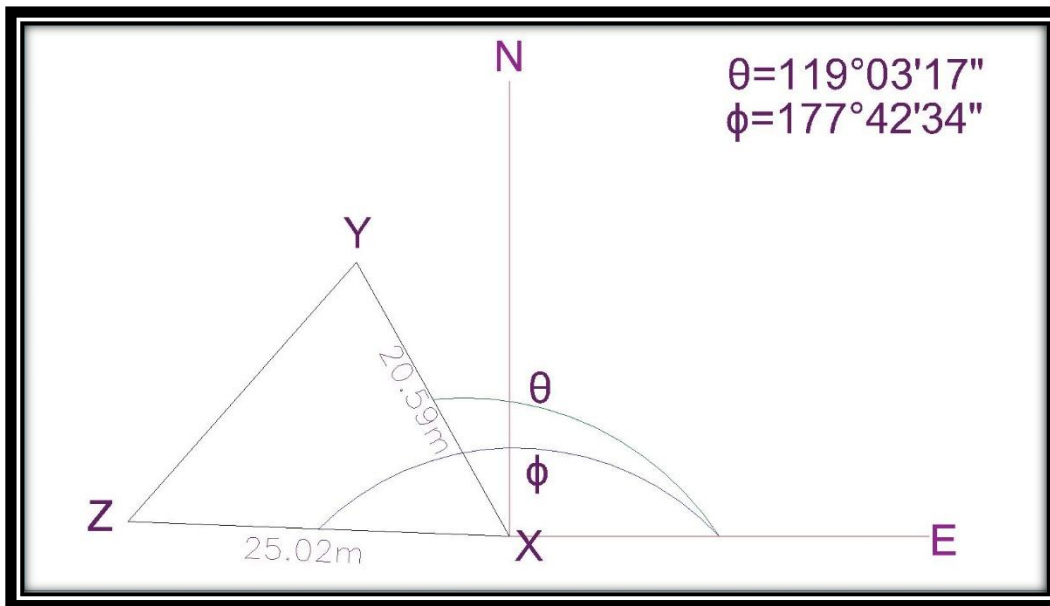


Fig. 45 Resultados y esquema

Una vez obtenidos los valores angulares, procedemos a sustituir en las expresiones para las constantes con los datos de la siguiente figura (Fig. 46).

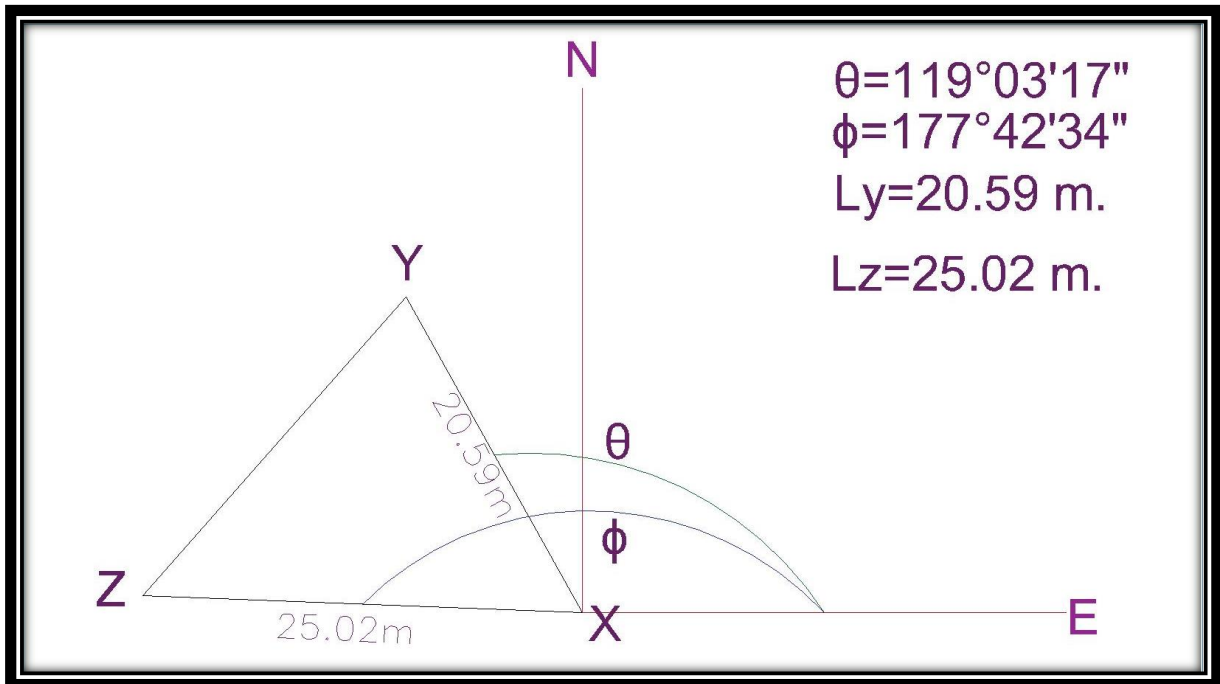


Fig. 46 Triángulo con datos completos.

$$A = \frac{-\cos \Phi \ 10}{ly \sin \phi - \theta}; B = \frac{\cos \theta \ 10}{lz \sin \phi - \theta}$$

Y

$$C = \frac{\sin \Phi \ 10}{ly \cos \phi - \theta}; D = \frac{\sin \theta \ 10}{lz \cos \phi - \theta}$$

1. Sustituyendo

$$A = \frac{-\cos 177^{\circ}42'34'' (10)}{20.59 \sin 177^{\circ}42'34'' - 119^{\circ}03'17''}; B = \frac{\cos 119^{\circ}03'17'' (10)}{25.02 \sin 177^{\circ}42'34'' - 119^{\circ}03'17''}$$

Y

$$C = \frac{\sin 177^{\circ}42'34'' (10)}{20.59 \cos 177^{\circ}42'34'' - 119^{\circ}03'17''}; D = \frac{\sin 119^{\circ}03'17'' (10)}{25.02 \cos 177^{\circ}42'34'' - 119^{\circ}03'17''}$$

2. Realizando las operaciones

$$A = \frac{0.999200996(10)}{17.58484864}; B = \frac{-0.485644733(10)}{21.36828134}$$

