



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO INNOVADOR DE SENSOR PARA LADERAS
SISTEMA PREVISOR DE TALUDES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECATRÓNICO

PRESENTA:

JUAN JOSÉ CAMPOS PUEBLA

DIRECTOR DE TESIS: M.I. ROSA ITZEL FLORES LUNA
CODIRECTOR DE TESIS: DR. JUAN CARLOS MORA CHAPARRO

CIUDAD UNIVERSITARIA 2013

RESUMEN

El propósito de este trabajo es diseñar un sistema capaz de monitorear el movimiento superficial de zonas naturales con superficies inclinadas conocidas como laderas *activas*, esto significa que hay deslizamientos superficiales que generan cambios en la superficie y que se ven reflejados en la inclinación de árboles, agrietamiento y abultamiento de terrenos, vuelcos o desplomes de rocas o terreno. Cuando la ladera esta habitada, los cambios en la superficie se ven reflejados en el agrietamiento de paredes, pavimento, rompimiento de drenajes, desplazamiento de postes, entre otros. Todo esto pone en peligro a pobladores establecidos ahí ya que son vulnerables al desconocer el fenómeno que se desarrolla.

Debido a que no se sabe cuál puede ser el comportamiento del movimiento, y el día o la hora en que este puede acelerarse repentinamente, es que se hace indispensable desarrollar un sistema de monitoreo para identificar como se desarrolla el mismo, cuáles son los periodos de mayor movimiento y estar alerta por si se modifica este registro. Actualmente existen sistemas de monitoreo en algunas laderas activas en México y en el mundo, éstos son muy costosos ya que se requieren equipos muy sofisticados, por lo que son inaccesibles y fácilmente presas de rapiña y destrucción, por lo que su utilidad se ha reducido al mínimo. Es por ello que nace este proyecto donde se debe de diseñar un sistema de monitoreo que pudiera servir como alertamiento a la población que viva en una ladera inestable. Este sistema debe de ser práctico, sencillo, de bajo costo de adquisición y bajo costo (o cero) de mantenimiento.

Para esta tarea se utilizó la metodología de TRIZ como guía en la búsqueda de una solución que satisfaga los requerimientos del sistema, considerando durante el diseño que los sistemas existentes para la prevención y monitoreo de este fenómeno en su mayoría son costosos en comparación a la condición económica de las personas que viven en estos lugares, por lo que el brindar un sistema más económico en comparación con los existente representará una ventaja significativa.

En esta tesis se presenta un trabajo de investigación de los sensores que actualmente se implementan en algunas laderas del mundo, así como los sistemas que hacen uso de ellos. Se da una explicación sobre el desarrollo del fenómeno y los factores que lo propician y durante el diseño se usan algunas herramientas de la metodología TRIZ que sirven de apoyo para clarificar conceptos y encausar las soluciones hacia una que satisfaga los requerimientos planteados. Adicionalmente, son expuestas las bases con que se cuenta para establecer una alerta temprana, ante un eventual e inminente deslizamiento de suelos o rocas, con base en un sistema de monitoreo en tiempo real.

Índice

RESUMEN.....	2
INTRODUCCIÓN.....	4
OBJETIVOS	6
I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 DESCRIPCIÓN	7
1.2 ESTADO DEL ARTE	9
1.2.1 <i>Pluviógrafo</i>	9
1.2.2 <i>Tensiómetro</i>	9
1.2.3 <i>Piezómetros</i>	10
1.2.4 <i>Inclinómetros</i>	10
1.2.5 <i>Acelerómetros</i>	11
1.2.6 <i>GPS</i>	11
1.2.7 <i>Sistemas automáticos</i>	11
1.3 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	14
II DISEÑO CONCEPTUAL	15
2.1 METODOLOGÍA TRIZ	15
2.2 CUESTIONARIO TECNOLÓGICO ISQ.....	16
2.2.1 <i>Descripción del sistema actual</i>	17
2.2.2 <i>Historia del problema</i>	24
2.2.3 <i>Historia de intento de solución</i>	28
2.2.4 <i>Sistemas con problemas similares</i>	31
2.3 SISTEMAS OBJETIVO.....	34
2.4 DIAGRAMA DE FUNCIONES.....	35
2.4.1 <i>Contradicciones Técnicas</i>	37
2.4.2 <i>Contradicciones Físicas</i>	40
2.5 ESTÁNDARES DE SOLUCIONES INVENTIVAS.....	41
2.5.1 <i>Clase 4. Detección y medición</i>	41
2.5.2 <i>Soluciones Interpretadas</i>	42
2.6 HIPÓTESIS.	43
2.7 BENEFICIOS ESPERADOS	43
III. DISEÑO DE CONFIGURACIÓN Y DISEÑO DE DETALLE	44
3.1 GEOLOCALIZACIÓN.....	44
3.1.1 <i>Triangulación</i>	45
3.1.2 <i>Trilateración</i>	45
3.2 CONFIGURACIÓN	46
3.2.1 <i>Estructura Funcional</i>	50
IV. PRUEBAS Y RESULTADOS	51
V. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO.....	57
REFERENCIAS.....	58
ANEXO	59

INTRODUCCIÓN

Los movimientos de un volumen de material constituido por rocas, tierra o por ambos, son conocidos como laderas activas. Estos movimientos ocurren en superficies terrestres con pendientes usualmente de 25° a 90° y son controlados por la gravedad.

Existe una clasificación para este tipo de fenómeno según su comportamiento:

- a) *Desprendimientos o caídas*: es el movimiento en caída libre de distintos materiales.
- b) *Vuelcos o desplomes*: consiste en la rotación de una masa proveniente del suelo o de una roca en torno a un eje determinado por su centro de gravedad.
- c) *Deslizamientos*: la característica de este tipo de movimiento son la presencia de superficies de rotura definidas y la forma de la masa desplazada.
- d) *Flujos*: son movimientos espacialmente continuos, ocurren en suelos o terrenos compuestos principalmente por material muy fino (arcilla).

De manera natural, la superficie inclinada se encuentra estable gracias a las rocas y las raíces de los árboles que mantienen unida la tierra, como una red que sujeta toda la superficie de la masa, de esta forma cuando llueve, el agua es absorbida por las raíces, lo que mantiene controlada la cantidad de humedad del suelo evitando que la tierra se comporte como un fluido. Pero ¿qué pasa cuando esta zona es habitada?, la construcción de casas, caminos etc. Provoca la tala de árboles y cortes de terreno, al quitar árboles la tierra deja de estar compacta y además queda expuesta a la lluvia, el sol y el viento, factores que propician la erosión del suelo.

Durante una lluvia intensa, el agua se filtra por la superficie de la ladera creando grietas o fisuras en la superficie. Durante las bajas temperaturas entre la noche y la madrugada, el agua que se filtró se convierte en hielo y actúa como una cuña que abre más la grieta en el suelo. Por lo que conforme avanza la temporada de lluvias, una ladera va aumentando gradualmente la cantidad de agua absorbida y el tamaño de sus grietas, esto se puede explicar comparando la superficie de la ladera con una esponja, si colocamos una esponja sobre un plano inclinado, esta permanecerá en la cima sin mayor problema, pero qué pasa si la rociamos con agua, la esponja absorberá el líquido y aumentará su masa, además de que disminuirá la fricción entre el plano y ella, por que el agua, al llegar al plano le sirve de lubricante para que en conjunto con la acción de la gravedad, la esponja tenderá a deslizarse sobre el mismo. Esto mismo ocurre en una ladera activa, el suelo se comporta como esponja, aumentando su masa al absorber agua y si a esto le agregamos la carga superficial de casas, postes de luz, automóviles etc. Entonces provocan un movimiento de la misma, convirtiéndose así en una ladera activa.

Las construcciones que están sobre los materiales de una ladera activa, sufren agrietamientos, inclinaciones, hundimientos, pequeños colapsos en las paredes, pisos, techos y/o banquetas. Todas estas características son indicadores de la inestabilidad del subsuelo y sin embargo, no hay forma de saber el momento exacto en que ocurrirá un movimiento tan acelerado que pueda provocar una catástrofe.

Los métodos de medición hasta ahora aplicados, se han utilizado principalmente para obtener la medida de las deformaciones del terreno, así como para cuantificar distintas

características del comportamiento de una ladera, tales como los movimientos o el desplazamiento relativo entre dos cuerpos, inclinaciones, movimientos a profundidad, la distribución espacial y temporal del terreno etc.[2] Las magnitudes de estas variables ayudan caracterizar el estado de las laderas, por lo que es posible clasificarlas en activas y no activas.

Las laderas inactivas son taludes donde el ecosistema en general se encuentra en equilibrio, por lo que el movimiento de su masa constituyente es mínimo. Las características de este tipo de lugares es que tienen una población suficiente de árboles que protegen el suelo de la erosión y en su mayoría, no tienen asentamientos humanos que desestabilicen la superficie. Las laderas activas no representan un peligro como tal, ya que es un fenómeno natural que surge por el constante movimiento de la superficie terrestre y se ha presentado desde antes de la existencia del ser humano, sin embargo, se vuelven un peligro para las personas cuando llegan a vivir a zonas con un cierto grado de inestabilidad y debido a las actividades que realizan sobre ella el grado aumenta, esto se conoce como *peligro socialmente construido*, ya que el lugar siempre esta en riesgo, pero se vuelve un peligro cuando las personas interactúan con el.

La velocidad con que se mueven las laderas varia mucho dependiendo del tipo de movimiento, de la inclinación del terreno y de la cantidad de agua. Los derrumbes pueden alcanzar grandes velocidades. Sin embargo, los flujos son más importantes ya que generalmente involucran una gran cantidad de material constituyente de la superficie de una ladera. Mientras más agua, mayor es la velocidad. De la misma manera, mientras más inclinada es la ladera, mayor será la movilidad de los materiales inestables. Es necesario conocer la velocidad de los movimientos porque esto nos permite saber cuál es el posible impacto en las zonas habitadas. Para identificar el grado de peligro de un problema de inestabilidad de laderas, debemos partir del hecho que mientras mayor sea la velocidad del movimiento, mayor será su potencial destructivo (Tabla 1).

Tabla 1. Escala de velocidades de los movimientos de ladera, tomada de [1]

Velocidad	Descripción de la velocidad	Naturaleza del impacto
3 m/s – 5 m/s	7. Extremadamente rápido	Catástrofe de gran violencia
0.3 m/min – 3 m/min	6. Muy rápido	Pérdida de algunas vidas, gran destrucción
1.5 m /día – 13 m /mes	5. Rápido	Posible escape y evacuación, estructuras, posesiones y equipos destruidos
1.5 m /año – 1.6 m /año	4. Moderado	Estructuras poco sensibles pueden sobrevivir
1.5 m /año – 1.6 m /año	3. Lento	Carreteras y estructuras poco sensibles pueden sobrevivir a través de trabajo de mantenimiento constante
0.06 m /año – 0.016 m /año	2. Muy lento	Algunas estructuras permanentes no son dañadas y sufren agrietamientos por el movimiento, pueden ser reparadas
	1. Extremadamente lento	No hay daño a las estructuras construidas con criterios de ingeniería formales

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es diseñar un sistema electrónico que detecte desplazamientos superficiales de una ladera activa.

Por lo que se expondrán algunos sistemas actuales que se utilizan para el monitoreo de laderas con objeto de evaluar su comportamiento, y de esta forma determinar el riesgo de inestabilidad. Se presentan los medios para medir deformaciones y otras manifestaciones de inestabilidad en el terreno, tales como aceleraciones, vibraciones o sonido asociados con movimientos, así como la precipitación y presiones de la superficie de la ladera.

I Planteamiento del problema

1.1 Descripción

Diversas instituciones públicas y privadas, han desarrollado e implementado sistemas de monitoreo de fenómenos naturales, como: sismos, tornados, lluvias, tsunamis, actividad volcánica y deslizamientos en laderas activas. Gracias a estos trabajos de monitoreo e investigación, hoy en día, la mayoría de los fenómenos naturales pueden ser anticipados y cuantificados, permitiendo a los seres humanos resguardarse en lo más posible del peligro, sin embargo, no es el caso para el deslizamiento en laderas activas.

El deslizamiento en laderas activas esta íntimamente relacionado con varios fenómenos naturales, los más importantes son las lluvias intensas y los sismos, pero por su naturaleza es difícil establecer el momento en el que ocurrirá un movimiento masivo de la ladera. Mientras tanto, se van presentando pequeños movimientos que serían imperceptibles para los habitantes de la zona si no fuese por los daños que causa en la estructura de las viviendas y demás construcciones sobre la ladera. La historia muestra que los movimientos masivos suelen ocurrir durante la madrugada, después de una lluvia intensa, y cuando ocurre un sismo intenso, por lo que los sistemas de monitoreo en estas zonas son una necesidad absoluta.

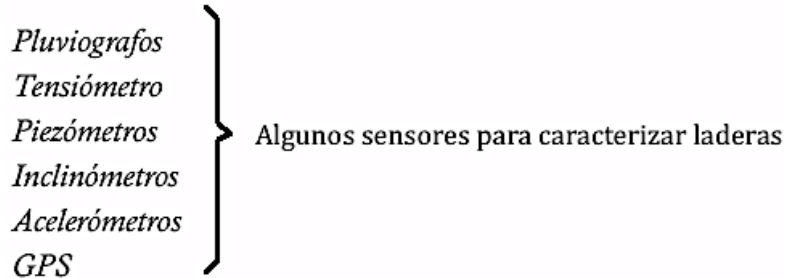
De los fenómenos naturales podemos extraer una cantidad considerable de variables relacionadas con laderas activas.

Variables representativas:

- Humedad en el suelo
- Pendiente de la ladera
- Cantidad de arboles en la zona
- Sismos
- Actividad volcánica
- Movimientos del terreno
- Presion del grano de tierra
- Precipitación
- Velocidades del terreno
- Vibraciones del terreno

Estas variables proveen información sobre el grado de inestabilidad de la zona, sin embargo, nuestro caso de estudio se enfocará en los movimientos del terreno. Estos movimientos, generan desplazamientos superficiales del terreno causantes de los primeros daños, es decir, agrietamientos en las construcciones y levantamientos en carreteras y banquetas.

Existen diversos sensores en el mercado que pueden cuantificar la mayoría de las variables escritas anteriormente, enseguida se enlistan algunos de ellos y más adelante se mencionarán sus características:



Cada uno de las variables que miden los sensores y que pueden relacionarse con la inestabilidad de una ladera, son: precipitación pluvial, tensión o succión del suelo, presión del grano de tierra, desviación (inclinación) del suelo, aceleración y posición satelital, respectivamente, para nuestro caso, la variable que mediremos será el desplazamiento superficial del terreno.

En México, existen muchas laderas activas sobrepobladas que no cuentan con algún equipo de monitoreo ni los expertos para interpretar los resultados, por lo que estas zonas sufren de pérdidas materiales y lo más importante, pérdidas humanas cuando el fenómeno se presenta. En Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, hay una ladera activa conocida como La Cueva del Jaguar, aquí, los daños de los movimientos han provocado el derrumbe de las casas y la reubicación de varias familias por lo que protección civil y la UNAM suman esfuerzos para monitorear la zona con equipos GPS, es una labor de mucha dedicación y trabajo que demanda mucho tiempo de los expertos para realizar las tareas de medición, sin mencionar que los equipos no son nada económicos, por lo que es necesario diseñar un sistema que realice esta función de monitoreo pero de manera constante y evite que se pierda tiempo tomando las mediciones, para que de esta forma, la anticipación del fenómeno pueda predecirse con tiempo suficiente para que los habitantes abandonen la zona y salven su vida ante un deslizamiento masivo de la ladera.

1.2 Estado del arte

En esta parte, se describirá de manera muy concisa el funcionamiento de algunos sistemas que se encargan de medir determinado factor que indican la inestabilidad de una ladera.

1.2.1 Pluviógrafo

Aparato que tradicionalmente sirve para medir la precipitación. Este aparato tiene cerca de tres centurias de antigüedad y a pesar de lo rudimentario que es, aún no ha sido reemplazado y es de esperar que se utilice todavía por largo tiempo. En esencia, consiste en un cilindro recto, de sección conocida, con un borde agudo horizontal (boca) y un dispositivo para recoger el agua (colector).

Generalmente la parte de la boca tiene un borde hecho de material resistente a la intemperie. Suele consistir en un anillo biselado y cortante, de latón o bronce, por ser materiales suficientemente rígidos, como para que la superficie receptora se mantenga constante e inalterable a la intemperie para que no se deforme o corra; su finalidad es evitar salpicaduras y que la gota que cae en el borde quede partida, yendo dentro sólo la parte interceptada por la boca.