Y

$$C = \frac{0.039967088(10)}{10.71079822}, D = \frac{0.874156274(10)}{13.01525845}$$

3. Finalmente:

$$A = 0.568217001; B = -0.227273651$$

$$C = 0.037314761; D = 0.671639581$$

Tenemos entonces que las constantes de cada sitio son:

1. Sitio *"Don Juan"*

$$A=0.568217001$$

$$B= -0.227273651$$

$$C= 0.037314761$$

$$D= 0.671639581$$

2. Sitio *"Don Juan II"*

$$A=-0.006494555201$$

$$B=1.42178418$$

C=0.826895447

D=0.420225208

3. Sitio “24 de febrero”

A=0.37961538

B=0.254985076

C=1.158277226

D=0.722403319

4. Sitio “El Batallón”

A=0.354785338

B=0.352956027

C=1.228623715

D=0.999966777

5. Sitio “Zihua”

A=0.434354977

B=0.438028864

C=1.098004046

D=0.602458802

En el espacio que corresponde a los desniveles encontramos las lecturas de partida, que fueron tomadas el día que se estableció el sitio (fig. 47), estas lecturas serán comparadas con el desnivel que se obtiene en la siguiente visita al sitio.

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE TOPOGRAFÍA Y GEODESIA

"EL INCLINÓMETRO SECO, UN MÉTODO PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO RELACIONADO CON EL VULCANISMO Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS"

LOCALIDAD: _____
 DIRECTOR DE PROTECCIÓN CIVIL: _____
 TELEFONO: _____
 COORDINADOR DE PROTECCIÓN CIVIL: _____
 TELEFONO: _____
 NOTAS: *Primera medición, Croquis libre*

ESTACION: *Don Juan*
 FECHA: *02/02/18*
 UBICACIÓN DEL SITIO: X() Y() Z()

NIVELÓ: <i>Ernesto Panchaya</i>		$\tau(E) = (A(Y-X) - B(X-Z))1000 \mu\text{rad}$						
ANOTÓ:		$\tau(N) = (C(Y-X) + D(X-Z))1000 \mu\text{rad}$						
$\text{AZIMUT} = \text{ARCTAN}(\tau(E) + \tau(N)) \quad \tau = \sqrt{\tau E^2 + \tau N^2} \mu\text{rad}$								
ESPALDA			DIFERENCIA			FRENTE		
ESTACION	LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA	DE ELEVACION		LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA	ESTACION	
	<i>3.2218</i>				<i>1.176</i>			
<i>Y</i>	<i>3.140</i>	<i>3.1398</i>	<i>1.9999</i>	<i>1140</i>	<i>1.140</i>		<i>X</i>	
	<i>3.058</i>				<i>1.104</i>			
	<i>1.176</i>				<i>0.69</i>	<i>40</i>		
<i>X</i>	<i>1.140</i>	<i>1.140</i>	<i>0.5169</i>	<i>0.6231</i>	<i>0.62</i>	<i>30</i>	<i>Z</i>	
	<i>1.104</i>				<i>0.55</i>	<i>22</i>		
	<i>0.69</i>	<i>40</i>			<i>3.22</i>	<i>15</i>		
<i>Z</i>	<i>0.62</i>	<i>30</i>	<i>0.6230</i>	<i>-2.5168</i>	<i>3.1398</i>	<i>3.140</i>	<i>00</i>	
	<i>0.55</i>	<i>22</i>			<i>3.05</i>	<i>80</i>		
PROMEDIO			LECTURA CORREGIDA (cm)		CAMBIO DE ELEVACION (cm)		LECTURA PREVIA (cm)	
Y-X = <i>1.9999</i>			FECHA: <i>24/02/18</i>				FECHA:	
X-Z = <i>0.5169</i>			Y-X = <i>1.9999</i>				Y-X =	
Z-Y(CALC) = <i>-2.5168</i>			X-Z = <i>0.5169</i>				X-Z =	
Z-Y(OBS) = <i>-2.5168</i>			Z-Y = <i>-2.5168</i>				Z-Y =	
ERROR DE CIERRE = <i>0</i>								
CORRECCION <i>0</i>			$\tau E = [() () - () ()] 1000 \mu\text{rad}$					
Y-X =			$\tau N = [() () + () ()] 1000 \mu\text{rad}$					
X-Z =			AZIMUT =					
Z-Y =								

Fig. 47 Registro de campo, primera medición, Sitio "Don Juan"

Los desniveles obtenidos el día que se establece la estación de inclinometría Sitio "Don Juan" son, Y-X=1.9998; X-Z= 0.5169 y Z-Y=-2.5168. En la siguiente visita realizada el 5 de mayo de 2018, se obtienen las siguientes lecturas (fig. 48).

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE TOPOGRAFÍA Y GEODESIA
"EL INCLINÓMETRO SECO, UN MÉTODO PARA MEDIR LA DEFORMACIÓN DEL TERRENO RELACIONADO CON EL VULCANISMO Y SU APLICACIÓN EN PROBLEMAS DE DESLIZAMIENTO DE LADERAS"

LOCALIDAD: NECACALTEPETL, JUAN GÓNDOL, PUEBLA
 DIRECTOR DE PROTECCIÓN CIVIL:
 TELEFONO: 0.5152
 COORDINADOR DE PROTECCIÓN CIVIL :
 TELEFONO: 548°34'24"E
 NOTAS:

ESTACION: DON JUAN
 FECHA: 05 MAYO 2018
 UBICACIÓN DEL SITIO: X() Y() Z()

NIVELÓ:	$\tau(E) = (A(Y-X) - B(X-Z))1000 \mu rad$						
ANOTÓ:	$\tau(N) = (C(Y-X) + D(X-Z))1000 \mu rad$						
$AZIMUT = ARCTAN(\tau(E) \div \tau(N)) \quad \tau = \sqrt{\tau E^2 + \tau N^2} \mu rad$							
ESPALDA				DIFERENCIA DE ELEVACION	FRENTE		
ESTACION	LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA			LECTURA MIRA	LECTURA INTERNA	ESTACION
	3.29	25			1.25	81	
Y	3.21	28	0.7128	2.0007	1.2121	21	X
	3.13	31			1.16	62	
	1.25	81			0.75	71	
X	1.21	21	1.2121	0.5163	0.6958	58	Z
	1.16	61			0.63	513	
	0.75	71			3.29	25	
Z	0.69	58	0.6958	-2.5170	3.2128	28	Y
	0.63	43			3.13	31	
PROMEDIO			LECTURA CORREGIDA (cm)	CAMBIO DE ELEVACION (cm)	LECTURA PREVIA (cm)		
Y-X = 2.0007					FECHA: 24 FEB 2018		
X-Z = 0.5163			FECHA:		FECHA: 24 FEB 2018		
Z-Y(CALC) = -2.5170			Y-X =	2.0007	0.0009	Y-X =	1.9998
Z-Y(OBS) =			X-Z =	0.5163	-0.0006	X-Z =	0.5169
ERROR DE CIERRE = 0			Z-Y =	-2.5170	-0.0002	Z-Y =	-2.5168
CORRECCION			$\tau E = [(0.0331)(0.0009) + (0.67139)(-0.0006)] 1000 \mu rad$				
Y-X =			$\tau N = [(0.5163)(0.0009) + (-0.2277)(-0.0006)] 1000 \mu rad$				
X-Z =			AZIMUT = 314°8'45"				
Z-Y =			$\tau = 0.473192888 \mu rad$				

Fig. 48 segunda medición, 5 de mayo 2018

En este registro se observa y calcula que los desniveles para esta fecha son $Y-X=2.0007$, $X-Z=0.5163$ y $Z-Y=-2.5170$

Se restan los desniveles de ambas fechas, (medición final-medición inicial) para obtener los siguientes valores y anotarlos en la parte correspondiente, ubicada en la parte inferior del registro de campo, dónde además se anotan las constantes y se calcula el vector para esa fecha (fig. 48):

$Y'-X'=0.0008$; $X'-Z'=-0.0006$; y $Z'-Y'=0.0002$. Estos datos se sustituyen en las expresiones antes descritas, que serán recuperadas para mejor comprensión.

$$\overline{\tau}_N = [A(y - x) - B(x - z)]1000$$

$$\overline{\tau}_E = [C(y - x) + D(x - z)] 1000$$

Al sustituir estos valores obtendremos las componentes del vector para la fecha del 5 de mayo de 2018.

$$1. \overline{\tau}_N = [0.568217(-0.0008) - -0.22727365(0.0006)]1000$$

$$\overline{\tau}_E = [0.0373147614(-0.0008) + 0.67163958(0.0006)] 1000$$

$$2. \overline{\tau}_N = [0.0005113953009 - 0.0001363641906]1000$$

$$\overline{\tau}_E = [0.0000335832849 + -0.0004029837486)] 1000$$

$$3. \overline{\tau}_N = 0.37503111$$

$$\overline{\tau}_E = -0.369400463$$

Una vez obtenidas las componentes del vector es necesario conocer la magnitud resultante y la dirección del vector retomando los resultados anteriores y recuperando las siguientes ecuaciones.

Para la magnitud del vector

$$\vec{\tau} = \sqrt{(\tau_E^2) + (\tau_N^2)}$$

Y para la dirección y sentido

$$Az_{\vec{\tau}} = \tan^{-1} \frac{\tau_E}{\tau_N}$$

Sustituyendo:

$$\vec{\tau} = \sqrt{(-0.369400463)^2 + (0.37503111)^2} = 0.526407671 \mu \text{ rad}$$

Y

$$Az_{\vec{\tau}} = \tan^{-1} \frac{-0.369400463}{0.37503111} = \tan^{-1} - 0.984986186 = 315^\circ 26' 0.09''$$

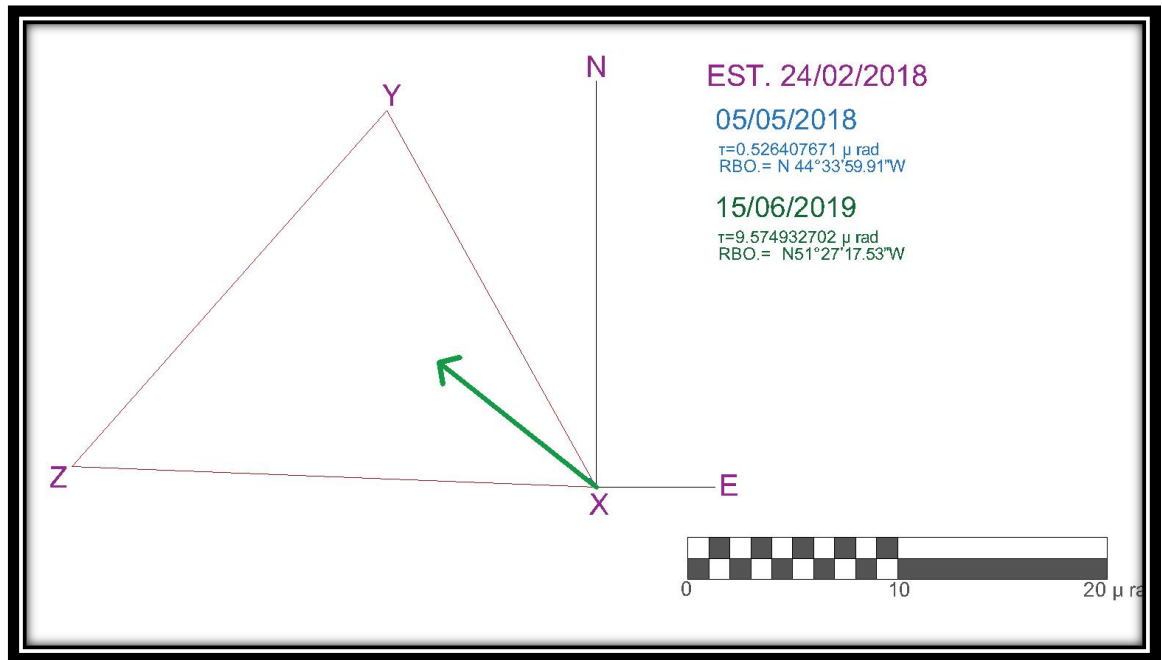
Tenemos entonces que el vector inclinación del Sitio “*Don Juan*” para el día 5 de mayo de 2018 es 0.5264μ rad con un rumbo de N 44°33'59.91”W. Cabe recordar que esta es la primera medida posterior a la instalación del sitio, para considerar que hay una inclinación el resultado debe ser siempre consistente en dirección y tener una magnitud superior a los 10 μ rad, ya que de lo contrario puede considerarse resultado de los errores naturales en la medición.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS

El proceso de cálculo y comparación se repite con las lecturas de todas las fechas, siempre restando las observaciones a la lectura de partida, y así obtener el cambio en la magnitud y dirección del vector. Para considerar que hay un deslizamiento en el sitio, es importante destacar que la dirección para cada vector de cada fecha, en sus respectivos sitios deben ser constantes, ya que de no serlo se descartan los deslizamientos en el sitio.