El colector tiene una cámara de aire alrededor para evitar que se caliente el agua recogida y disminuir la evaporación. Debe tener poco contacto con el aire exterior. [3]

1.2.2 Tensiómetro

Este es un dispositivo que sirve para determinar la humedad en el suelo indica la tensión con que el agua está adherida a las partículas del suelo. Es uno de los métodos usados para indicar, en forma relativa, si en el suelo existe suficiente humedad disponible para el crecimiento de las plantas. Los cambios que ocurren en el espesor de la capa (película) de agua que rodea las partículas del suelo alteran la tensión del agua en el mismo. Estos cambios se expresan en fluctuaciones de tensión de la humedad en el suelo. En la práctica, el tensiómetro mide los rangos de humedad de suelo bajo las cuales las raíces de las plantas absorben activamente el agua.

Los componentes principales del tensiómetro son: tubo plástico, copa de cerámica porosa, tanque de reserva, indicador de succión. La capa de cerámica porosa es una de las partes más importantes del instrumento. Esta debe tener un buen contacto con el suelo. El agua del suelo, o la que está dentro del tubo plástico del tensiómetro, se mueve a través de los poros de la copa de cerámica. Al instalarse el tensiómetro, el líquido en la copa entra en contacto con el agua retenida en los poros del suelo, fluyendo en ambas direcciones a través de los poros, hasta llegar a un equilibrio.

Según se va secando el suelo pierde humedad y absorbe el agua de la copa de cerámica a través de sus poros. Como resultado, se crea una tensión negativa o succión en el sistema la cual sigue aumentando gradualmente según el suelo continúa perdiendo humedad. Esta tensión negativa se mide haciendo uso de un indicador de tensión. Cuando el suelo se humedece nuevamente, ya sea por lluvia o por riego, la tensión disminuye al fluir el agua del suelo a través de los poros de la copa de cerámica. Las lecturas del tensiómetro pueden relacionarse con la cantidad de agua disponible a las plantas pero no puede utilizarse para determinar el contenido de agua en el suelo. [4]

1.2.3 Piezómetros

Son dispositivos que permiten medir la presión de poro positiva in-situ, se instalan en el interior de la masa de suelo. Existen varios tipos de piezómetros, de entre los que pueden distinguirse tres grupos principales: de tubo abierto, neumáticos y electrónicos. Líneas abajo se hablará un poco más sobre los piezómetros eléctricos.

Los piezómetros generalmente se colocan dentro de un bulbo poroso confinado en su base y lateralmente por el propio suelo, y en su parte superior, mediante un sello formado artificialmente. Este método de instalación permite que los piezómetros sólo respondan a la presión del agua que se transmite al bulbo poroso en el que se aloja el dispositivo de medición, y no a presiones de agua correspondientes a otras elevaciones. El sello impide la comunicación del dispositivo con el agua que se puede acumular en la perforación realizada para su instalación.

Piezómetros eléctricos: Tienen una muy rápida respuesta a los cambios de presión en el agua, ya que los cambios volumétricos asociados son despreciables. Las deformaciones del diafragma funcionan como elemento de medición de la presión en el agua. Para ello se colocan o integran strain gages al diafragma, ya sea resistivos o de cuerda vibrante. Así pues, las deformaciones del diafragma están proporcionalmente relacionadas con los cambios de la presión que ejerce el agua sobre el diafragma, lo que se conoce mediante la respectiva calibración.

La señal de los strain gages se transmite a un equipo portátil de medición de microdeformaciones, la que se muestra digitalmente en pantalla. Desde luego la señal de estos sensores pueden ser monitoreados por un sistema automático de adquisición de datos, enviando incluso a distancia esa señal. Como todos los piezómetros, los sensores electrónicos se colocan en el fondo de una perforación previamente realizada. El cable eléctrico con los conductores necesarios de excitación y respuesta se conducen hasta la superficie, donde se conectan a la unidad portátil de registro, o al sistema de registro.[5]

1.2.4 Inclínómetros

Dispositivos que permiten detectar con precisión la profundidad de los movimientos laterales del terreno respecto a un eje vertical. Consiste en una sonda electrónicamente instrumentada que registra las inclinaciones a diferentes profundidades en el plano vertical por donde pasan unas guías. Esta técnica requiere la perforación de un pozo de 4" de diámetro a lo largo del cual se instalan tubos de inclinómetro de 3" de diámetro, los cuales cuentan con cuatro guías por su interior diametralmente opuestas, y perpendiculares entre sí. Al interpretar las inclinaciones que se registran entre los apoyos de la sonda, los que conservan una separación constante, es posible definir la configuración que adquiere ese tubo a esa profundidad. Las diferencias entre las configuraciones que se registren en posteriores mediciones respecto a la inicial (usualmente no vertical), nos proporciona el desplazamiento lateral a la fecha, en el plano y a la profundidad correspondientes.

Para la toma de lecturas la sonda del inclinómetro se introduce en dos ocasiones, una por cada par de guías. En cada inmersión a lo largo de los tubos se realiza un barrido de lecturas que generalmente se hacen de abajo hacia arriba, y a cada 50 cm. En la mayoría de los casos los tubos de inclinómetro se fabrican de PVC y en tramos de 1.5 ó 3 m, aunque en nuestro país también se usan de aluminio. Cada tramo se une con un cople de 20 a 30 cm de longitud, mediante una conexión rápida, o bien con remaches que se efectúan en el campo.

La profundidad a la que se registra una inclinación se determina haciendo acompañar a la sonda de inclinómetro con una cinta métrica metálica, o bien marcando esas distancias en el cable de soporte y de señales electrónicas. Desde luego, la profundidad a la que se instalen los tubos, debe ser suficiente para detectar la posición de la superficie potencial de falla. Durante la instalación de los tubos de inclinómetro se debe procurar que el fondo quede perfectamente fijo en la masa de suelo, lo que permitirá referenciar los movimientos laterales del terreno respecto a la base fija. Ello requiere a su vez que el terreno en el que se fije la base de los tubos sea estable. [5]

1.2.5 Acelerómetros

Un acelerómetro es un instrumento para medir la aceleración de un objeto al que va unido, lo hace midiendo respecto de una masa inercial interna, es decir, mide la fuerza de inercia generada cuando una masa es afectada por un cambio de velocidad. Esta fuerza puede variar: la tensión de un muelle, la deformación de un elemento, la frecuencia de vibración de una masa.

Existen diferentes tipos de acelerómetros, los hay mecánicos, capacitivos, piezoeléctricos, piezoresistivos y micromecánicos (MEMS). La elección del tipo de acelerómetro depende de la aplicación. Ahora bien, sismos intensos suelen ser desencadenadores de inestabilidad de laderas. El monitoreo sísmico con fines de alertamiento ante flujos o deslizamientos de laderas no es factible. El tiempo que transcurre entre una acción sísmica severa y una posible inestabilidad (que ocurre cerca de la aceleración máxima) imposibilita cualquier reacción de la población. Por ello, sólo puede orientarse la instrumentación sísmica de una región, en este orden de ideas, para analizar la estabilidad de laderas y evaluar el riesgo ante un escenario sísmico. Para realizar tal evaluación deberán considerarse no sólo los posibles registros recientes, sino también la sismicidad histórica de la región. De aquí surge la importancia de contar con información fidedigna de registros acelerográficos en nuestro país. [5]

1.2.6 GPS

GPS (Global Positioning System) es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.

Para la obtención de coordenadas el sistema se basa en la determinación simultánea de las distancias a cuatro satélites (como mínimo) de coordenadas conocidas. Estas distancias se obtienen a partir de las señales emitidas por los satélites, las que son recibidas por receptores especialmente diseñados. Las coordenadas de los satélites son provistas al receptor por el sistema. [6]

1.2.7 Sistemas automáticos

La mayoría de los sistemas que actualmente están bajo desarrollo o implementados permiten no sólo medir las variables con las que se caracteriza una ladera activa, lo que se realiza comúnmente de manera manual con equipo portátil, sino de hacerlo automáticamente e incluso transmitir esos datos a un sitio remoto. Estos sistemas adquieren datos los cuales son procesados para predecir la ocurrencia de un disparo del fenómeno, y están ligados a una alarma o sistema precautorio, tienen la capacidad de reunir y procesar de manera selectiva los

datos. La fiabilidad de estos sistemas reside sin embargo, en la precisión de la predicción del movimiento o no, lo que exige estudios adicionales y mejoramiento en las técnicas de toma de decisiones de expertos automáticos bajo diversas condiciones de sitio.

En lo que respecta a movimientos de terreno o laderas activas, los resultados del monitoreo se utilizan para evaluar el grado de avance del mismo. En general, los deslizamientos muestran varias etapas de desarrollo, desde una etapa temprana en la que se distingue una acumulación de los materiales en movimiento; en la secundaria, cuando se tiene movimiento constante y se observa la aparición de grietas, y la etapa final cuando el movimiento es mayor por lo que las grietas se expanden. Las medidas por adoptarse en cada etapa son también diferentes; en la primer etapa debe ir aumentando el monitoreo, en la segunda etapa se debe cerrar el acceso a esa zona, y en la etapa final se debe ordenar la evacuación de la población.

Los sistemas con cierta automatización de monitoreo pueden clasificarse como: semiautomáticos y totalmente automáticos. [5]

Sistema semiautomático

El sistema semiautomático se usa en casos donde el análisis constante de los datos no siempre es necesario, dependiendo de la frecuencia de las mediciones, la estabilidad de la ladera o talud. Los datos de los sensores o transductores se colectan y almacenan en adquirentes de datos automáticamente en o cerca del sitio, y se “vacía” su información mediante computadoras portátiles; el análisis de los datos es conducido a posteriori por otro sistema. Casi todos los transductores son capaces de integrarse a un sistema automático de monitoreo, aunque por lo mismo deben ser de tipo eléctrico. [5]

Sistema totalmente automático

Con un sistema totalmente automático es posible reconocer el estado del movimiento masivo fácilmente en una emergencia, monitoreándolo de manera segura, ahorrando tiempo y costo en su operación; desde luego, su costo inicial es mayor, al tenerse que agregar un sistema de transmisión que incluye modems y líneas telefónicas; o bien, radio transmisores y receptores, antena, etc. El sistema está compuesto fundamentalmente de sensores, comunicación entre los instrumentos y una caseta de campo, y otro enlace entre ésta y una oficina o centro de observación. En la caseta se hace propiamente el monitoreo, congregando los datos de los diversos sensores, y el centro efectúa el procesamiento de los datos y su análisis global. Un ejemplo de este tipo de sistemas es el implementado en la prefectura de Oita en Japón. El sistema tuvo por objetivo establecer un sistema experto para predecir la ocurrencia de un posible deslizamiento en una ladera, introduciendo en el sistema el saber cómo de expertos y entrenados ingenieros, a fin de formar una base inteligente. La confiabilidad del sistema para predecir el colapso fue estimado con base en los datos acumulados desde el inicio del corte, al inicio del movimiento y finalmente en su proceso hacia su colapso final. Los factores para el análisis del sistema son la deformación del talud, los niveles piezométricos subterráneos, la lluvia, etc. De éstos, reconocen que la deformación es el factor más significativo. Este sistema experto exhibió una gran precisión al predecir el colapso, con una diferencia de 1 a 2 horas.

En los Estados Unidos de América se lleva a cabo el monitoreo en tiempo real de un número considerable de deslizamientos. Frecuentemente éstos se mueven lentamente, pero algunos tienen el potencial de colapsarse catastróficamente. Así, para ayudar a reducir el riesgo

que poseen estas laderas, el U.S. Geological Service (USGS), en cooperación con otras agencias, actúa con prontitud para proveer el monitoreo continuo en tiempo real, para lo que recurre a sistemas desarrollados por esa misma institución para monitorear volcanes activos en áreas remotas. En nuestro país se ha ganado una gran experiencia con el monitoreo del volcán Popocatepetl, y sin duda, las técnicas ahí puestas en práctica podrían aplicarse para el monitoreo de laderas con alto riesgo a la población. [5]

Otros tipos de sensores orientados a la automatización

Los desarrollos hechos actualmente para el monitoreo de las laderas tienen un costo mayor que las técnicas convencionales, aunque son preferibles en términos de la gran cantidad de información que pueden adquirir, incluso bajo condiciones peligrosas, en las que ya no podrían acceder a la zona los miembros de una brigada de monitoreo. Se ha descrito líneas arriba los equipos automatizados relativamente más usados, sin embargo, no se ha abundado en los sistemas desarrollados más recientemente. Como la finalidad de este trabajo no consiste en ser exhaustivos en los sensores actuales, se mencionarán sólo algunos de éstos y su objetivo:

- Videocámara fija y sensores ultrasónicos para medir la velocidad superficial de flujos y avalanchas de detritos.
- Sismógrafos para registrar la vibración del terreno, a fin de estimar volúmenes y velocidades de descarga de avalanchas.
- Celdas de presión total para medir el esfuerzo en la base de una garganta, por la que potencialmente fluirá una masa térrea.
- Sistemas de geoposicionamiento integrados en masas potencialmente en movimiento, para su seguimiento a distancia. [5]

Los resultados de los sistemas de monitoreo ya implementados, algunos de ellos mencionados anteriormente, indican que hay periodos de tiempo confiables para realizar el monitoreo, tales como:

- Al final de un periodo seco prolongado, cuando las presiones en el agua se encuentran en un mínimo (esto es, estabilidad de ladera en un máximo).
- Siguiendo un evento o una serie de eventos de lluvias intensas, cuando la presión en el agua alcanza un máximo (es decir, cuando la estabilidad de la ladera en un mínimo).
- Durante un evento de lluvia significativa, cuando la distribución de la presión en el agua se encuentra en transición.

Con esto, podemos entender que el factor predominante causante del movimiento en las laderas es la lluvia, por lo tanto, podemos establecer esta relación directa:

Historia de precipitación ←-----→ Ocurrencia de deslizamientos de suelo.

Los sistemas que han logrado obtener resultados para caracterizar una ladera y que no son automáticos han sido implementados totalmente en trabajo de campo, donde los investigadores cargan con el equipo y realizan visitas rutinarias a la zona para recavar los datos, teniendo que dedicar mucho tiempo y esfuerzo en esta labor. Como ejemplo de esto tenemos a la ciudad de Tuxtla Gutierrez, Chiapas, donde actualmente se está usando un equipo GPS para realizar barridos de la zona tomando lecturas de la posición satelital de

testigos colocados a nivel del suelo y las comparan en el tiempo para ver si existen variaciones representativas que indiquen un grado de inestabilidad.

Sin embargo, los sistemas automáticos son los más ideales para este trabajo, ya que reducen el tiempo de adquisición de datos, evitan que los expertos deban permanecer en campo para realizar las mediciones y el análisis de la información se lleva a cabo más rápido. El problema de los sistemas que se usan hoy en día es el costo de su implementación, es por ello que se requieren sistemas que tengan además de las características ya descritas, sistemas de bajo costo, es decir, que estén al alcance de los habitantes de las zonas más afectadas, que por lo común, son de bajos recursos económicos. Por lo tanto de la información recabada hasta el momento, los requerimientos del sistema son los siguientes.

1.3 Requerimientos del sistema

El sistema debe estar enfocado a dar respuestas acerca de las variables representativas y de sus efectos.

El diseño debe adecuarse a las condiciones del lugar donde será implementado, es decir para una ladera activa con habitantes en ella, al periodo de medición previsto, al rango de valores esperados, y la precisión requerida en las mediciones. Otro lineamiento muy claro que debe respetarse es que los instrumentos más convenientes sean los más simples ya que cuanto más complejos, su posibilidad de falla aumenta y se hace más difícil su mantenimiento o eventual reemplazo. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que los sensores actuales son de costo elevado, y que los recursos económicos son siempre restringidos e incluso, usualmente los recursos humanos disponibles se presentan en proporción inversa al grado de sofisticación de los instrumentos.

El diseño de un sensor de estas características requiere conocimiento, buen juicio, comprensión del problema, paciencia e imaginación. Exige realizar una investigación de cómo funciona una ladera y de cómo eventualmente pudiera fallar. Sólo así será posible seleccionar convenientemente las características y el tipo de instrumentos y definir en qué posición ubicarlos. Deberá también respetarse un principio básico de toda medición geotécnica, en el sentido de buscar que la presencia del propio sensor no altere las variables que está midiendo; esto es, que el sensor no genere una discontinuidad o que se convierta en un agente perturbador dentro de una masa de suelo.

Por lo tanto, los requerimientos para el sensor de laderas, son los siguientes:

- Monitoreo ininterrumpido.
- Oculto o adaptado en el entorno.
- Brindar una ventaja de tiempo antes de que ocurra el fenómeno de deslizamiento.
- Reducir los costos de monitoreo de laderas activas.
- No requerir expertos para su uso, sólo para su puesta en marcha.
- Mecánico y Electrónico.

Aplicaremos la metodología TRIZ con la cual podremos obtener una solución innovadora, teniendo en cuenta varios aspectos tanto naturales como por influencia humana, los sistemas existentes y los recursos con los que se cuenta.

II Diseño Conceptual

2.1 Metodología TRIZ

TRIZ es el acrónimo en ruso de la Teoría de Resolución de Problemas Inventivos. Según la investigación del método TRIZ, no todas las invenciones son igual en su valor inventivo, esto fue descubierto gracias a Genrikh Altshuller (1926-1998) que hizo una investigación entre patentes que revelaron que aún cuando todas eran innovaciones que por ende fueron patentadas, no todas tenían el mismo valor inventivo. TRIZ maneja cinco niveles o categorías de innovación que se desprendieron de la investigación, dos de ellos son de interés:

Nivel 1: Mejora sencilla de un sistema técnico. Requiere el conocimiento disponible dentro de un sector comercial correspondiente a ese sistema.

Nivel 2: Invención que incluye la resolución de una contradicción técnica. Requiere conocimiento de las diferentes áreas dentro de una industria relevante para el sistema.

Nivel 3: Invención que incluye la resolución de una contradicción física. Requiere conocimiento de otras industrias.

Nivel 4: Una nueva tecnología desarrollada que contiene una solución innovadora que requiere el conocimiento de diferentes campos de la ciencia.

Nivel 5: El descubrimiento de un fenómeno nuevo y sustancias.

Para el diseño del sensor, los niveles de innovación objetivo serán los niveles 2 y 3 por lo que se requiere resolver las contradicciones que existen en el sistema, tanto técnicas como físicas, cabe mencionar que la metodología TRIZ se especializa en la resolución de problemas de esta naturaleza por ello que fue elegida como guía en la realización de este trabajo. [A]

En esta parte se describe brevemente en qué consisten las contradicciones técnicas y físicas:

C. Técnica: Conflicto entre las características dentro de un sistema cuando la mejora de un parámetro del sistema provoca deterioro de otro parámetro, ejemplo (potencia de motor vs peso del motor).

C. Física: Conflicto entre requisitos físicos mutuamente excluyentes, ejemplo (Un material que sea duro pero que no sea frágil).

La siguiente información se recaudó para hondar más en la problemática del sistema a fin de que se comprenda mejor el objetivo del proyecto. La información se recopiló usando el cuestionario tecnológico propuesto por TRIZ.

2.2 Cuestionario tecnológico ISQ

1.- Información acerca del sistema.

a) Nombre: **Sensor de laderas.**

El sistema ideal, brindaría una ventaja de tiempo mediante una alarma que avisara a los habitantes sobre el grado de inestabilidad de la ladera para que así pudiesen desalojar la zona antes de algún desplome que pudiese terminar con su vida. Sin embargo, estimar un intervalo de tiempo preciso sobre la ocurrencia de este fenómeno es complicado y conlleva un algoritmo sofisticado que determinará con suficiente confiabilidad el momento ideal para desalojar la zona de peligro, por lo que este proyecto, solo se enfocará a la parte del sensor encargado de la detección, registro y comparación de alguna magnitud física que brinde una característica de la ladera. Dependiendo de los resultados se evaluará la posibilidad de medir más de una variable presentes en una ladera activa.

b) Función primaria del sistema: **Comparar la posición de un objeto en el tiempo.**

2.- Estructura presente y deseada.

-----DESEADA-----

- Ladera habitada (sobrepoblada).
- Sensor.
- Computadora para almacenamiento de datos y análisis de los mismos.
- Usuario (Habitantes de la ladera).

-----ACTUAL-----

- Ladera habitada (sobrepoblada)
- Testigos (Tubos de pvc de 30 y 40 cm relleno de cemento, con un clavo incrustado en el centro).
- Sensor (GPS ProMark, Magellan)
- Computadora para descargar, almacenar y comparar los datos.
- Operador (se requieren al menos dos)

El **supersistema** se acotará a los factores naturales y no naturales (fenómenos naturales, actividad humana) en torno a la ladera activa, ya que todos estos factores son agentes externos a nuestro sistema principal y sin embargo, interactúan con el.

Los **subsistemas** son la carcasa o protector de los sensores y el suministro de energía.

El **sistema principal** contempla como elementos a los sensores y el algoritmo encargado de traducir los datos colectados. Este sistema es el que importa para nuestro diseño ya que es la configuración que se encargará de realizar la función principal del sistema.

3.- Funcionamiento del sistema actual.

A continuación se explica cómo trabaja el sistema actual, recordando que se trata de un equipo GPS llamado ProMark, mientras se realiza la función principal y cómo interactúan los subsistemas y los elementos entre ellos.

También es necesario recordar que la función principal es *comparar la posición de un objeto en el tiempo* para prevenir a los pobladores ante un deslave.

2.2.1 Descripción del sistema actual

Sistema ProMark

El ProMark es un sistema GPS completo que ofrece levantamientos de precisión, recogida de entidades SIG (Sistema de Información Geográfica)¹ y navegación. Incluye dos receptores GPS, antenas GPS y todos los accesorios necesarios para ponerse en marcha y conseguir datos.

Levantamiento

El sistema ProMark utiliza trípodes estándar o trípodes GPS de altura fija para colocar componentes del sistema sobre un determinado punto de levantamiento (testigos). El receptor ProMark recoge señales emitidas por satélites GPS y almacena esta información en su memoria interna de semiconductores o en una tarjeta SD (libreta electrónica Security Digital). Los datos recogidos se transmiten desde el receptor ProMark mediante un cable a un ordenador para su posprocesado.

El sistema ProMark funciona en conjunción con GNSS Solutions², el programa de posprocesado GPS altamente automatizado de Magellan Navigation.

Artículos incluidos con el ProMark

Cable USB

El cable USB se emplea para conectar el ProMark a un ordenador de oficina a través del módulo de E/S del ProMark. Para esta conexión, debe utilizar el puerto USB mini, y no el puerto receptor USB.

¹ SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión. (NCGIA, 1990).

² El posprocesado de GNSS Solutions consigue resultados óptimos a partir de cualquier combinación de datos estáticos, estáticos rápidos o cinemáticos. El software permite trabajar con un amplio abanico de aplicaciones, y es capaz de manipular datos de tiempo real y de posproceso en el mismo proyecto, lo cual amplía los horizontes para los topógrafos. Es un completo paquete de software fácil de usar que administra y procesa datos GPS brutos, derivando datos de posicionamiento preciso y presentando los resultados en informe de fácil comprensión.

Cargado/Adaptador CA

Este dispositivo se utiliza para suministrar alimentación al ProMark desde la red de CA. Si hay una batería interna introducida en la unidad ProMark, este dispositivo proporcionará también corriente para cargar la batería (la carga de la batería será controlada por la unidad ProMark).

Antena GNSS externa

La antena GNSS externa es necesaria para funciones de levantamiento de precisión. La antena GNSS externa es el punto físico de recogida de los datos satelitales GNSS brutos. Por este motivo, se debe colocar cuidadosamente sobre el punto que se va a levantar, empleando un trípode estándar o un trípode GPS de altura fija.

Cable de antena externa

El cable de antena externa conecta el receptor ProMark a la antena externa. El extremo pequeño del cable, con una clavija en ángulo recto, se conecta al ProMark. El extremo más grande del cable se enrosca en la antena externa.

Soporte de receptor de campo

El soporte para receptor de campo sirve para montar el receptor ProMark sobre un trípode.

Bolsa de transporte

La bolsa de campo se emplea para transportar los componentes de un sistema receptor ProMark de la oficina al campo. [8]

CD GNSS Solutions

El software GNSS Solutions proporciona las herramientas necesarias para descargar y procesar los datos de los satélites GPS de cada receptor ProMark para generar posiciones relativas de todos los puntos levantados. Estos artículos le permiten colocar firmemente la antena GPS sobre el punto de levantamiento o el emplazamiento de la estación a una altura evaluable desde el suelo.

Nota: Se ha explicado detalladamente los elementos y funciones del equipo ProMarck debido a que es el sistema que actualmente esta en uso en una ladera de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas y servirá como referencia para el diseño de nuestro sensor al ser la competencia más directa.

El equipo descrito anteriormente trabaja obteniendo las coordenadas de los testigos colocados sobre la ladera, los cuales, como esta descrito en la parte de la estructura presente, son tubos de material PVC con longitudes de 30 y 40 cm y 10 cm de radio rellenos de cemento, con un clavo incrustado en el centro de la superficie, como puede verse en la figura 1. Dichos testigos están enterrados a nivel superficial de tal manera que la zona donde esta incrustado el clavo queda en la superficie y sirve como referencia para que el equipo ProMark, una vez calibrado, tome lecturas de las coordenadas de cada punto en particular.



Fig. 1 Testigos en ladera

Los testigos están distribuidos en toda la zona colocados en cada esquina de la ladera, de manera que no interfieren con la vida diaria de los pobladores, la distribución de los 50 testigos puede verse en la figura 2.



Fig. 2 Distribución de testigos en ladera, La Cueva del Jaguar y Lomas del Oriente, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

El sistema esta constituido por dos antenas, una de base y otra móvil; la antena móvil se coloca sobre cada testigo distribuido sobre la ladera y la antena base se coloca en un punto fijo lejano a la zona inestable. La antena base tiene coordenadas fijas obtenidas de un punto el cual no cambia su posición catalogado así por el INEGI. Cuando se va a realizar un barrido de los testigos sobre la ladera, es decir, tomar lecturas de su posición, lo primero que se hace es activar la antena base debido a que es la referencia en tierra de las mediciones porque las dos antenas están ligadas, es decir, con cada testigo se levanta una línea de control azimutal. Una vez capturados los datos de la antena móvil, la información se transfiere al programa *GNSS Solutions* dónde se ingresan las coordenadas de la antena base para corregir los errores que se presenten.

Enseguida se enlista el orden de como se desarrollarían los eventos en caso de peligro, esto permite apreciar cómo interactúan el supersistema y los subsistemas con el sistema principal.

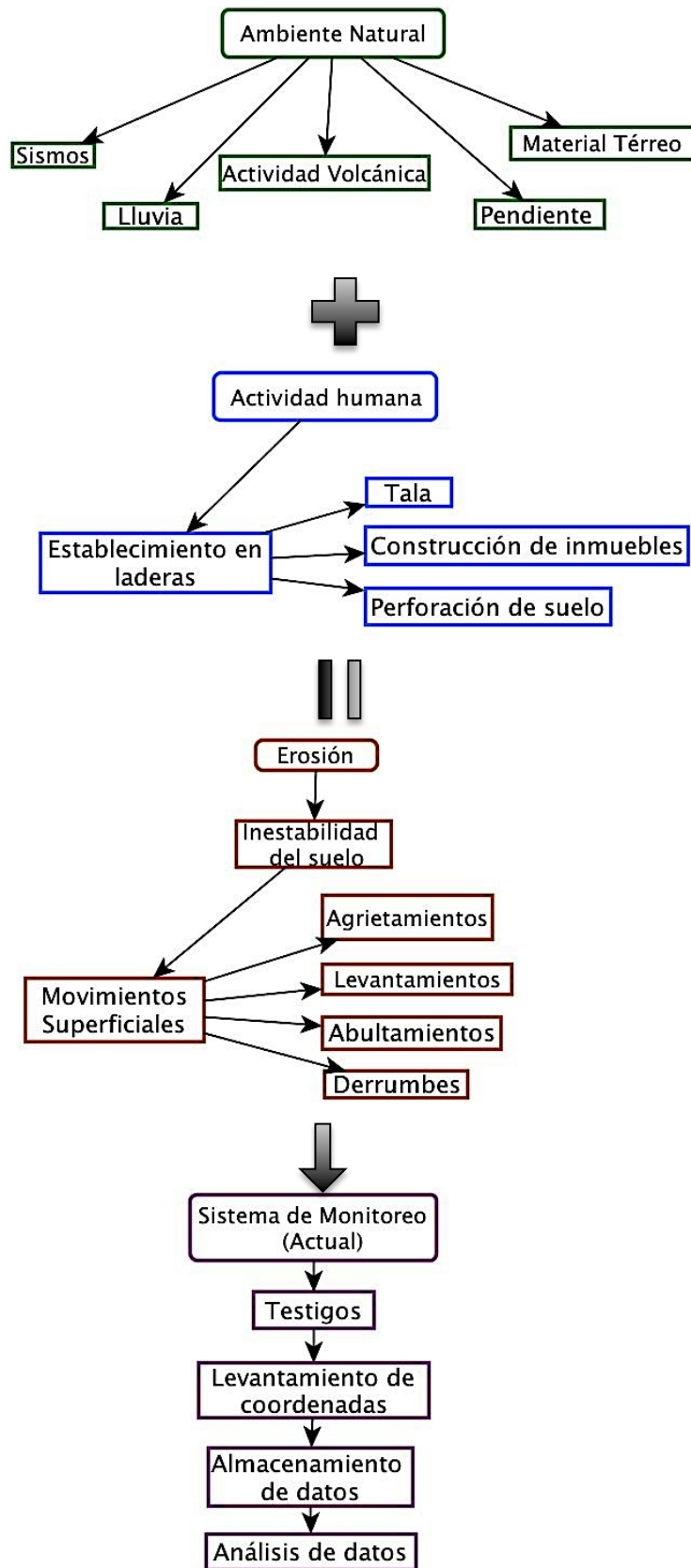


Fig. 3 Diagrama del desarrollo de los eventos del fenómeno

4.- Descripción del entorno del sistema.

El subsistema que interactúa directamente con nuestro sistema principal es precisamente la ladera, ya que el dispositivo de campo estará a nivel del suelo. El comportamiento y naturaleza de esta resulta benéfica y a la vez un peligro para el sistema principal, ya que por un lado le brindará el parámetro a medir por el sensor, y sin embargo, representa una amenaza ya que cualquier contacto directo con el exterior puede afectar los dispositivos internos del sistema o reducir su vida útil.

Enlazado a lo anterior, están las personas, que viven sobre la ladera, convivirán directamente con el sistema principal, esto resulta perjudicial ya que puede causarles curiosidad el funcionamiento del sistema y podrían desenterrarlo o en el peor de los casos, puede parecerles algo valioso en el mercado lo que incitaría al hurto de los equipos.

Los autos particulares o autos pesados, también interactúan con nuestro sistema principal aunque de manera más indirecta, al pasar por los caminos, nuestros sensores podrían detectar el paso de los autos y registrarlo, esto resulta benéfico por que sería un indicador de que el sistema funciona bien, siempre y cuando, los sensores no sean aplastados.

Elementos que forman parte del supersistema, como la lluvia, también entran en juego con el sistema. La humedad siempre afecta los equipos electrónicos, de ahí la importancia de diseñar un buen equipo de protección o aislante para evitar que la humedad dañe los dispositivos. Tanto la lluvia como los sismos o la actividad volcánica son aceleradores de los taludes por lo que representan un factor importante en el funcionamiento del sistema.

5.- Recursos.

Son todas las sustancias utilizadas en el sistema analizado y del medio ambiente.

5.1 Sustancia

Sustancias inagotables: Tierra, aire, agua.

Sustancias del sistema actual: Teodolito, antena GPS, satélites, libreta electrónica, computadora, software, testigos (PVC).

5.2 Campo

Energía en el sistema: energía eléctrica

Energía del ambiente: energía solar.

Desarrollo de plataformas posibles de energía: energía química.

5.3 Funcionales

Espacio contenido en la función primaria: Existen varios sensores comerciales que constituyen un recurso funcional al momento de pensar en posibles soluciones a nuestro problema, por ejemplo, los acelerómetros sirven originalmente para calcular la aceleración de un cuerpo, para nuestro sistema podría ser usado como indicador de desplazamiento de la superficie de la ladera.

Usar efectos dañinos: Los equipos de campo serán protegidos por una carcasa la cual destruirá el contenido (sensores) en caso de que alguien o algo trate de abrirla por la fuerza.

Usar efectos secundarios: Los sismos producen ondas capaces de acelerar un derrumbe, así que podemos usar la información del SAS para alertar con más argumentos a los pobladores en caso de peligro.

5.4 Información

Enviado por una sustancia: La superficie terrestre siempre está en movimiento; la temporada de lluvias (agua) acelera el proceso de inestabilidad, por lo que los registros de precipitación en la zona constituyen un recurso de información al momento del monitoreo de la ladera.

Propiedades inherentes: La circuitería necesita estar constantemente con una fuente de alimentación; el grano de la tierra, busca siempre el equilibrio.

Información móvil: La temporada de lluvias es cambiante, los sismos se presentan de manera inesperada.

Información transferida: Las construcciones sobre la ladera, comienzan a presentar fisuras, grietas e inclinaciones debido al movimiento de la superficie, por lo tanto, es un signo claro de inestabilidad.

5.5 Tiempo

Previo al trabajo: Revisar el estado meteorológico del lugar.

Agendado: Cada año se revisaran las estaciones de campo y se emitirá un diagnóstico de operación.

Opciones paralelas: La alimentación será mediante energía solar, pero se almacenara en una batería para cuando llueva, sea de noche, etc. Los datos obtenidos pueden irse comparando con los del equipo GPS ocasionalmente para asegurar el buen funcionamiento y calibración del sistema.