Para el Sitio “*Don Juan*”, utilizado para mostrar la realización de los cálculos, se efectuaron 3 medidas en el intervalo de un año y medio de visitas, del 2 de febrero de 2018 (establecimiento del sitio) al 15 de junio de 2019, obteniendo los siguientes resultados.

1. Sitio “Don Juan”, establecido el 24 de febrero 2018



Vector, 5 de mayo 2018

$$\tau^{\rightarrow} = 0.526407671 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\tau} = 315^{\circ}26'0.09'' = \text{N } 44^{\circ}33'59.91''\text{W}$$

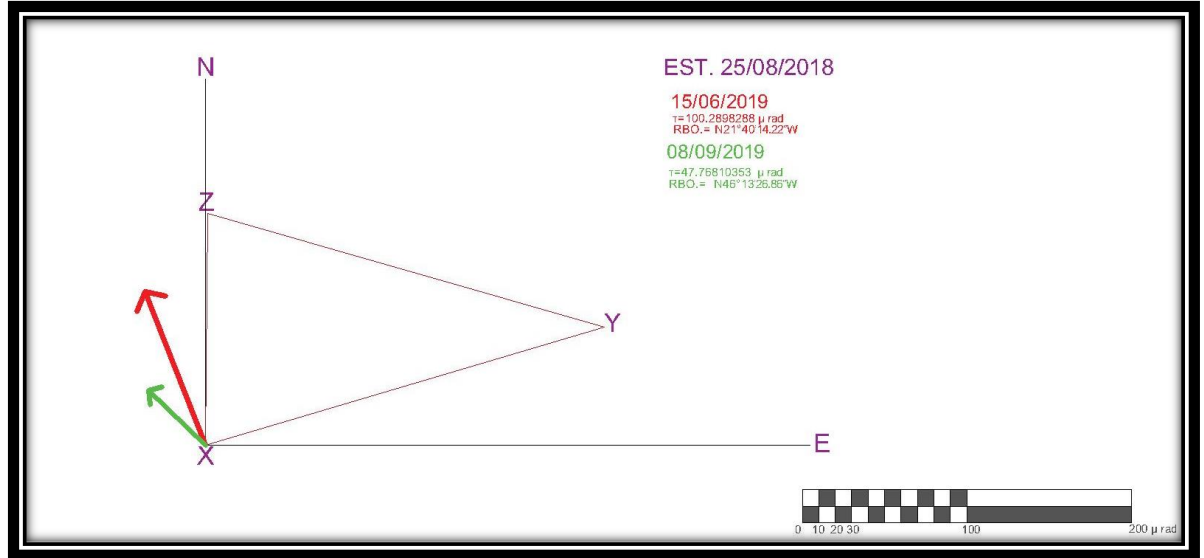
Vector, 15 de junio 2019

$$\vec{\tau} = 9.574932702 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 308^{\circ} 32' 42.4'' = \text{N}51^{\circ}27'17.53'' \text{ W}$$

En el sitio “Don Juan” se observa un aumento de poco más de 9 micro radianes en un año y medio, lo que acompañado de la dirección constante del vector nos acerca a concluir que es altamente probable la existencia de una inclinación en esta estación. Debido a las condiciones y negativas del dueño a que se siguiera haciendo mediciones por la condición de su construcción, se limitaron los monitoreos, para confirmar el aumento del vector se recomienda hacer más mediciones.

2. Sitio “Don Juan II”, establecido el 25 de agosto de 2018



Vector, 15 de junio 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 100.2898288 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 338^{\circ}19'45.7'' = N21^{\circ}40'14.22'' W$$

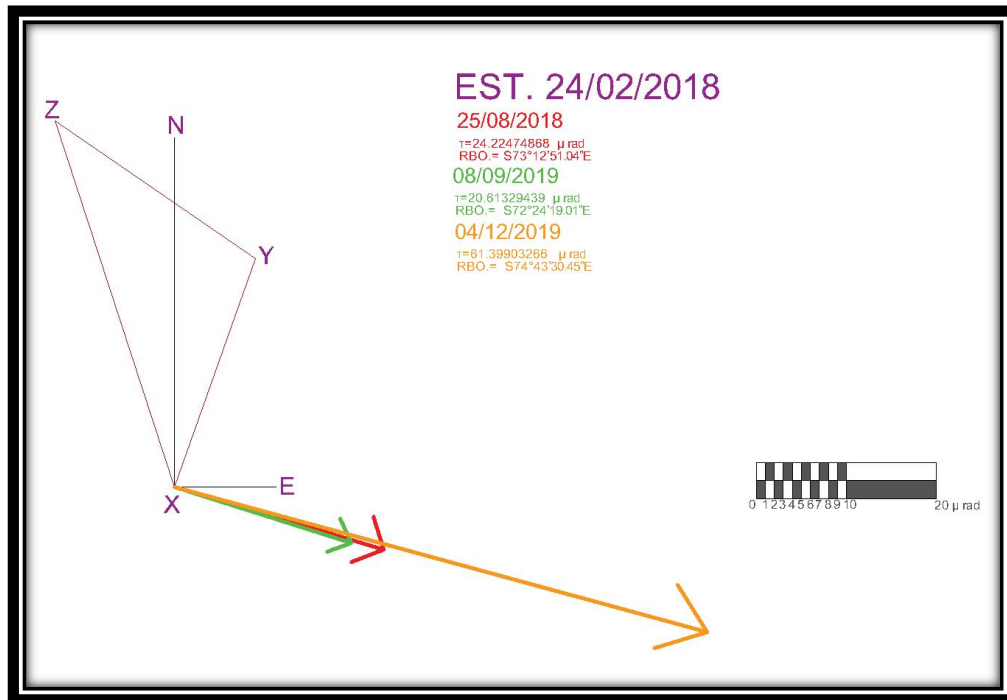
Vector, 8 de septiembre de 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 47.76810353 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 313^{\circ} 46' 33.1'' = N46^{\circ}13'26.86'' W$$