Posterior al Trabajo: Se revisaran los datos guardados en la central de registro para ver que todas las estaciones estén funcionando. Se compararan los datos obtenidos con los del GPS y se aplicarán métodos estadísticos para obtener una proyección de movimientos futuros que pudiesen ser un riesgo para los habitantes.

5.6 Espacio

Espacios vacíos: Cerca de los postes de alumbrado público.

6.- Consideraciones

- En una ladera habitan personas que desconocen la teoría del fenómeno (origen, causas, consecuencias) sin embargo, ven sus efectos y conviven con él todos los días por lo que podrían subestimar el peligro al que están expuestos.
- Se siguen construyendo casas sobre el lugar.
- La superficie terrestre esta en constante movimiento.
- El equipo que se vaya a implementar, debe ser lo más económico posible para que esté al alcance de la población.

- La calibración del sensor debe de contemplar la equivalencia entre movimiento, aceleración, voltaje y distancia.
- Lo ideal es que los testigos estén enterrados ligeramente en la superficie de la ladera, sin embargo, no se sabe si la transmisión de datos se vea afectada por este requerimiento.
- La parte de suministro de energía es un factor primordial, se requiere que el sistema trabaje ininterrumpidamente. Si se llega a elegir una celda solar para el suministro de energía, estas deberán estar colocadas estratégicamente fuera del alcance de los pobladores y con acceso al sol.
- De complicarse mucho el camuflaje de los sensores, se tendrá que hacer una campaña de familiarización con la población para que sean los habitantes quienes cuiden de los equipos.

7.- Mejora al sistema o los inconvenientes.

El sistema que se esta usando actualmente, es decir, el ProMark, demanda mucho tiempo en su uso, además de que es costoso. Las dimensiones de la ladera exigen una gran cantidad de testigos para su monitoreo, por lo que el barrido de todos los puntos se lleva a cabo en un promedio de 2.5 días y se tiene que esperar un promedio de 1 mes para tener nuevos datos y hacer una comparación. Lo que es contraproducente ya que en caso de emergencia no se tendrán los datos comparativos para enviar una señal de alarma por lo que este sistema se tiene que apoyar mucho en extrapolaciones de datos y métodos estadísticos para brindar una aproximación sobre el comportamiento futuro de la ladera.

Por lo tanto, el sistema propuesto a desarrollar tiene como sujeto principal un sensor del cual se conozca su posición constantemente, y que no requiera ir al lugar para obtener los datos, esto exige que se coloque el dispositivo sobre la ladera, y como necesita medir alguna variable de la zona debe estar enterrado a nivel del suelo interactuando directamente con la ladera y desde ahí mandar información constante sobre su ubicación.

Información faltante: Existe incertidumbre sobre cómo se comportaran los sensores a nivel del suelo. Este inconveniente está relacionado con la función principal debido a que podría no tener la resolución suficiente para percibir los movimientos y no sabemos si el sistema de protección logrará evitar que las estaciones de campo se dañen con polvo o por humedad excesiva.

7.1 Efectos negativos típicos

¿Qué acción sería útil, pero está ausente?: Que permitieran colocar estaciones de campo cerca de las casas e incluso en ellas, las construcciones al ser de material solido, hacen más evidente y notorio el efecto del movimiento de la ladera.

Además, que se brindara información a los habitantes sobre la importancia del monitoreo para que respeten y cuiden las estaciones de campo.

¿Qué acción necesaria es ineficiente?: Hablando del sistema actual, medir cada punto es importante para poder caracterizar toda la ladera, sin embargo, demanda mucho tiempo hacer un barrido completo de todos los testigos.

¿Qué acción necesaria está incompleta en su implementación?:

- El envío y recepción de la información proveniente de las estaciones de campo.
- El dispositivo de protección contra el medio ambiente.
- El algoritmo que analizará e interpretará los datos recibidos de las estaciones de campo.

¿Qué factor (acción o resultado) es dañino en el sistema?: La acción de enterrar las estaciones de campo, las deja propensas a muchos daños y peligros si no se protegen de forma adecuada.

¿Qué información está ausente?: Hasta ahora, no tenemos un registro sobre el movimiento de la ladera, datos que evidencien la magnitud del desplazamiento de la ladera en su superficie. Tampoco sabemos la humedad relativa presente en el lugar.

¿El grado de complejidad es muy alto?: El grado de complejidad es adecuado ya que lo que se busca es una integración de tecnologías, no el desarrollo de ellas.

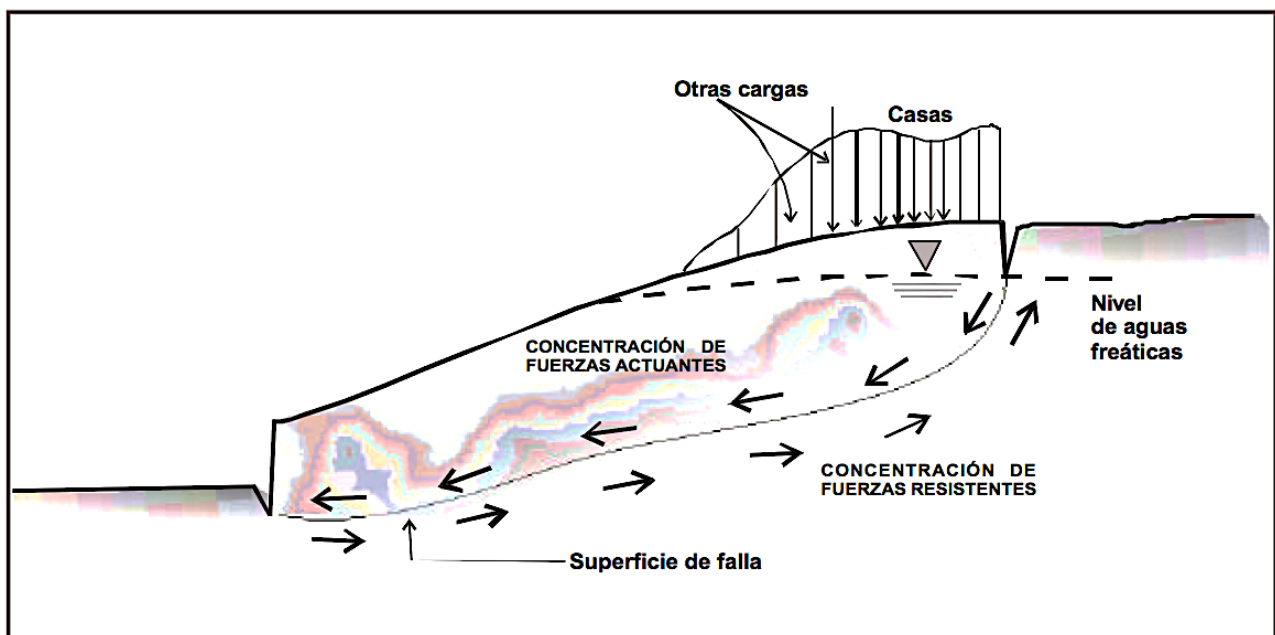
¿Es costo del sistema es muy alto?: Depende de con que se le comparé, los dispositivos no son baratos, sin embargo, si los comparamos con los equipos satelitales que usa el GPS, resulta un sistema de bajo costo.

8.- Historia del problema

2.2.2 Historia del problema

Origen de la falla: La problemática no tiene un solo origen, sin embargo, la acción que genera el problema es que las personas se establezcan en laderas con pendientes grandes, donde además de talar árboles, construyen sus viviendas, caminos, drenaje etc. En pocas palabras, generan desequilibrio. Todo esto sumado a las intensas lluvias y factores geológicos.

Fig. 4 Esquema de factores d inestabilidad según [7]



Cadena de eventos que originaron la falla

De manera natural las laderas tienen un ciclo de escurrimiento y filtrado de agua adecuado, sin embargo, al llegar el hombre e instalarse, tala árboles, aplana una parte de la ladera (hace cortes para emparejar la zona), para construir un hogar, posteriormente, las necesidades de la sociedad demandan caminos, servicios básicos (agua, energía eléctrica, drenaje, escuela, centros de salud etc.) por lo que se talan más árboles, provocando que la tierra comience a erosionarse debido a que la superficie queda expuesta lo que la deja vulnerable al viento, el Sol y la lluvia. Como los ecosistemas buscan el equilibrio, trata de equilibrar los cortes de tierra que hizo el hombre y se presentan los primeros derrumbes, cerca de algunas casas. El agua se acumula en las grietas abiertas por la erosión, durante la noche el agua se congela y actúa como cuchilla que abre más las grietas, aumenta la masa de la ladera debido al agua absorbida más el peso de las construcciones, por otro lado, ya se han presentado varios temblores que aumentan la inestabilidad de la superficie y por ende el movimiento o desplazamiento de la misma, causando fracturas y derrumbes en las casas de los habitantes.

La ladera se encontrará en condiciones estables mientras las fuerzas resistentes sean mayores que las fuerzas actuantes. Las fuerzas actuantes se originan por el peso propio del material térreo que conforma el cuerpo de una ladera y por el peso de cualquier construcción que se coloque en la parte alta de la misma, como por ejemplo: casas, terraplenes usados para construir carreteras, etc. Las fuerzas resistentes son resultado de la fortaleza o resistencia característica de los materiales térreos que conforman las laderas.

Patrón de comportamiento que elimine ese problema: Divulgar la información entre las personas, para que eviten en lo posible, instalarse en laderas y si lo hacen, que traten de mantener el equilibrio natural del ecosistema. Que se realicen estudios del suelo para saber si el terreno tiene las características para soportar una comunidad y de ser así, se establezca el valor máximo de construcciones especificando las zonas donde se pueden realizar.

9.- Cambios permitidos en el sistema

Grado de cambio posible en el sistema: El sistema actual como tal no se puede cambiar, ya que es un sistema comercializado y estandarizado donde no podemos modificar su tecnología. Sin embargo, podemos cambiar el sistema por otro que satisfaga más las necesidades del problema.

Dicho lo anterior, se puede modificar por completo el sistema, recordando los principios básicos que se deben cumplir, como la función principal, los costos, confiabilidad, etc. Así que se debe diseñar un sistema que monitoree constantemente e ininterrumpidamente una ladera activa, que envíe los datos recabados o los guarde, que no le afecte la interacción con el medio ambiente.

Estado actual del sistema: El sistema que se está usando ya se produce en masa y tiene múltiples aplicaciones, es un trabajo simple, sin embargo, demanda mucho tiempo además de que es costoso.

Pérdidas (directas e indirectas) producidos por efectos negativos: El recurso más valioso que se pierde con el sistema actual es el tiempo. En segundo lugar se encuentra el dinero, ya que el equipo es rentado y se cobra por día, sea que este se use o no.

Posibles beneficios o consecuencias positivas: La tecnología satelital esta bien respaldada y permite obtener datos de manera inmediata, ya se tiene el software que analiza los datos por lo que se pueden obtener los primeros resultados que actúan como primeros indicadores del comportamiento de la ladera, resultados que por cierto son valiosos para el diseño del nuevo sistema de monitoreo ya que brinda un punto de comparación.

9.1 Limitantes del cambio

Constantes: Los testigos deben permanecer en la ladera ocultos o con la menor contaminación visual posible; se debe tener un registro de los datos, ya sean en los equipos de campo o en una base de datos fuera de la ladera.

Los equipos de campo pueden guardar los datos, sin embargo, esto podría aumentar las dimensiones de los dispositivos, además de que provocaría que el investigador fuera periódicamente a la zona a recabar los datos almacenados por lo que una mejor opción es enviar los datos a una central de registro lejana a la ladera o en zonas menos riesgosas. El tener un registro de los datos provenientes de los sensores es muy importante para poder realizar la función principal del sistema ya que son parámetros que podremos comparar en el tiempo y hacer evidente un cambio considerable en la ladera o en una zona específica de esta.

Es necesario que los sensores estén ligeramente enterrados en la ladera ya que la recolección de datos será totalmente análoga. Esto exige además de lo anterior, un sistema protector o impermeable que sirva como aislante entre las estaciones de campo y la ladera, sin que esto impida la comunicación con la central de registro. Se deben mantener ocultos por varias razones, es necesario interactuar directamente con la ladera para poder obtener indicadores de su actividad, ya que las variables características de una ladera se encuentran justamente en ella, por otro lado, es una forma segura de tener equipos trabajando sin obstruir la vida diaria de los pobladores, evita la contaminación visual y no llama la atención de curiosos que pudieran dañar voluntaria o involuntariamente el funcionamiento de los sensores. Los testigos, deben estar constantemente evaluando las condiciones de la ladera, como lo que nos interesa es su posición en el tiempo, esto se traduce en enviar o guardar sus coordenadas constantemente. Este requerimiento es necesario ya que si no sucediera así en un caso de emergencia no se lograría alertar a los pobladores, si bien los taludes son un fenómeno que se rige por diversos factores conocidos y parametrizados actualmente, es un evento impredecible que solo proporciona indicios de su existencia más no datos concretos del momento en el que va a suceder.

Debe contar con una fuente de alimentación que provea de energía al sistema para que su trabajo sea ininterrumpido. De no ser así, tendría que obtener energía de la red común, sin embargo, esto agrega incertidumbre al funcionamiento, ya que en fallo energético nuestro sistema quedaría fuera de operación, condición que es indeseable.

Como se puede constatar, en el sistema actual, el sistema Promark GPS brinda las coordenadas en latitud, longitud y elevación de cada testigo (punto) sobre la ladera de tal forma que cuando se presente un deslizamiento, movimiento o vibración que modifique estas

coordenadas es un indicador de inestabilidad, por lo tanto, la variable física que se mide es la de *movimiento sobre la superficie de la ladera*. Para el sistema deseado esto permanecer constante.

No reducirse: La resolución de sensado.

No incrementarse: Los costos de implementación de los equipos, los pasos para obtener los datos no debe aumentar en tiempo, ni en recursos humanos.

Los costos del equipo deben ser lo más económicos posibles, no se puede establecer un límite ya que lo primordial es conseguir la operación plena de la función principal, sin embargo, se debe realizar el diseño sin costos muy elevados, recordando que el sistema esta dirigido a poblaciones con bajos recursos económicos.

10.- Criterios de selección de conceptos

Características tecnológicas deseadas.

Este proyecto, deber ser un integrador de tecnología, tomando en cuenta los recursos con los que se cuenta. Los dispositivos existentes ya realizan gran parte de las funciones que requiere el sistema, se debe de configurar la mejor forma de poner a trabajar en conjunto la tecnología existente resolviendo los problemas de contradicciones.

Características económicas deseadas.

El sistema debe ser accesible, no se sabe a ciencia cierta que tan bajos deben der los costos del sistema, sin embargo se debe tener en cuanta que el sistema esta dirigido a una población de bajos recursos económicos, la zona piloto es la ladera "Cueva del Jaguar" ubicada en Tuxtla Gutiérrez Chiapas, la cual según datos del INEGI tiene es considerada una comunidad de recursos económicos medios.

Grado de novedad esperado.

El grado de novedad oscila en los niveles 2 y 3 de innovación.

Indicar qué se necesita cambiar.

Lo que se debe cambiar es el procedimiento para obtener las coordenadas, actualmente es un trabajo que involucra tiempo y esfuerzo por parte de las personas. El equipo ProMark GPS funciona muy bien, sin embargo solo se puede medir un punto a la vez, lo que lleva a tener que hacer un barrido de toda la ladera varias veces durante un cierto periodo de tiempo para tener datos comparativos y hacer evidente algún cambio en la estabilidad de la ladera la cual tiene una extensión de varios kilómetros. La forma de medición es correcta, pero se debe cambiar el modo de obtención de los datos, cambiar a un método más automatizado, programado y remoto.

Por lo tanto, es necesario que los barridos se hagan rápido y las veces que se quiera e incluso todo el tiempo. Que no se necesite ir a la ladera para tomar los datos, que el sistema siempre este energizado y protegido del entorno.

11.- Historia de intentos de soluciones

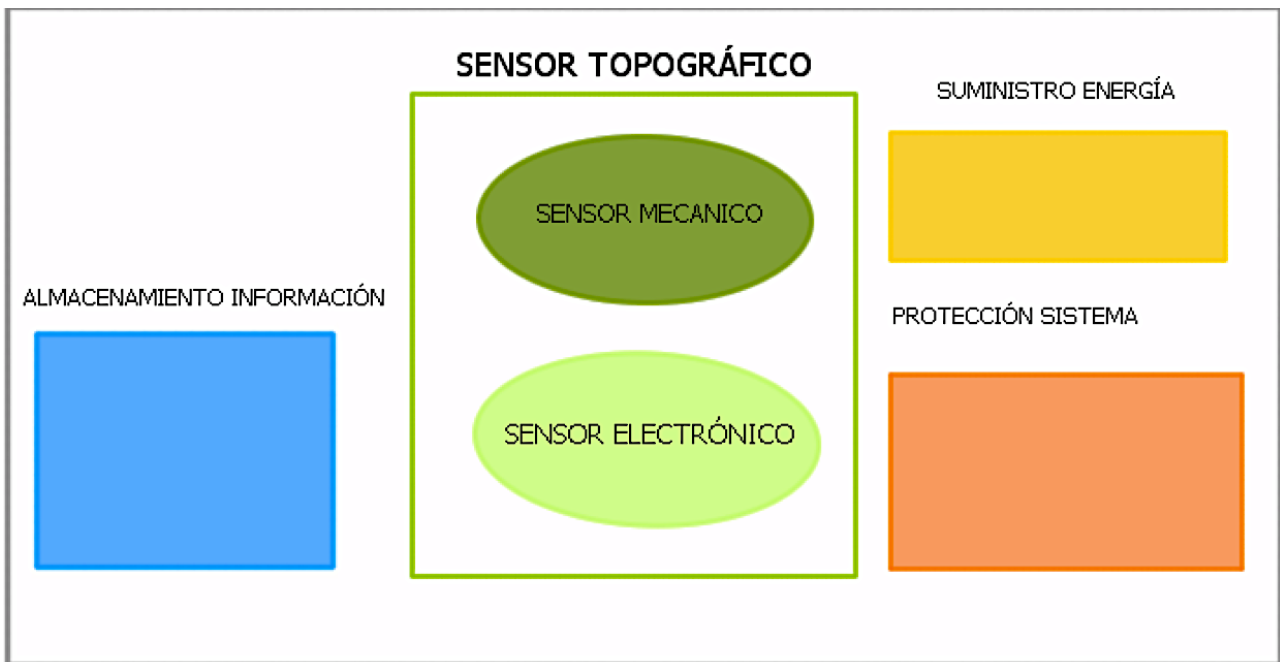
2.2.3 Historia de intento de solución

Con la información que se tenía anterior a la aplicación de la metodología TRIZ, se buscaron formas de resolver el problema bajo los requerimientos establecidos líneas arriba.

El primer acercamiento o intento de solución, vino de aplicar algunas herramientas propuestas en el libro *Diseño y desarrollo de productos* de Karl T. Ulrich, en el cual plantea, entre otras cosas la identificación de las necesidades del cliente, la traducción de las mismas a requerimientos, a partir de los cuales se generarán métricas para luego hacer una selección de conceptos y terminar en la generación de las especificaciones finales, bajo las cuales se puede desarrollar un prototipo funcional para pruebas en el ambiente del usuario y de ser necesario rediseñarlo o bien pasar a las siguientes etapas.

Bajo este contexto, se identificaron cuatro subsistemas que conforman el sistema de monitoreo para laderas activas. El subsistema de almacenamiento de información, el subsistema de sensado, el subsistema de suministro de energía y el subsistema de protección. Ver figura 5.

Fig. 5 Propuesta inicial para monitoreo de una ladera activa.



El subsistema de almacenamiento de información es el encargado de almacenar los datos provenientes del sensor y para la propuesta, existen dos sistemas de almacenamiento de información ya que se propuso utilizar dos sensores, uno mecánico y otro electrónico, ofreciendo lecturas de dos muestras simultáneas de una misma área de estudio tal como lo recomienda CENAPRED, para el primer sensor, es decir, el mecánico, se usa una regleta graduada que conserva su posición mientras el sensor se desplaza sobre ella lo que permite observar la magnitud del desplazamiento, para el segundo se logra a través del disco duro de una computadora portátil.

El sistema de sensores se encarga de adquirir la cantidad de deslizamiento que ha sufrido el suelo, para el sistema propuesto existen dos sensores uno de naturaleza mecánica y otro electrónico, los cuales pueden funcionar en conjunto o separadamente. El sistema de suministro de energía proporciona energía eléctrica DC, en este caso solo opera en caso de que el sensor electrónico esté en funcionamiento. El sistema de protección es el encargado de proteger al sistema en conjunto y se compone de los materiales y geometrías que logran este cometido.

Características del sensor de deslizamiento de suelo propuesto:

- a) Sensor híbrido. Compuesto por un sensor mecánico y uno electrónico que puede trabajar en conjunto o independientes.
- b) Campo de medición de hasta 20 cm en ambos sensores.
- c) Resolución de milímetros en ambos sensores.
- d) Ofrece lectura de dos muestras simultáneas de una misma área de estudio tal como lo recomienda CENAPRED.
- e) El cuerpo del sensor trabaja sin deformaciones con temperaturas ambientales de hasta 90°C
- f) Alta viabilidad técnica. Listo para implementarse en la comunidad, no requiere de altos recursos técnicos y de manufactura.
- g) Poca interferencia con el entorno que se quiere medir

Sensor mecánico

El sensor mecánico no requiere de alimentación eléctrica y permite observar directamente en el sitio donde está localizado la cantidad de desplazamiento que ha sufrido el suelo.

La medición se logra a través de una regleta graduada, que aumenta a medida que el deslizamiento ocurre. Para esto, se usará un mecanismo igual al que tienen los flexómetros actuales, donde la cinta se va enrollando internamente pero la parte que externa permite hacer una medición además de que se mantiene recta.

Obtención de lecturas del sensor mecánico

Las lecturas se obtendrán personalmente al visitar el lugar donde se colocó el sensor de deslizamiento de suelo, para ello se deberá de coleccionar la información respecto al día de la medición y la magnitud del desplazamiento observado en mm.

Sensor electrónico

El sensor de deslizamiento de suelo electrónico hace uso de sensores opto eléctricos, los cuales decodifican la posición de un elemento que guarda relación con la cantidad de desplazamiento que sufre la ladera, es decir, cada vez que se presenta un deslizamiento de la regleta, el sensor registrará un pulso eléctrico por cada cm. Como ventaja de utilizar el sensor electrónico se tiene el hecho de poder programar la velocidad de muestreo, y la obtención inmediata de un análisis estadístico del fenómeno.

Modelo en CAD

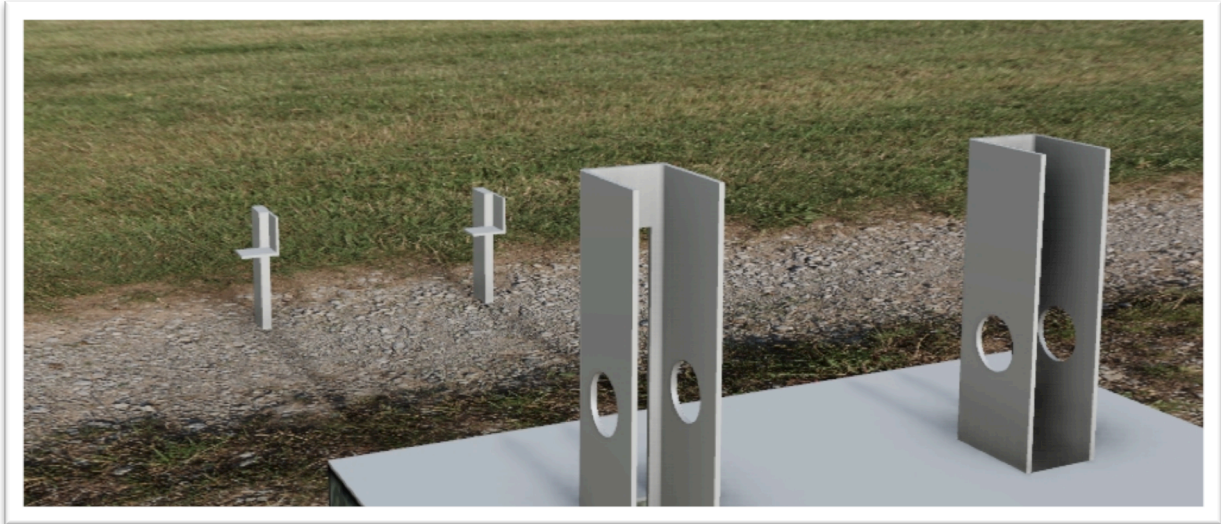


Fig. 6 CAD de propuesta de sensor de desplazamientos

Prototipo

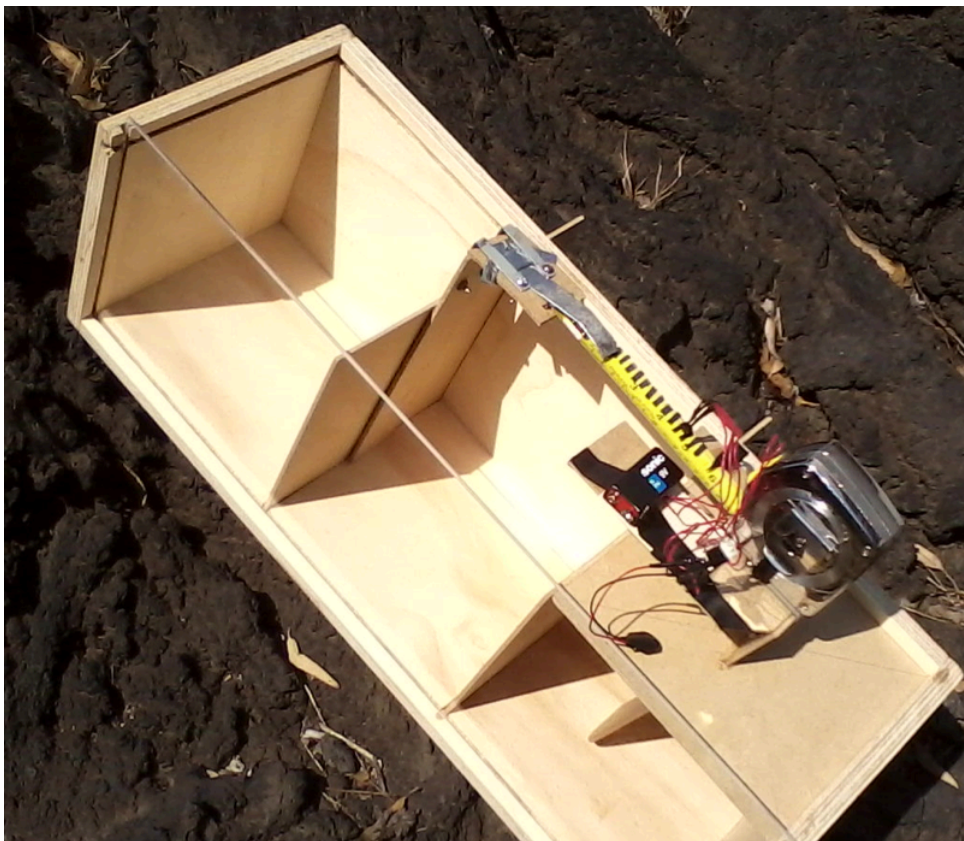


Fig. 7 Prototipo que muestra el funcionamiento conceptual del diseño

Este diseño resultó atractivo en un inicio debido a que mezcla un funcionamiento mecánico y otro electrónico, sin embargo, no satisfacía de la mejor manera los requerimientos ya que era necesario observar directamente el sensor para tomar nota de los desplazamientos registrados en la regleta que brindaba la resolución en mm, por otro lado, el buen funcionamiento del sistema estaba sujeto a su correcta colocación, es decir, se debía hacer un análisis previo y ubicar exactamente las grietas para colocar en los extremos el ancla del sensor y asegurar que se registrarán los desplazamientos, sin embargo, pudiese darse el caso que la grieta sea de dimensiones mayores a las observadas superficialmente y entonces todo el sensor se desplazaría y se perdería la parte fija de referencia para hacer las mediciones.

Por otro lado, el sistema tendría que estar expuesto como puede apreciarse en las figuras 6 y 7, y desde el punto de vista social, pudiese generar curiosidad o intimidación entre los pobladores lo que generaría que maltrataran o destruyeran el equipo.

Durante el proceso de diseño de la primer propuesta se investigaron diversos sensores que sirven para medir desplazamientos no solamente en una ladera y con base a esta información se eligió usar esta configuración, sin embargo, por las razones ya mencionadas el primer acercamiento a la solución del problema no tuvo éxito.

2.2.4 Sistemas con problemas similares

Como se ha estado describiendo, más allá de la aplicación que se dará al sistema, lo que se requiere es detectar el cambio de posición de un punto a otro en el tiempo. Para nuestro caso este cambio de posición a través del tiempo, indicará que se a producido un desplazamiento sobre la ladera, pero existen otras aplicaciones que necesitan conocer el cambio en el tiempo de ciertas características, como por ejemplo, la tasa de crecimiento de una onda para el caso del sistema de alerta sísmico (SAS), ó la variación en la orientación de un teléfono celular para así ajustar la pantalla (Teléfono inteligente).

El sistema de alerta sísmica (SAS) cuenta con sensores capaces de identificar sismos de varias magnitudes y analizar la información para decidir si se trata de un sismo peligroso para la Ciudad de México o no. Una representación muy simple de la configuración del sistema total puede verse en la figura 8.

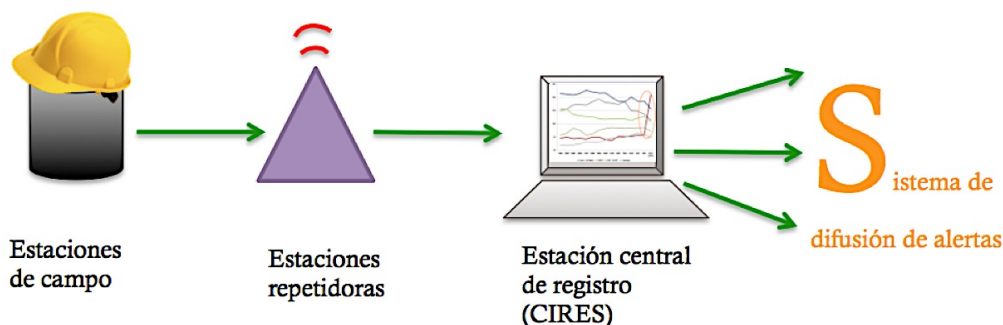


Fig. 8 Diagrama de funcionamiento del SAS

Puede notarse que es una configuración muy parecida a la que necesita nuestro sistema.

- Cada estación de campo, usa 3 sensores de movimiento de la clase acelerómetros, montados en un arreglo ortogonal, capaces de tomar 100 muestras por segundo, en cada canal.
- Cada estación de campo, cuenta con un equipo laptop que evalúa continuamente la información captada localmente por los sensores.
- Cuenta con un algoritmo diseñado para el reconocimiento del patrón de los sismos de esta región, que determina cuando debe enviar un mensaje de la ocurrencia del sismo real, su magnitud, peligrosidad, etc.
- En caso de peligro o protocolo, activa un sistema de radiocomunicación a las estaciones repetidoras que operan en frecuencias ultra altas y cuentan con un receptor y un transmisor de radio, finalmente llega a la estación central de registro, la cual, envía información al sistema de difusión de alertas.

¿Qué parámetros registra el SAS?

Las ondas sísmicas son el principal interés de este sistema, sabemos que hay diferentes tipos de ondas sísmicas que causan diferentes tipos de daños, para poder identificarlas y clasificarlas, el sistema se enfoca en los niveles de energía y la tasa de crecimiento entre las muestras registradas.

Teléfonos móviles inteligentes

Una característica muy interesante en los celulares de hoy en día, es distinguir entre arriba y abajo. Construida dentro de su circuitería, existe un dispositivo muy pequeño que detecta cambios de orientación y avisa a la pantalla que debe rotar.

Qué tienen en común el SAS y los Teléfonos Inteligentes

En ambos casos, usan el acelerómetro como sensor de movimiento. Para el SAS, la configuración de los sensores es ortogonal, lo que podemos ver de manera muy simple en la siguiente imagen.

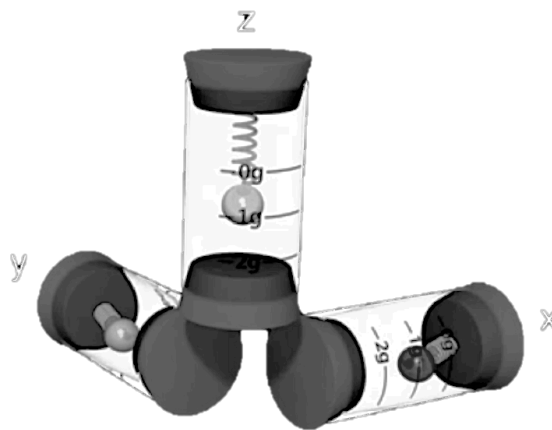


Fig. 9 Los acelerómetros no se tocan pero forman un ángulo recto entre ellos, tomado de [B]

Esta configuración permite sensar en los tres ejes, midiendo la distancia que se mueve la bola o masa de aceleración cuando surge un cambio de orientación.

Para el caso del teléfono celular, la configuración del acelerómetro es un poco más compleja. Dentro de un chip hay un acelerómetro de silicio el cual cuenta con una base unida al celular y una sección parecida a un peine que puede moverse adelante y atrás.