En el sitio “Don Juan II” se observa una disminución con el tiempo del vector de inclinación correspondiente a este sitio, pero mantiene una dirección constante, lo que nos hace llegar a dos posibles conclusiones. La primera se atribuye a los errores inevitables y naturales de la medición, que no son detectables hasta realizar los cálculos para obtener el vector; y la segunda es atribuible a hundimientos en el sitio, debido a que la mayor limitante del inclinómetro es no poder detectar movimientos en la dirección de la gravedad, ya que no hay cambio en el ángulo formado respecto a la posición inicial del plano, lo que nos ayudaría a explicar la disminución en la magnitud del vector. La ubicación del sitio y la negativa del dueño del inmueble fueron limitantes para continuar con las mediciones, para confirmar cualquiera de las dos conclusiones es necesario realizar más mediciones.

3. Sitio “24 de febrero”, establecido el 24 de febrero de 2018



Vector, 25 de agosto de 2018

$$\tau^{\rightarrow} = 24.22474868 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 106^{\circ}47'8.96'' = \text{S}73^{\circ}12'51.04''\text{E}$$

Vector, 8 de septiembre 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 20.61329439 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 107^{\circ}35'40.9'' = \text{S}72^{\circ}24'19.01''\text{E}$$

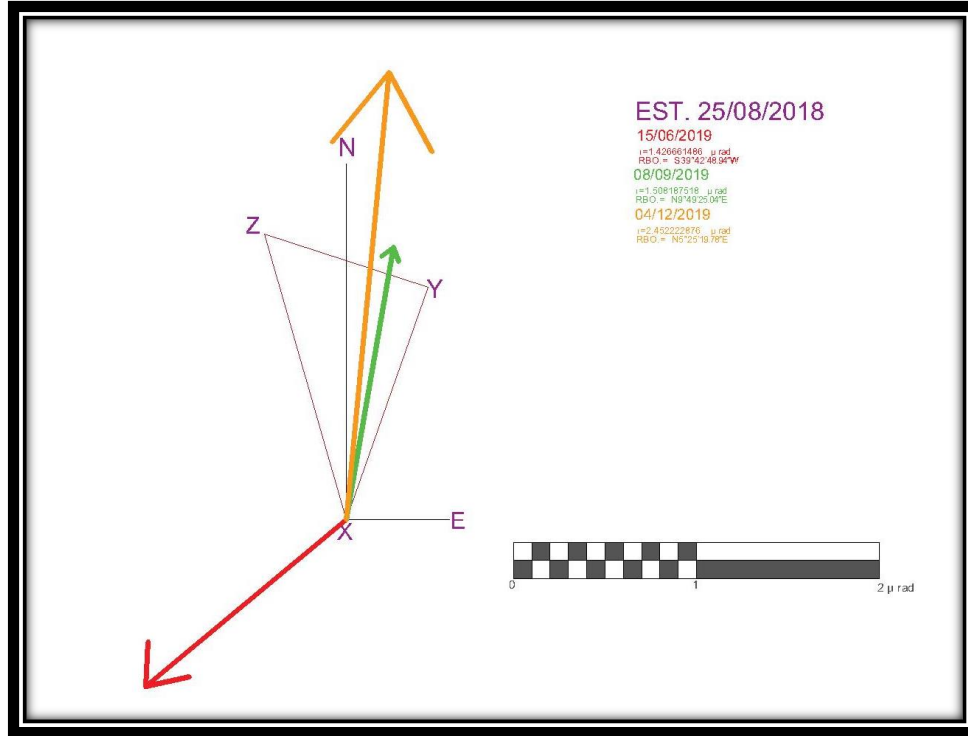
Vector, 4 de diciembre 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 61.39903266 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 105^{\circ}16'29.5'' = \text{S}74^{\circ}43'30.45''\text{E}$$

El sitio “24 de Febrero” muestra una constante en la dirección del vector, además de presentar un aumento en la magnitud del vector conforme va pasando el tiempo. Se concluye que existe un deslizamiento debido a la inestabilidad del talud, ya que este sitio se encuentra ubicado en una calle cercana a la ladera del cerro de Necaxatepétl. Las medidas y el tiempo transcurrido entre ellas son suficientes para sustentar el resultado.

4. Sitio “*El Batallón*”, establecido el 25 de agosto de 2018



Vector, 15 de junio 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 1.426661486 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 230^{\circ}17'11'' = S39^{\circ}42'48.94'' W$$

Vector, 8 de septiembre de 2019

$$\tau^{\rightarrow} = 1.508187518 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 9^{\circ}49'25.04'' = N9^{\circ}49'25.04'' E$$

Vector, 4 de diciembre 2019

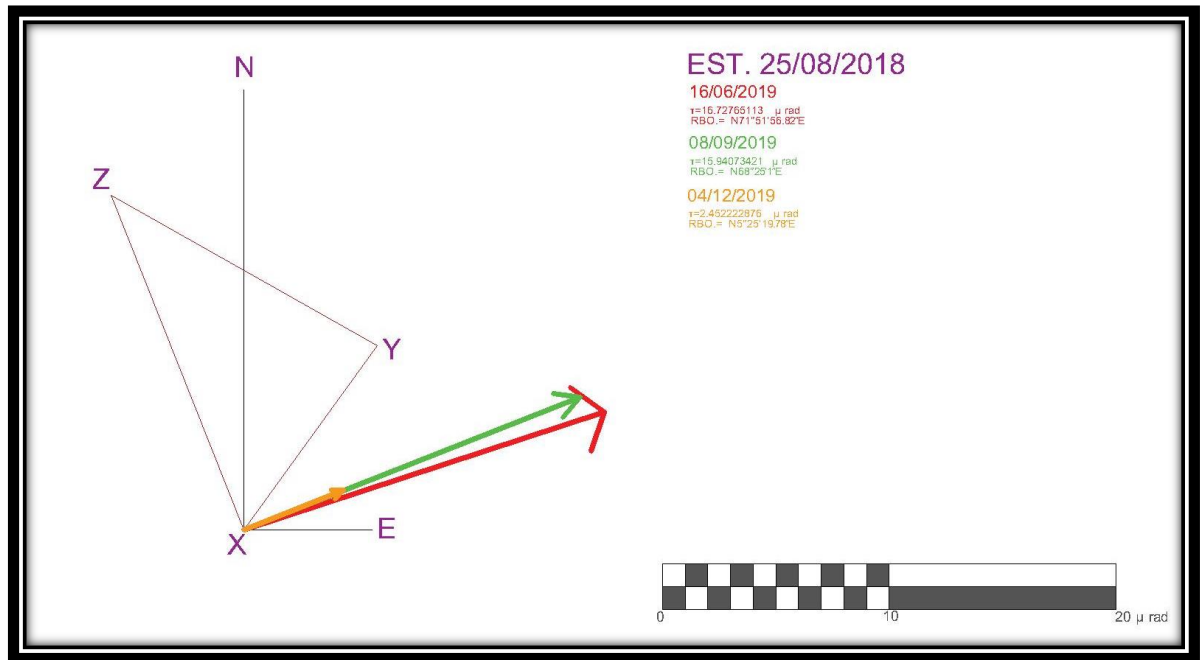
$$\tau^{\rightarrow} = 2.452222876 \mu\text{rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 5^{\circ}25'19.78'' = N5^{\circ}25'19.78'' E$$

Los datos de “*El Batallón*” arrojan en el vector correspondiente al día 15 de junio de 2019 un error atribuible a algún error en la anotación de las observaciones, ya que es el único valor que sale de la constante de las direcciones posteriores a esa medición. Los valores para la magnitud del vector son muy pequeños, aunque aumentan y mantienen su dirección conforme al tiempo, lo que nos lleva a concluir

que, para confirmar la existencia de una inclinación en el sitio es recomendable realizar mayores mediciones con un intervalo de tiempo mayor para poder observar cambios más grandes en el vector, si es que la inclinación realmente existe, y descartar cualquier error. Este sitio comparte ubicación con el sitio “*24 de febrero*” y la dirección de ambos es consistente con la ladera cercana a la calle donde se encuentran los sitios.

5. Sitio "Zihua", establecido el 25 de agosto de 2018



Vector, 16 de junio 2019

$$\tau \rightarrow = 16.72765113 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 71^{\circ}51'56.82'' = N71^{\circ}51'56.82''E$$

Vector, 7 de septiembre 2019

$$\tau \rightarrow = 15.94073421 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 68^{\circ}25'1'' = N68^{\circ}25'1''E$$

Vector, 4 de diciembre de 2019

$$\tau \rightarrow = 4.723180507 \mu \text{ rad}$$

$$Az_{\vec{\tau}} = 68^{\circ}25'1'' = N68^{\circ}25'1''E$$

Los valores arrojados por las mediciones del sitio "Zihua" para los vectores de inclinación nos arrojan una disminución en la magnitud conforme pasa el tiempo, conservando una dirección constante, lo que nos arroja dos posibles conclusiones; la primera que el sitio está sufriendo un hundimiento debido a la inestabilidad del talud que sostiene a la calle dónde está ubicada la estación y segunda, que debido a que el sitio se encuentra entre dos laderas, es probable que exista movimiento en

la ladera adyacente a la estación, lo que está provocando un hundimiento en el triángulo de inclinometría. Se recomienda continuar con las mediciones y establecer un sitio en la ladera adyacente para descartar su movimiento o confirmarse su existencia.

CONCLUSIONES

La aplicación del inclinómetro seco al monitoreo de volcanes fue innovador y entregó muy buenos resultados, por ello no fue descabellado su traslado al monitoreo de deslizamientos de laderas, para que igual que en los volcanes, pretender encontrar movimiento de tierra que, en este caso pusieran en riesgo los asentamientos humanos.

El método del inclinómetro seco utilizado para la detección de deslizamientos de laderas en la Sierra Norte del Estado de Puebla, en los municipios de Juan Galindo y Zihuateutla obtuvo resultados que motivan a continuar con la aplicación del método en la zona puesto que arrojan valores pequeños pero significativos, ya que coinciden con lo que marca el sentido común para el momento del establecimiento de los sitios, pues, las direcciones de los vectores concuerdan con la dirección de la zona de mayor riesgo de deslizamiento, concurrente con laderas ubicadas junto a las superficies de rodamiento donde fueron ubicados los sitios, tal es el caso de los sitios “*24 de Febrero*”, “*El Batallón*” y “*Zihua*”, este último presentando una condición interesante, ya que al encontrarse en medio de dos laderas arrojan dos posibles conclusiones particulares, que como se menciona en páginas anteriores, al estar entre dos laderas, y arrojar datos que se interpretan como la disminución de la magnitud del vector, manteniendo su dirección, se interpreta como el hundimiento del plano debido a un asentamiento en la ladera en la que está ubicado el sitio, o que la ladera adyacente es la que presenta un deslizamiento.

El método es muy efectivo para detectar pequeños cambios en la inclinación del plano establecido con la estación, lo que abre una vertiente a el monitoreo de grandes estructuras o asentamientos en zonas de alta urbanización, como lo hicieron Daniel Hernández Andrade y Dulce Tamayo de León en su trabajo “*Aplicación del inclinómetro seco a deformaciones del terreno en el Valle de Puebla*” presentado en 2019, que usa la misma metodología para detectar deformaciones en una zona específica del Valle de Puebla.

Debido a que una de las grandes “debilidades” del inclinómetro se encuentra en su incapacidad de detectar hundimientos del plano coincidentes con la dirección de la gravedad, ya que como se menciona en páginas anteriores, el cambio del ángulo formado entre una posición del plano y otra es igual a cero, fue necesario complementar las mediciones en las zonas con líneas extensas de nivelación desarrolladas por Victoria Matías Osorio y una poligonación de precisión con ayuda de estación total por Edgar Rojas Jaramillo, para cubrir los movimientos que el inclinómetro no detecta, y de esta forma entender de mejor forma lo que ocurre en las zonas de estudio.