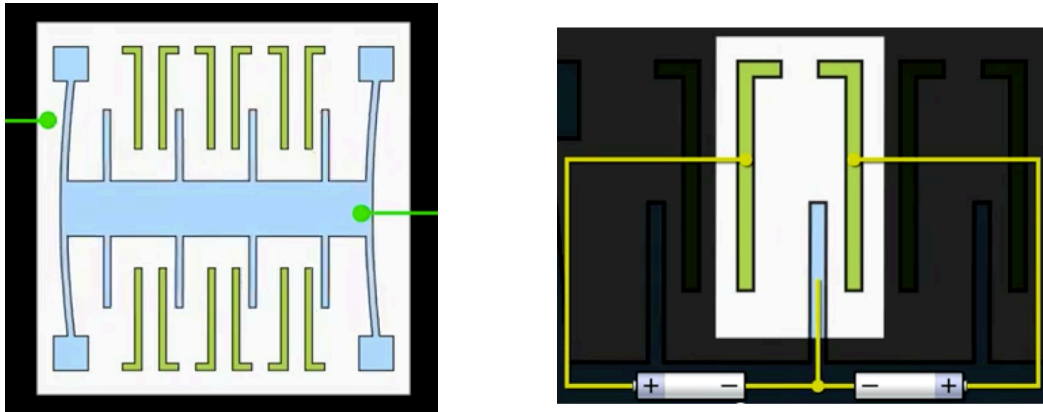


Fig. 10 Acelerómetro tomado de [B]

Para este caso, la relación de aceleración es con respecto al flujo de corriente entre los pequeños capacitores. Lo complejo radica en su fabricación debido a que al tener 500 micras de ancho no hay maquinaria para su fabricación y se manufactura de manera especial. La desventaja podría ser que solo mide en dos ejes, pero podría usarse un segundo chip para el tercer eje.

Lo que se busca resaltar en la breve descripción de estos sistemas es que cada uno de ellos busca la detección del movimiento, el movimiento que se desencadena del cambio de posición de un ente, para el caso del SAS son las ondas sísmicas y para el móvil es el cambio de posición de los dientes de silicio (Figura 10) que provocan una variación en la capacitancia.

Para nuestro trabajo, sería posible utilizar acelerómetros para detectar los desplazamientos superficiales si estos fuesen con aceleraciones lo suficientemente grandes como para ser detectadas por el sistema, pero es evidente, que los movimientos en una ladera aún cuando esta activa y con un grado de inestabilidad alto, se llevan en periodos de tiempo largos en comparación con la explosividad que necesitan los acelerómetros para detectar un cambio, sin embargo, podemos usar una configuración análoga de estos sistemas para nuestro caso como la distribución de los sensores en el sistema SAS, las estaciones repetidoras y la estación central de registro.

En ambos ejemplos se tuvo que generar una referencia a partir de la cual se pueden tomar mediciones, como el caso del teléfono móvil que fija el sensor a la base del celular para tomarlo como referencia y así determinar su orientación, en una ladera inestable será necesario encontrar un punto(s) de referencia para comparar la posición anterior y actual de los testigos así determinar la magnitud de los desplazamientos.

2.3 Sistemas objetivo

Los sistemas objetivo identificados son:

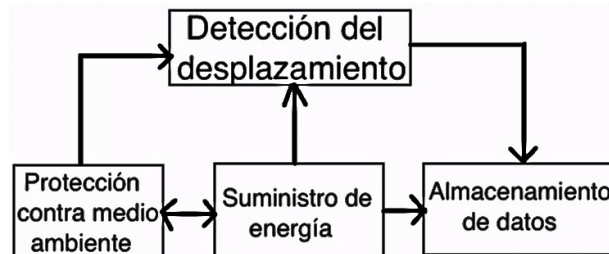


Fig. 11 Diagrama de sistemas

Sistema de protección contra la intemperie

Se encarga de proteger al sistema de depósitos de polvo, de la lluvia, temperatura y de agentes externos como pueden ser insectos, herramientas pequeñas como un desarmador, e incluso de un dedo humano.

Sistema de suministro de energía

Debe proveer al sistema de la energía eléctrica para su funcionamiento ininterrumpidamente.

Sistema de detección

Este sistema, debe determinar el desplazamiento superficial de la ladera, registrarlo, analizarlo y enviar un resultado.

Sistema central de registro (Almacenamiento de datos).

Genera en el sistema una base de datos proveniente del sistema de detección y se encarga de activar o lanzar la señal de alarma en caso de peligro.

El sistema principal formado por los sensores de campo, el receptor de datos y la central de registro, es el encargado de la detección de movimientos que generen deslizamientos en los testigos, cambiando de esta forma su posición a lo largo del tiempo. Por el momento, daremos por hecho que los sensores de campo cuentan con energía para funcionar ininterrumpidamente, al igual que el resto de los componentes del sistema principal mostrados en el diagrama anterior.

Indica las partes del sistema que necesitan cambiarse para lograr las características deseadas.

El sistema actual obtiene los datos de manera totalmente presencial, es necesario ir colocando y calibrando el equipo GPS sobre cada punto para obtener las coordenadas del mismo y almacenarlas en la libreta electrónica, estos dos elementos (GPS y libreta de almacenamiento), deberán ser cambiados por un sistema que envíe su posición al punto elegido como central de registro y de esta forma almacenarlos, evitando tener que ir hasta la ladera. Cada testigo deberá tener esta característica, por lo que el barrido de los puntos será mucho más rápido.

Efecto de los cambios en los inconvenientes del sistema.

Al tener que estar recibiendo tantas señales ya que el número de testigos necesarios para monitorear toda la superficie de la ladera pudiese ser alrededor de 20, se tendrá que tener un sistema que acepte tantos canales y cada uno de ellos debe ser fielmente identificado.

Indicar las bases del criterio de evaluación.

El sistema se evaluará comparándolo con los datos obtenidos por el sistema Promark (GPS) y estos deberán coincidir con en lo más posible.

2.4 Diagrama de Funciones

En cada función, es necesario clasificar la acción realizada en términos de: “útil” o “perjudicial”, “insuficiente” o “excesiva”, direccionarla (de una manera o en ambos sentidos), y en el tiempo (continua, periódica, etc.). Lo primero es describir de que tipo de función se trata, clasificarla.

En TRIZ podemos clasificar las funciones como malas, adicionales o auxiliares; la relación que se guarda entre dos o más funciones que trabajan para un mismo fin, se clasifican como inexistentes, insuficientes, satisfactorias o excesivas. A continuación, se muestra un diagrama general de la configuración tentativa del sistema principal.

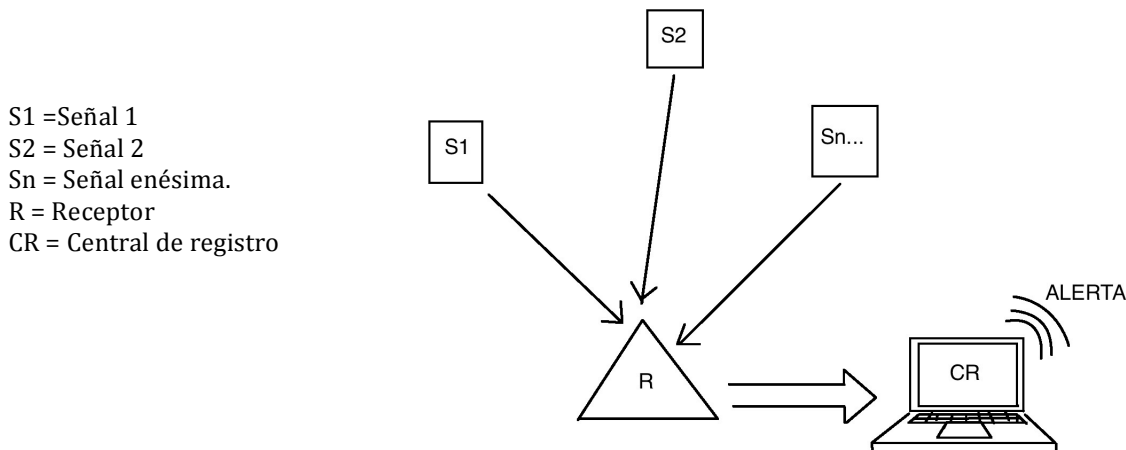


Fig. 12 Diagrama de relación

Por lo tanto, podemos ver en el diagrama general del sistema principal que la conexión entre cualquiera de los señales y el receptor es la “comunicación”. En términos de tipo de función, podemos clasificar esta relación como principal ya que se encarga de transmitir los datos captados por los sensores de campo y enviarlos al receptor por aire para que éste los guarde en la central de registro y sean procesados, finalidad básica del sistema principal. Para el sistema actual, podemos catalogar esta función como inexistente, debido a que es necesario estar sobre cada punto para obtener los datos característicos de su posición para luego llevarlos a una unidad de computo para procesarlos en vez de que estos sean enviados directamente a un receptor de datos.

Ahora bien, puede notarse que en la configuración de la figura 12, no se ha establecido cual elemento será el sensor, es decir, no se ha establecido que elemento fungirá como testigo sobre la ladera ya que en realidad podría ser tanto el emisor de la señal, como el receptor, sin embargo, hablando en términos de facilidad, sería mucho más limpio trabajar con unas

cuantas señales emisoras y muchos receptores, por lo que los testigos podrían ser nuestros receptores.

En la siguiente tabla, se muestran las relaciones funcionales que hay entre los componentes del sistema principal para el sensor de laderas deseado.

Tabla 2. Relación entre elementos y su función

Elemento	Acción	Objeto	Tipo de función	Rango de función
Emisor	Envía/emite	Datos	Auxiliar	Inexistente
	Recibe	Datos	Auxiliar	Inexistente
Receptor	Amplifica	Señal	Auxiliar	Inexistente
	Cataloga	Señal	Auxiliar	Inexistente
	Detecta	Ladera	Función principal	Insuficiente
	Recibe	Señal amplificada	Auxiliar	Inexistente
Central de Registro	Registra	Señal	Auxiliar	Inexistente
	Procesa	Señal	Auxiliar	Inexistente

En la tabla anterior, vemos que la función primaria, básica o principal es la detección de la Ladera, pero ¿detección de qué? Bien, pues se requiere la detección de alguna o algunas variables que caractericen el estado de una ladera, en este caso se ha seleccionado el desplazamiento que se da por el cambio de posición de los testigos en el tiempo. Esta función esta en el rango de insuficiente ya que la simple detección de actividad sobre la ladera sea cual sea no satisface la función de alertamiento, es por ello que el resto de las funciones auxiliares se encargan de enviar, recibir, registrar y procesar la información para que pueda ser usada en beneficio de los habitantes de la ladera.

Podemos ver que las funciones auxiliares se encuentran en el rango de inexistente ya que es lo que se desea alcanzar. Cada una de las definiciones funcionales en el rango de inexistente representa un problema distinto a resolver. De la tabla y del diagrama se han proporcionado una serie de definiciones de problemas importantes.

Para la función básica, se requiere comparar la posición de un objeto en el tiempo, pero ¿Cómo lograr esto? Para saber que algo se mueve es necesario contar con un punto de referencia que permanezca en la misma posición cuasi estáticamente, además, el mismo testigo debe enviar su posición sea que se presenten deslizamientos o no. El caso ideal se presenta en el diagrama siguiente, donde las relaciones entre objetos es la adecuada y se cumple la función básica del sistema principal.

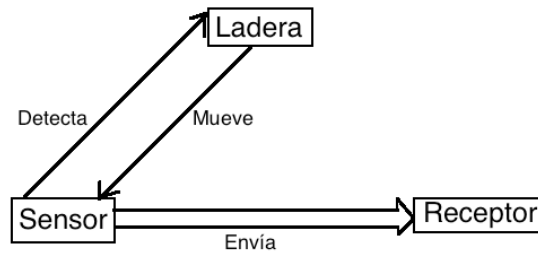


Fig. 13 Diagrama relación ideal

Del análisis hecho se pueden desprender algunas contradicciones dentro del sistema principal.

2.4.1 Contradicciones Técnicas

- Construir un sensor del cual podamos saber su posición y si varía en el tiempo pero sin que el investigador esté presente verificando si cambio de posición o no.
- Hay movimientos sobre toda la ladera, el sensor y su punto de referencia están sobre la ladera, el sensor deberá cambiar su posición pero el punto de referencia no.
- El sensor debe permanecer en la misma posición pero debe detectar cambios de posición, movimientos.
- El sensor debe estar en la zona de falla pero sin aumentar el nivel de inestabilidad de la ladera.
- El envío de la posición del sensor hace más *rápido* el barrido de los testigos, pero incrementa las *perdidas de información*.

Quizá no sea tan fácil visualizar los problemas desde el diagrama de funciones ya que está configurado como el caso deseado, sin embargo, al enunciar las contradicciones técnicas podemos entender mejor que es lo que se desea.

El siguiente paso es usar otra herramienta de TRIZ la cual permitirá solucionar las contradicciones, o mejor dicho, proporcionará sugerencias que pueden canalizarnos a la solución. Esta herramienta es la **matriz de TRIZ formada por 39 parámetros y los 40 principios de solución** establecidos por Altshuller.

Esta matriz puede ser consultada directamente en un archivo, sin embargo, ya existen servicios gratuitos en internet con bases de datos de los parámetros y principios para que los diseñadores una vez que han identificado las contradicciones encuentren de forma rápida sugerencias de cómo solucionarlas. Por lo tanto, ingresaremos a la pagina de internet que lleva por nombre TRIZ40 (<http://www.triz40.com>) donde entre otras cosas, aparecerá en la pagina de inicio un cuadro como el que se ve en la figura 4. Lo único que se debe hacer es seleccionar *the improving feature*, es decir, la característica que se mejora en el sistema, y seleccionar la *worsening feature*, la característica que se empeora. Una vez que se establecen estos parámetros basta con dar click en donde dice *TRIZ Matrix Lookup*, y el sistema buscará entre los 40 principios de solución cual puede servir para el caso ingresado.



Fig. 14 Interfaz inicial de matriz de TRIZ, tomado de [C]

El primer caso que analizaremos es considerando que a diferencia del sistema actual, el deseado brindará una ventaja de tiempo al hacer el barrido de los testigos de manera más rápida y no presencial, sin embargo, como a veces sucede en las telecomunicaciones pudiese presentarse pérdida de información, por lo tanto, colocaremos como parámetro que se mejora “Loss of time” y como parámetro que se empeora “Loss of information”, los resultados son los siguientes:

24. Intermediario

- Utilice un artículo transportista intermediario o proceso intermediario.
- Unir un objeto temporalmente con otro (que se puede quitar fácilmente).

26. Copiado

- En lugar de un objeto caro, frágil y no disponible utilizar copias simples y de bajo costo.
- Reemplazar un objeto o proceso con copias ópticas.
- Si ya se están utilizando copias ópticas visibles, mover a las copias infrarrojas o ultravioletas.

28. Sustitución Mecánica

- Vuelva a colocar un medio mecánico con uno sensorial (óptica, acústica gusto o el olfato).
- Usar campos eléctricos, magnéticos y electromagnéticos para interactuar con el objeto.
- Cambiar de un campo estático a campos móviles, de campos no estructurados a campos que tienen estructura.
- Utilice campos en conjunción con un campo activado (por ejemplo, partículas ferromagnéticas).

32. Los cambios de color

- Cambiar el color de un objeto o de su entorno.
- Cambiar la transparencia de un objeto o de su entorno.

Nota: Los números del 24 al 32, están dispuestos así por el sistema de TRIZ40, indica el número de parámetro del que se está hablando.

Las opciones de solución arrojadas por la matriz de TRIZ brindan opciones que en determinado momento resuelven la mayoría de las contradicciones encontradas, a continuación se enlistan las opciones interpretadas para el caso de estudio:

1. Usar un *intermediario* significaría colocar antenas repetidoras entre los sensores y el receptor para amplificar la señal y evitar la pérdida de datos.

2. Para la opción de *copiado*, en vez de usar equipos GPS caros y sofisticados, podemos usar copias más fáciles de reemplazar, baratas y menos frágiles pero que trabajen bajo el mismo modo de operación.
3. Para la *sustitución mecánica* podemos colocar además de un sensor electrónico uno mecánico como una galga extensiométrica o un acelerómetro que se rigen por principios mecánicos, o bien detectando otras variables físicas de la ladera como el sonido, además, en los ejemplos que menciona la matriz dice que antes se usaba en las comunicaciones la difusión omnidireccional y ahora se usan antenas con una estructura radial por lo que combinando su funcionamiento con una señal de radiofrecuencia, es decir una onda electromagnética podemos generar una solución más confiable.
4. Por ultimo, el caso del *cambio de color* serviría para camuflar el sensor, modificando su color a uno más similar al color del suelo.

Ahora usaremos otros parámetros para ver que resultados nos arroja, esta vez será el caso de la velocidad. Como se ha dicho, el sistema deseado hará más veloz la adquisición de datos pero por otro lado, esta característica podría alterar la medición perjudicando la precisión de la medida, por lo que el parámetro que se mejora será “Speed” y el que se empeora “Measurement accuracy”, los resultados son los siguientes:

28. Sustitución Mecánica

32. Los cambios de color

1. Segmentación

- Dividir un objeto en partes independientes.
- Hacer un objeto fácil de desmontar.
- Aumentar el grado de fragmentación o segmentación.

24. Intermediario

Podemos ver que tres de las cuatro soluciones se repiten, por lo que no se coloco su descripción, sin embargo, hay una nueva herramienta, llamada *Segmentación*, la cual podemos usar de la siguiente forma:

5. En vez de que el sensor detecte movimiento y lo traduzca en una señal que podamos enviar por aire al receptor, mejor solo dejamos la parte de la emisión de una señal, la cual al tener características específicas de longitud de onda y frecuencia podremos identificar de que zona de la ladera se trata además de si se a movido o no dependiendo del desfaseamiento de la señal.

Usemos una tercer combinación de parámetros para ver si encontramos alguna sugerencia diferente, esta vez será considerando que el sistema deseado disminuirá el grado de dificultad de detección del movimiento al no hacer uso de satélites, aunque en consecuencia, podría poner en riesgo la confiabilidad de la medición, por lo tanto, el parámetro que se mejora es “Difficulty of detecting” y el que se empeora es “Reliability”, los resultados fueron estos:

27. Objetos baratos de vida corta.

- Reemplazar un objeto de bajo costo con un muchos objetos de bajo costo, que comprende ciertas cualidades (por ejemplo, vida de servicio).

40. Materiales compuestos

- Cambiar los materiales de uniformes a materiales compuestos.

28. Sustitución Mecánica

8. Anti-peso

- Para compensar el peso de un objeto, se funde con otros objetos que proporcionan una elevación del peso.
- Para compensar el peso de un objeto, hacer que interactúe con el medio ambiente (por ejemplo, utilizar la aerodinámica, la flotabilidad, la hidrodinámica, y otras fuerzas).

Los resultados obtenidos son diferentes a los casos anteriores, con excepción de la sustitución mecánica. De los otras tres soluciones propuestas podemos interpretar las siguientes opciones:

6. Para la opción *de objetos baratos de vida corta*, ya se ha elegido que cada sensor de campo deberá ser económico y con una vida útil con un margen de 2 años aproximadamente lo que lo convierte en un objeto de vida útil muy corta pero es el tiempo suficiente para obtener resultados confiables del sistema. Además, al ser muchos dispositivos, si uno deja de funcionar, el resto continuará trabajando y los resultados serían compensados.
7. Para la opción de *materiales compuestos*, podría ser usado este principio para la carcasa, en vez de que sea una estructura rígida la que contenga los sensores, podría ser una de materiales compuestos que le den otras características al dispositivo.
8. Para el caso de la opción *Anti-peso*, los testigos que se usan actualmente, usan cemento como elemento rígido para evitar que se pierda totalmente su posición vertical y por lo consiguiente se mueva en conjunto con la ladera, de tal manera que el equipo GPS registre su nueva posición. Esta característica deberá permanecer en el sistema deseado.

2.4.2 Contradicciones Físicas

- Los sensores deben estar en la ladera pero debe parecer que no están.
- Los sensores deberán estar en la tierra pero sin tener contacto con ella.

Las contradicciones físicas suelen ser más difíciles de resolver. El equipo de Altshuller, sin embargo, identifico una serie de formas sistemáticas para resolver las contradicciones físicas:

1. *Separación de los requerimientos contradictorios en el tiempo.*

Los sensores podrían ser visibles solo en el momento del envío de la señal, esta rutina se efectuaría cada que se presentara un movimiento, activando un pequeño mecanismo que eleve el sensor por unos segundos en lo que envía la información.

2. *Separación de los requerimientos contradictorios en el espacio.*

Los sensores estarán enterrados ligeramente en la tierra pero no en contacto con ella, esto se resuelve colocando un intermediario, una carcasa que separe en dos la tierra y el sensor.

3. *Alteraciones en la estructura del sistema.*

En el exterior podría usarse una carcasa que imite el entorno del sensor, una roca, una planta, algo que lo haga pasar desapercibido y le permita realizar su función principal.

2.5 Estándares de soluciones inventivas

El modelo de *sustancia-campo* es un intento de generar un lenguaje sistemático y universal para la definición y solución de problemas. Para facilitar el uso de esta herramienta, nos apoyaremos en el diagrama de flujo de la *figura A* que se encuentra en el anexo de este trabajo para el uso de las 76 soluciones estándar.

El uso del diagrama exige que elijamos un sistema que se desee mejorar, acción que ya ha sido realizada, además hace énfasis en mantenerse enfocado en ese problema, identificando los elementos que conforman el sistema, lo cual ya hicimos. Entonces, recordando ¿qué necesitamos? Lo que se requiere es una medición o detección de una magnitud, por lo que siguiendo los caminos del diagrama llegamos a la sugerencia de usar la clase 4 para resolver nuestro sistema.

2.5.1 Clase 4. Detección y medición.

La detección y medición son usadas en control. La detección se comporta de manera binaria (algo que sucede o no sucede) y la medición tiene cierto nivel de cuantificación y precisión. En muchos casos la solución más innovadora es el control automático sin la detección/medición aprovechando las propiedades físicas, químicas, o efectos geométricos. Existen 17 soluciones estándar para la clase 4 de las cuales se han seleccionado algunas que podrían servir para el diseño de nuestro sistema.

4.1. Métodos indirectos

4.1.1. Modificar el sistema para que en lugar de detectar o medir una magnitud lo haga indirectamente de tal forma que ya no es necesaria la medición.

4.1.3. Utilizar 2 detecciones en lugar de mediciones continuas.

4.2. **Crear o sintetizar un sistema de medición.** Algunos elementos o campos se deben añadir al sistema existente.

4.2.1. Si el campo actual es inadecuado, cambiar o mejorar el campo sin interferir con el sistema original. El campo nuevo o mejorado debe tener un parámetro fácilmente detectable que se correlaciona con el parámetro que necesitamos saber.

4.2.3. Si nada se puede añadir al sistema, a continuación, detectar o medir el efecto del sistema en un campo creado por aditivo (s) colocado en el entorno exterior.

4.3. Mejorar el sistema de medición

4.5.2. En lugar de una medición directa de un fenómeno, medir las derivadas primera y segunda en el tiempo o en el espacio. Por ejemplo, la velocidad y la aceleración medida en lugar de la posición de medición. Medir la tasa de cambio de frecuencia de un sonido (frecuencia Doppler) para determinar la velocidad de la fuente.

De las soluciones estándar seleccionadas, la interpretación que podemos darles para la aplicación específica del sensor de laderas, es la siguiente.

2.5.2 Soluciones Interpretadas

4.1.1 Un sensor comercial esta diseñado para captar alguna magnitud física de su entorno, por lo que debe estar calibrado para detectar o medir un suceso en cualquier momento, podemos eliminar este sensor si generamos una señal que sea enviada todo el tiempo, como las señales de radiofrecuencia de las estaciones de radio, sin necesidad de estar pendientes de ellas, basta con sintonizar nuestra radio para oír cualquier estación incluso de otros países. Esta señal puede darnos información de la posición del emisor por las características propias de la señal, de tal forma que sabremos cuando se ha movido de posición dicho emisor.

4.1.3 En vez de que la señal sea enviada todo el tiempo, que esté programada para enviarse dos veces por día o bien, que contemple un sensor de movimiento como un acelerómetro y que solo cuando detecte movimiento envíe la señal y como protocolo que continúe enviándola dos veces al día para corroborar su buen funcionamiento.

4.2.1 Usando la misma configuración actual, los testigos serán los elementos que usaremos para conocer las características de la ladera, sin embargo, en vez de usar el GPS, los testigos enviarán una señal característica de su posición y podrá ser comparado con los datos que reúna el equipo Promark.

4.2.3 Deseamos conocer la ubicación exacta de cada testigo, pero no se tiene algún punto de referencia. Si colocamos emisores en puntos específicos de la ladera podremos detectar tanto la posición absoluta y cambio en la posición (velocidad) de los testigos que actuarán como receptores de señal con el principio de triangulación o trilateración, de las cuales se hablará más adelante. Donde S1 es la posición, S2 es el testigo, F1 es la información, F2 son las distancias a por lo menos dos emisores.

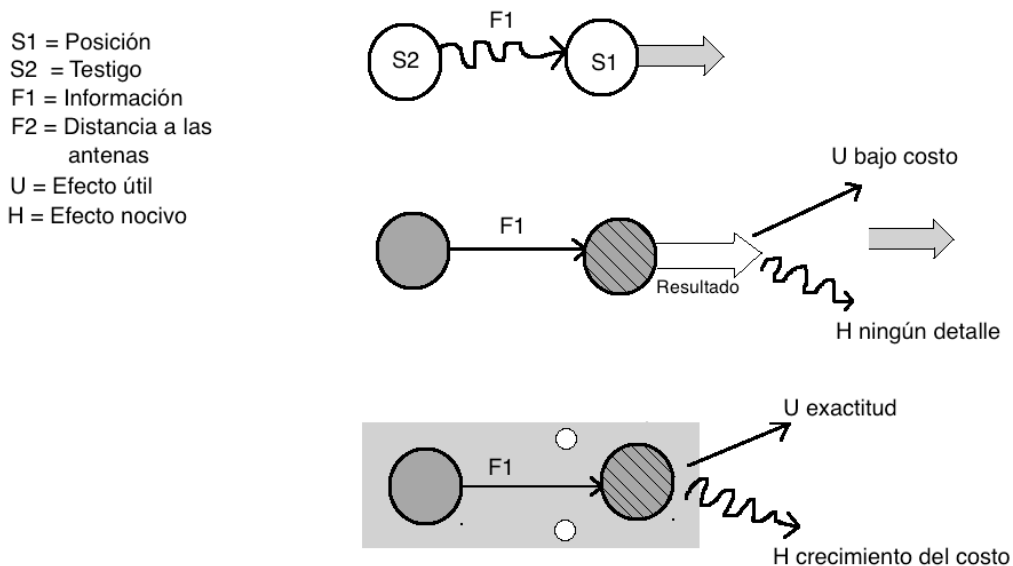


Fig. 15 Diagrama de funciones entre elementos principales

4.5.2 En vez de medir directamente el cambio de posición de los testigos, podemos usar un sensor que detecte aceleraciones producidas por el movimiento de la ladera, de tal forma que al integrar dos veces esta magnitud, lleguemos a la posición del testigo.

Hasta aquí, ya tenemos elementos para escribir nuestra hipótesis sobre la cual se basará el resto del diseño.

2.6 Hipótesis.

Los testigos o sensores de campo recibirán una señal con características específicas de longitud de onda y frecuencia provenientes de emisores en zonas más estables, por lo que será posible determinar que emisor está más cercano y así determinar la posición de los testigos. Las señales serán recibidas por los testigos que se colocarán en posiciones específicas para permitir determinar por medio del principio de trilateración las coordenadas de cada punto, que deberán ser equivalentes a las que se obtengan con el equipo Promark GPS.

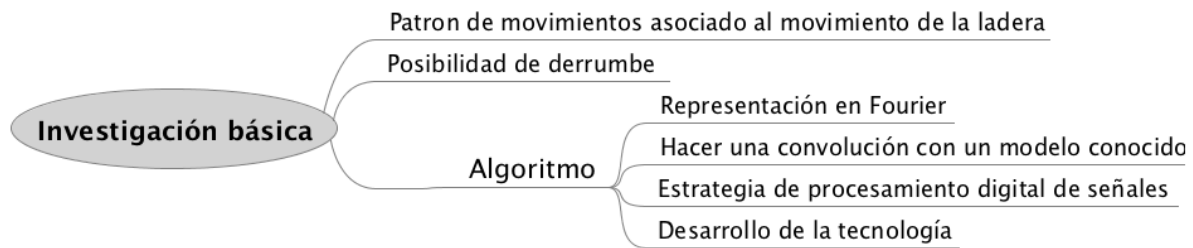
2.7 Beneficios esperados

Los beneficios del sistema serán de manera resumida:

- Asegurar que una ladera activa está siendo monitoreada constantemente.
- Obtener valores que permitan caracterizar el comportamiento de una ladera activa y así predecir su comportamiento.
- Planificar el número de habitantes y construcciones por zona.
- Desarrollar planes de protección civil en caso de un potencial derrumbe.
- Realizar acciones enfocadas a la prevención y gestión de riesgos.
- Proveer la capacidad a los municipios para desarrollar estrategias de prevención ante catástrofes de peligros socialmente construidos.

III. Diseño de configuración y Diseño de detalle

En este capítulo, se hablará sobre la arquitectura del sensor y el algoritmo de operación del mismo. Es preciso decir que el diseño sólo llegará a nivel de la generación de las especificaciones, en general, un proyecto o plan de trabajo está relacionado con el desarrollo del producto ya no con su diseño. Para nuestro diseño, se tendrá en cuenta la existencia de los elementos primitivos que logren en conjunto realizar la función principal del sistema.



En el mapa anterior se ha colocado de manera muy resumida el trabajo que se debe realizar o considerar, recordemos que el método que se usará para obtener la posición de los testigos es el de trilateración. Como resultado de la aplicación de las herramientas de TRIZ se ha llegado a la conclusión de que no se usará ningún sensor visto en el estado del arte, si no que se usará solamente un envío y recepción de señales. Enseguida se habla más sobre el método de trilateración.

3.1 Geolocalización

Actualmente para determinar alguna posición geográfica, lo más simple es utilizar un receptor GPS. El GPS (olvidemos lo de receptor) es preciso y funciona en todo el mundo. Los GPS son cada vez más pequeños y con mayores prestaciones y cada día se le descubren nuevas aplicaciones. A pesar de su potencia, el GPS no es la solución a todos los problemas de geolocalización. En aquellos lugares donde las señales de los satélites GPS llegan mal, como el interior de los edificios o en los lugares rodeados por grandes edificios, el receptor GPS no funciona bien. Y para nuestro caso, resulta un sistema costoso y dónde sus versiones más económicas no cubren los requerimientos del diseño. Por suerte, hay otras soluciones.

Como es sabido, es posible determinar la posición de alguna persona por medio de su teléfono móvil. Esto se logra conociendo la posición geográfica de las antenas retransmisoras cercanas a dicho móvil. Si estas estaciones base son capaces de comparar entre ellas la intensidad o el tiempo de llegada de la señal emitida por el teléfono, es posible obtener una estimación sobre la posición. También funciona en sentido inverso. Si el teléfono móvil tiene registros que contiene las posiciones de las antenas, puede calcular su posición gracias a las señales emitidas por las estaciones cercanas.

Esto que se hace con los teléfonos móviles y las antenas de las estaciones se puede también utilizar con otros sistemas de comunicación sin hilos como las redes WiFi, ZigBee o Bluetooth. Recordemos que el GPS funciona en todo el mundo, es decir, es un sistema global (Global Positioning System). Siguiendo la misma lógica, un sistema de posicionamiento a partir de una red local se llamaría Local Positioning System o LPS. [9]

Nosotros necesitamos un sistema que permita localizar un objeto (o una persona) en todo momento, es decir, en tiempo real, sin importar el lugar en la zona cubierta por la red. Este tipo de sistemas es conocido bajo el nombre de Real Time Location System o RTLS (tiempo real en este contexto quiere decir periódicamente).

Los LPS, al igual que los GPS recurren a varios emisores para permitir a un receptor calcular su posición geográfica. Son posibles varias técnicas, cada una con sus ventajas e inconvenientes. Lo importante para todas las técnicas es la noción del camino directo (Line of Sight ó LoS). En efecto, si la señal del emisor no ha tomado el camino más corto hacia el receptor, la distancia que separa a uno del otro, calculada por el receptor, será incorrecta ya que el receptor ignora cuál ha sido el recorrido efectuado por la señal de radio. Actualmente se utilizan tres técnicas matemáticas para calcular la posición de un receptor a partir de las señales recibidas de varios emisores: la triangulación, la trilateración y la multilateración. Las dos últimas se parecen mucho pero no deben ser confundidas. [9]

3.1.1 Triangulación

La triangulación es una técnica muy antigua que permite a un observador calcular su posición midiendo dos direcciones hacia dos puntos de referencia. Como las posiciones de los puntos de referencia son conocidas, es posible, así, construir un triángulo del que se conoce uno de los lados y dos ángulos y donde el observador se encuentra en la tercera cima. Esta información es suficiente para determinar completamente el triángulo y, por lo tanto, la posición del observador.