Uno de los mayores inconvenientes para desarrollar a plenitud este trabajo fueron los largos tiempos de traslado y la poca disposición de los dueños de los hogares y desconfianza de los lugareños hacia la brigada de trabajo, debido al desconocimiento de las actividades desarrolladas por los mismos, por ello se recomienda establecer los sitios en lugares de dominio público y de fácil acceso para no tener problemas con la disponibilidad de acceder a ellos.

El marcaje es una de las partes más importantes del inclinómetro, por ello, se recomienda hacer un marcaje que perdure con el tiempo, poco llamativo y en lugares de poca visibilidad, ya que uno de los problemas recurrentes, no solo en este trabajo, sino también en el ejercicio de la Ingeniería Topográfica y Geodésica es el extravío de marcas, que habitualmente son removidas por las personas que habitan en la zona o que transitan por la misma. Realizar más mediciones con intervalos más amplios de tiempo pueden ayudar a mejorar el entendimiento de los vectores de deslizamiento en cada uno de los sitios.

El método del inclinómetro seco brindó una nueva experiencia al grupo de investigación, acercó a los miembros más jóvenes del mismo a hacer gestión con funcionarios de nivel municipal, mejoró la capacidad de exponer resultados y resolver dudas a personas ajenas al área de aplicación de la Ingeniería Topográfica y Geodésica. Además de reforzar la seguridad en el ejercicio de la aplicación de la ingeniería en un trabajo real, en dónde los errores representaban un día de trabajo

perdido y dinero no aprovechado. Motivó el trabajo colaborativo con compañeros de otras generaciones, puesto que en la mayoría de las visitas a los sitios participaron compañeros de matriculas diferentes a las de los miembros iniciales del grupo, influyendo en su interés por la licenciatura y el apoyo a comunidades, además de abrir un área nueva en su panorama de aplicación profesional, relacionado con la protección civil y prevención de riesgos.

Este trabajo representa una nueva forma y aplicación de la Ingeniería Topográfica y Geodésica, cambiando y ampliando la percepción general hacia la profesión, extendiendo el panorama de aplicación del área de la construcción y compraventa de bienes inmuebles a la prevención de riesgos y protección civil.

Bibliografía

- Alonso, A. R. (2012). Mediciones topográficas para la detección de deformaciones en estructuras de obra civil. Distrito Federal, México.
- Ánimas, L. (18 de octubre de 2018). Lluvias en Sierra Norte provocan deslaves en carreteras. *Milenio*.
- Brinker R., Wolf, P. (1982). *Topografía Moderna sexta edición*. (R. G. Ma. Dolores García Diaz, Trad.) New York: Harper & Row Latinoamericana.
- BUAP. (23 de julio de 2010). La Sierra Norte de Puebla, una zona susceptible a deslizamientos de tierras. *Boletín BUAP*.
- Domínguez, E. (1 de junio de 2019). Estos son los municipios con alto riesgo por deslizamiento de laderas. *Sol de Puebla*.
- Dzurisin, D. Yamashita, K. (1979). *Indonesia Dry Tilt*. Indonesia: TDY.
- Eaton, J. P. (1959). a portable water-tube tiltmeter. *Bulletin of the seismological Society of America*, 301-316.
- Espinoza, C. (21 de octubre de 2018). Lluvias provocan deslaves y afectan carreteras de Puebla. *El Herald*.
- Fiske, R. (1979). Deformation studies at Soufriere Volcano St. Vicent 1977-1979. *EOS* 46, 883.
- García, J. Ruíz, M. Mesa, J. (2011). Evaluación de la incertidumbre de medida de ángulos, distancias y desniveles medidos con instrumentación topográfica. *Mapping* 149, 6-27.
- Hernández, D. Tamayo, D. (2019). Aplicación del inclinómetro seco a deformaciones del terreno en el Valle de Puebla.

- Hernández, M. (8 de septiembre de 2006). Deslaves relacionados con lluvias dejan 14 muertos en dos estados. *La Jornada*.
- INAFED. (2 de julio de 2020). *INAFED*. Obtenido de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21213a.html>
- Instituto Geográfico Nacional. (26 de junio de 2020). *Instituto Geográfico Nacional*. Obtenido de https://www.ign.es/resources/docs/IGNCnig/TecnicasDeVigilancia_v8.pdf
- Jaggar, T., Finch, R. (1926). Tilting and level changes at Pacific volcanoes. *Proc. 33rd Pan Pacific Science Congress*, 672-686.
- Llaven, Y. (24 de julio de 2020). MÁS DE 9 MIL POBLANOS VIVEN EN ZONAS DE RIESGOS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS EN TEMPORADA DE LLUVIAS. *La jornada de oriente*.
- Municipios. (5 de octubre de 2017). Deslaves afectan carreteras en Zihuateutla y Huauchinango. *Municipios*.
- Nuestro México. (29 de julio de 2020). *nuestro-mexico.com*. Obtenido de <http://www.nuestro-mexico.com/Puebla/Zihuateutla/Tecpatlan/>
- Segura, G. Badilla, E. Obando, L. (2011). Suceptibilidad al deslizamiento en el corredor Siquirres-Turrialba. *Revista Geológica de América Central* 45, 101-121.
- Sevilla, M. Valbuena, J. Rodriguez, G. Dolores, M. (1996). Trabajos altimétricos en la caldera del Teide. *Física de la tierra, num. 8*, 117-130.
- Sylvester, A. (1979). Dry tilt and short level line data, central southern California uplift.

Universidad Veracruzana, Centro de Ciencias de la Tierra. (30 de junio de 2020).
uv.mx. Obtenido de <https://www.uv.mx/cienti/diapositivas/vulcanologia/>

Van der Laat, R. (1982). El inclinómetro seco: Un vigilante de la deformación ligada al vulcanismo activo en Hawaii. *Unión Geofísica Mexicana*, 11-17.

ANEXOS

Oficio D/0333/2018

Mtro. Gabriel Alvarado Lorenzo
Presidente Municipal de Huachinango, Puebla.
Presente:

Por este medio le saludo, al mismo tiempo hago de su conocimiento que el Colegio de Ingeniería topográfica y Geodésica de esta Facultad de Ingeniería cuenta con un grupo de Investigadores, mismo que pretende realizar un proyecto de Inclinometría y cartografía en el municipio que tan dignamente Usted representa. Por lo anterior, le solicito con toda atención su invaluable apoyo para que por favor se les brinde toda la seguridad necesaria.

Los **Maestros** que estarán realizando mencionado proyecto son:

Mtro. Máximo Ávila Cruz
Ing. Joel Panohaya Analco
Ing. José Abraham Torres Méndez
Ing. Marcos Arellano Díaz
Ing. Josué Irving Carcaño Soriano
Mtro. Rogelio Ramos Aguilar

Alumnos:

Victoria Matías Osorio
Jesús Israel Sola Jiménez
Ernesto Panohaya Amador
Jahir Zamora López



PRESIDENCIA
MUNICIPAL

9.1 ENE 2018

RECIBIDO

No omito manifestar que el Mtro. Máximo Ávila Cruz Coordinador del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica le hará entrega de una copia del trabajo realizado.

Sin más por el momento, agradezco su atención y espero poder contar con su valioso apoyo.

Atentamente

"Pensar bien para vivir mejor"

H. Puebla de J. a 24 de enero de 2018

M.J. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director



C.c.p Archivo
MJD/HA

Oficio D/0905/2018

Lic. Luis Gerardo Martínez Gómez
Presidente Municipal
Presidencia Municipal de Juan Galindo (Necaxa)

Presente:

Por este medio le saludo, al mismo tiempo hago de su conocimiento que el Colegio de Ingeniería topográfica y Geodésica de esta Facultad de Ingeniería cuenta con un grupo de Investigadores, mismo que pretende realizar un proyecto de Inclínometría y cartografía en el municipio que tan dignamente Usted representa. Por lo anterior, le solicito con toda atención su invaluable apoyo para que por favor se les brinde toda la seguridad necesaria.

Los **Maestros** que estarán realizando mencionado proyecto son:

Mtro. Máximo Ávila Cruz
Ing. Joel Panohaya Analco
Ing. José Abraham Torres Méndez
Ing. Marcos Arellano Díaz
Ing. Josué Irving Carcaño Soriano
Mtro. Rogelio Ramos Aguilar
Mtro. Juan José Benítez Suárez

Alumnos:

Victoria Matías Osorio
Jesús Israel Sola Jiménez
Ernesto Panohaya Amador
Jahir Zamora López

No omito manifestar que el Mtro. Máximo Ávila Cruz Coordinador del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica le hará entrega de una copia del trabajo realizado.

Sin más por el momento, agradezco su atención y espero poder contar con su valioso apoyo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de L., a 24 de febrero de 2018

M.I. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director

C.c.p Archivo
MLTOLH/abs



H. AYUNTAMIENTO
JUAN GALINDO, PUE.
24 FEB 2018 11:25
RECIBIDO



BUAP

Oficio D/1570/2018

Lic. Dolores Campos Pelcastre
Presidente Municipal
Presidencia Municipal de Zihuateutla
Presente:

Por este medio le saludo, al mismo tiempo hago de su conocimiento que el Colegio de Ingeniería topográfica y Geodésica de esta Facultad de Ingeniería cuenta con un grupo de Investigadores, mismo que pretende realizar un proyecto de Inclinometría y cartografía en el municipio que tan dignamente Usted representa. Por lo anterior, le solicito con toda atención su invaluable apoyo para que por favor se les brinde toda la seguridad necesaria.

Los **Maestros** que estarán realizando mencionado proyecto son:

- Mtro. Máximo Ávila Cruz
- Ing. Joel Panohaya Analco
- Ing. José Abraham Torres Méndez
- Ing. Marcos Arellano Díaz
- Ing. Josué Irving Carcaño Soriano
- Mtro. Rogelio Ramos Aguilar
- Mtro. Juan José Benítez Suárez

Alumnos:

- Victoria Matías Osorio
- Jesús Israel Sola Jiménez
- Ernesto Panohaya Amador
- Jahir Zamora López

No omito manifestar que el Mtro. Máximo Ávila Cruz Coordinador del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica le hará entrega de una copia del trabajo realizado.

Sin más por el momento, agradezco su atención y espero poder contar con su valioso apoyo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Z. a 07 de mayo de 2018

M.I. Fernando Daniel Lázcano Hernández
Director



C.P. Archivo
M.I.FDLH/966

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Volseguillo y Av. San Claudio
sh, edif. ING - 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

Handwritten notes:
Firma recibida
5-05-18



BUAP

Oficio D/2254 /2019

Lic. Carlos Gilberto Garrido Torres
Presidente Municipal del Municipio de Juan Galindo, del Estado de Puebla
Presente:

Por este medio le saludo, al mismo tiempo hago de su conocimiento que el Colegio de Ingeniería topográfica y Geodésica de esta Facultad de Ingeniería cuenta con un grupo de Investigadores, mismo que pretende realizar un proyecto de Inclínometría y cartografía en el municipio que tan dignamente Usted representa, los días 7 y 8 de septiembre del año en curso. Por lo anterior, le solicito con toda atención su invaluable apoyo para que por favor se les brinde toda la seguridad necesaria.

Los **Maestros** que estarán realizando mencionado proyecto son:

- Mtro. Máximo Ávila Cruz
- Ing. Joel Panohaya Analco
- Ing. Josué Irving Carcaño Soriano
- Mtro. Rogelio Ramos Aguilar
- Mtro. Juan José Benítez Suárez

Alumnos:

- Victoria Matias Osorio
- Jesús Israel Sola Jiménez
- Ernesto Panohaya Amador
- Jahir Zamora López

No omito manifestar que el Mtro. Máximo Ávila Cruz Coordinador del Colegio de Ingeniería Topográfica y Geodésica le hará entrega de una copia del trabajo realizado.

Sin más por el momento, agradezco su atención y espero poder contar con su valioso apoyo.

Atentamente

"Pensar bien para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza a 5 de septiembre de 2019

M.I. Fernando Pagán Lázaro Hernández
Director

C.c.p Archivo
M1FDLH/mb



Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610



Recibi
Miguel Hernández