Al utilizar la triangulación con emisores necesita la medida del ángulo de incidencia (Angle of Arrival o AoA) de una señal. Se consigue con muchas antenas colocadas unas junto a otras y midiendo la diferencia de fase entre las señales recibidas por las antenas. Si la distancia entre las antenas es pequeña, se puede considerar el frente incidente de la señal como recto y el cálculo del ángulo será bastante preciso. También es posible utilizar una antena direccional para determinar la posición de un emisor. La orientación de la antena en la que la señal es más fuerte, da la dirección del emisor. Así pues, basta con hacer dos cálculos de emisores conocidos para poder aplicar la triangulación.

Sin embargo, colocar antenas no es cosa trivial, el diseño de las mismas lleva mucho tiempo y dinero y su colocación se sale de proporción para nuestro trabajo ya que se requiere que sean muy altas para eliminar en su mayoría el ruido y asegurar la transmisión.[9]

3.1.2 Trilateración

Esta técnica necesita medir la distancia entre el receptor y el emisor. Esto se puede hacer con la ayuda de un indicador de potencia de la señal recibida (Received Signal Strength Indicator o RSSI), pero también sobre el tiempo de llegada (Time of Arrival, ToA, o Time of Flight, ToF) de la señal, con la condición de que el receptor y el emisor estén sincronizados por medio de una base de tiempos, como por ejemplo, la del GPS.

Así, cuando se recibe la señal de un solo emisor, nos podemos situar en cualquier parte de un círculo imaginario (por sencillez, limitémonos a dos dimensiones y con condiciones de transmisión ideales) en el que el emisor es el centro. Este sistema, así, no es muy preciso. Pero, con dos emisores hay mejoras, ya que ahora sólo hay dos posiciones posibles: las dos

intersecciones de los dos círculos creados alrededor de los dos emisores. Por lo tanto, será necesario añadir un tercer emisor para eliminar una de las dos posibilidades (ver Figura 16).

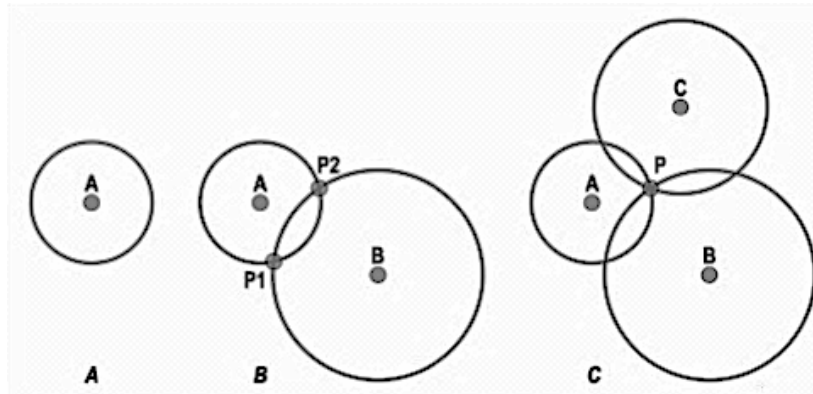


Fig. 16 Trilateración en dos dimensiones, tomada de [9]

Cuando se extiende la trilateración a las tres dimensiones, los círculos se convierten en esferas. Por lo tanto, es necesario añadir un emisor más para encontrar la posición del receptor, ya que la intersección de dos esferas ya no se hace en dos puntos, sino que es un círculo (siempre y cuando se ignore el punto trivial en el que las esferas tangentes que se tocan). Esto explica por qué un GPS necesita “ver” al menos 4 satélites para que funcione. [9]

Durante la investigación básica se encontró que una de las variables representativas que describen el estado de una ladera, es la magnitud de los desplazamientos superficiales, que si bien son el efecto de diversos factores, son también indicadores confiables del grado de inestabilidad de la ladera. La solución propuesta involucra la emisión y recepción de señales con las cuales, usando el método de trilateración, se podrá saber la posición actual y anterior de los testigos distribuidos sobre la ladera. Sin embargo, la propuesta no queda hasta ahí ya que es necesario desarrollar un algoritmo lo bastante confiable como para competir con el sistema que se esta usando actualmente.

3.2 Configuración

Como se vio en el Capítulo II en la descripción del sistema actual, la distribución de los testigos se hizo en cada esquina de la zona, por un lado para evitar obstruir la vida cotidiana de los pobladores, pero también para tener un cierto orden y abarcar todo el terreno, sin embargo, para la propuesta de este trabajo se tiene pensado colocar los testigos en bancos fijos ubicados fuera y dentro del área inestable. De esta forma podremos monitorear el área comparando las mediciones entre los diferentes puntos y disminuyendo el error. El monitoreo se realizará por nivelación y colimación de referencias superficiales colocando los testigos a lo largo de líneas longitudinales y transversales dentro de la zona en movimiento. Se tendrá un eje en la dirección longitudinal y varias líneas transversales. Los testigos internos estarán referidos a puntos fijos localizados en los extremos de los ejes donde se encuentran más estables. Para establecer los ejes es necesario apoyarnos en el trabajo que actualmente se esta desarrollando, debido a que ya se tienen mediciones o levantamientos de los testigos en la zona y es posible que ya se tenga identificado las zonas de agrietamientos, véase figura 17.

Una vez definida la posición inicial de cada punto de referencia, se realizarán mediciones periódicas con el fin de conocer la evolución de los movimientos. La periodicidad de las mediciones dependerá de la velocidad que desarrolle la inestabilidad. En la figura 9 puede verse una clasificación de la ladera en varias zonas, nombradas como zona alta, media y baja. Con base en el trabajo realizado actualmente sobre la zona, el área más inestable esta entre la zona alta y la media, con mayor evidencia de movimientos en la zona media.

Es necesario decir que la propuesta vista en la figura 9, no esta a escala y por el momento no se consideran las obstrucciones que generan las construcciones de casas que hay en la zona, lo que se pretende es explicar el concepto a desarrollar. Ahora bien, las coordenadas iniciales de los testigos se deberán establecer mediante el equipo ProMark, nuestro sistema irá modificando dichas coordenadas dependiendo de los desplazamientos registrados. La comunicación entre los testigos de la zona se llevará a cabo mediante señales inalámbricas bajo el principio de trilateración.

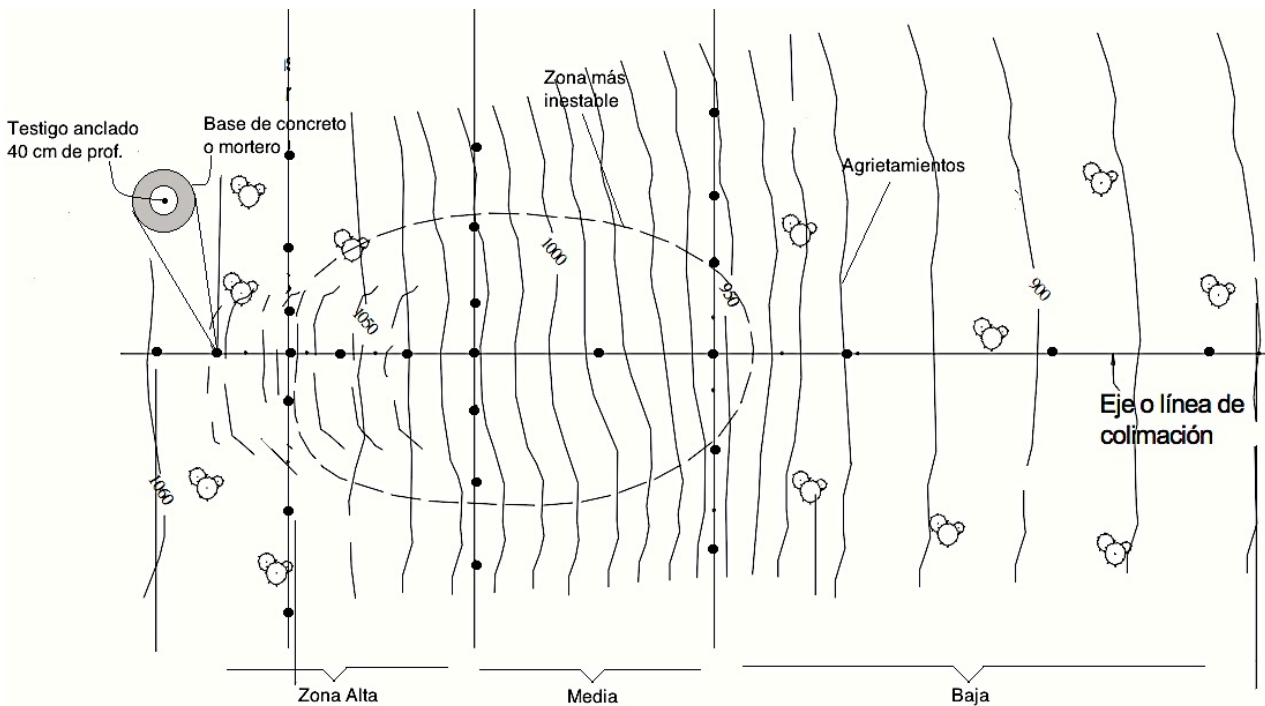


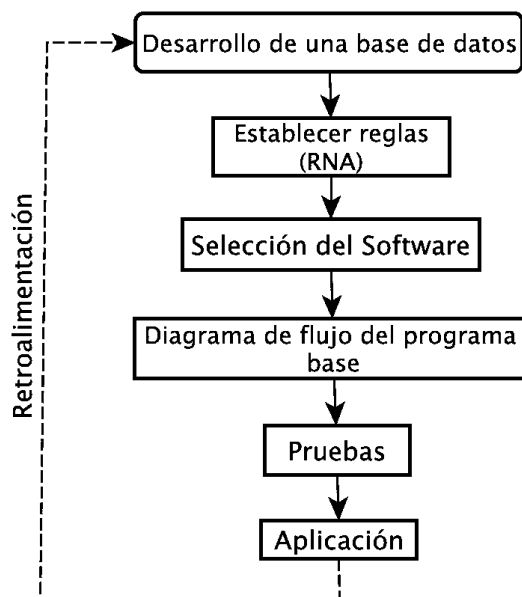
Fig. 17 Propuesta de distribución de testigos, plantilla tomada de [5]

La propuesta consiste en tomar algunos testigos sobre la ladera de los que se tenga registro previo de poca actividad, es decir, que según el trabajo hecho hasta ahora demuestren tener desplazamientos menores o casi nulos en comparación con los testigos colocados sobre la zona media de la ladera o zona más inestable, de esta manera, se usarán como referencia inicial para aplicar el principio de trilateración, como existe la posibilidad de que los testigos tomados como referencia cambien de posición con el tiempo, el sistema se apoyará de una red neuronal para determinar la magnitud de los desplazamientos, para ello se guardará en la memoria del sistema las coordenadas iniciales de los testigos base junto con la señal particular de cada uno donde se guardarán características como amplitud, potencia de la señal recibida y se comparará con las señales nuevas de los mismos testigos base conforme pasa el tiempo, se propone el uso de una red debido a que en la zona inestable existe mucho ruido y será necesario eliminar los falsos negativos, asegurar la detección de los verdaderos positivos y llevar un registro de los falsos positivos es decir.

En las pruebas:

Falso positivo	Si, pero no	Si hubo movimiento, pero no generará un derrumbe
Falso negativo	No, pero si	Si hubo movimiento, pero no se detecto
Verdadero positivo	Si, y si	Hubo movimiento y puede generarse un derrumbe.

El sistema deberá reconocer cuando se traten de desplazamientos inofensivos ya sea por su magnitud o por la frecuencia de su ocurrencia, o bien, cuando se traten de movimientos peligrosos que pudiesen desencadenar un derrumbe general o parcial de la zona. Para esta delicada tarea, se debe generar un sistema que pueda aprender, registrar, comparar y determinar. En seguida se puede ver un diagrama de flujo de lo que deberá realizar el sistema.



El diagrama anterior, muestra el desarrollo general de lo que el sistema deberá realizar, sin embargo, es necesario enfocarnos en la función principal del sistema, la cual es comparar la posición de un objeto en el tiempo y con esto determinar los desplazamientos que se presenten en la superficie de la ladera. Para esta importante tarea, como ya se ha dicho, se usará el principio de trilateración.

Una forma sencilla de ver en que consiste la propuesta se presenta en la figura 18, dónde la longitud de las flechas representa el tiempo que tarda la señal de los emisores A, B y C en llegar al receptor P, esta longitud constituye una medida de distancias entre emisores y receptor.

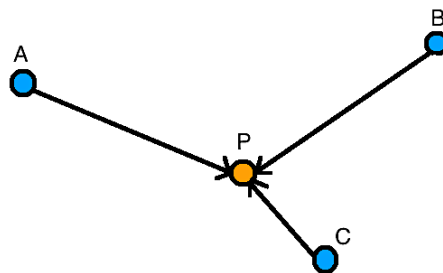


Fig. 18 Ejemplo analógico

Supongamos que ya se tiene todo el software entrenado para determinar la magnitud de los desplazamientos, el receptor P, ubicado en la zona más inestable, estará a la espera de las señales provenientes de las estaciones base A, B y C, las cuales como se ha mencionado tienen características especiales de frecuencia y sus coordenadas iniciales están registradas en el programa que usa el receptor P, por lo que al ir llegando cada señal, el sistema la asocia a su coordenada para después usando el tiempo que tarda en llegar cada señal, determinar la distancia a la que se encuentra de cada estación base y finalmente calcular su propia coordenada.

Hay que recordar que los sensores base irán cambiando su posición en el tiempo aunque no a la misma velocidad que los sensores en la zona más inestable, por lo que será necesario después de un periodo de trabajo, recalibrar las coordenadas base de cada testigo para disminuir el error en la medición, este levantamiento de las nueva coordenadas se podrá realizar en periodos de tiempo menos frecuentes que los tiempos habituales para hacer barridos de la zona con los testigos actualmente instalados en la ladera.

3.2.1 Estructura Funcional

El caso de uso será entonces, la determinación de las coordenadas de los testigos mediante el principio de trilateración. En la estructura funcional, se encuentra el algoritmo base que servirá para la obtención de las coordenadas y la medición de los desplazamientos ocurridos en la superficie.

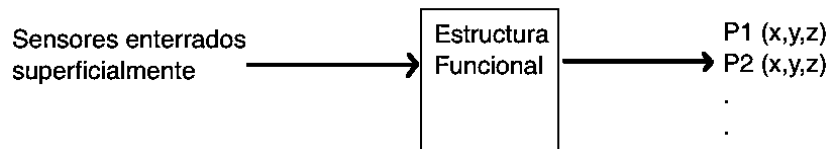


Fig. 19 Estructura funcional

Se basa en medir el tiempo que tarda en llegar una señal de un punto de coordenadas conocidas a otro punto de coordenadas desconocidas. Deben ser conocidas tres posiciones de tres estaciones base cercanas al testigo, de manera que el receptor (testigo) pueda determinar el tiempo de llegada de cada emisor (estaciones base), por ejemplo, imaginemos que se tienen 3 cables de diferentes longitudes, a través de los cuales pasa una señal proveniente del mismo punto de origen, dicha señal pasa a través de los cables al mismo tiempo, en el extremo de los cables hay un receptor el cual, debido a la diferencia de longitudes entre los cables, recibirá primero la señal proveniente de uno de los cables, después de otro y finalmente del último Véase figura 20.

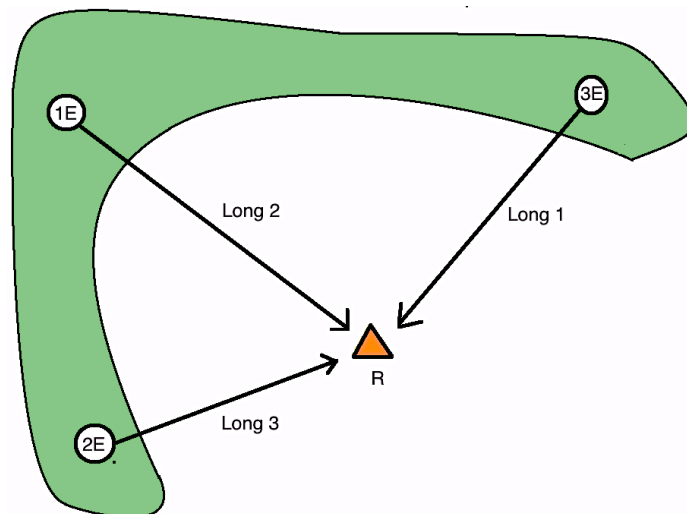


Fig. 20 Ejemplo

Las flechas representan los 3 cables de diferente longitud, analógicamente a las distancias en la ladera que habrá entre emisores y receptores, como la señal es disparada al mismo tiempo, en el receptor se puede ver un desfase en el tiempo entre las señales, dicho desfase será el indicativo para conocer la distancia a la cual se encuentran las estaciones base y así calcular la posición de los testigos, con la consideración de que la señal que llega desde los emisores toma la distancia más corta entre emisor y receptor y que las coordenadas de las estaciones base son conocidas.

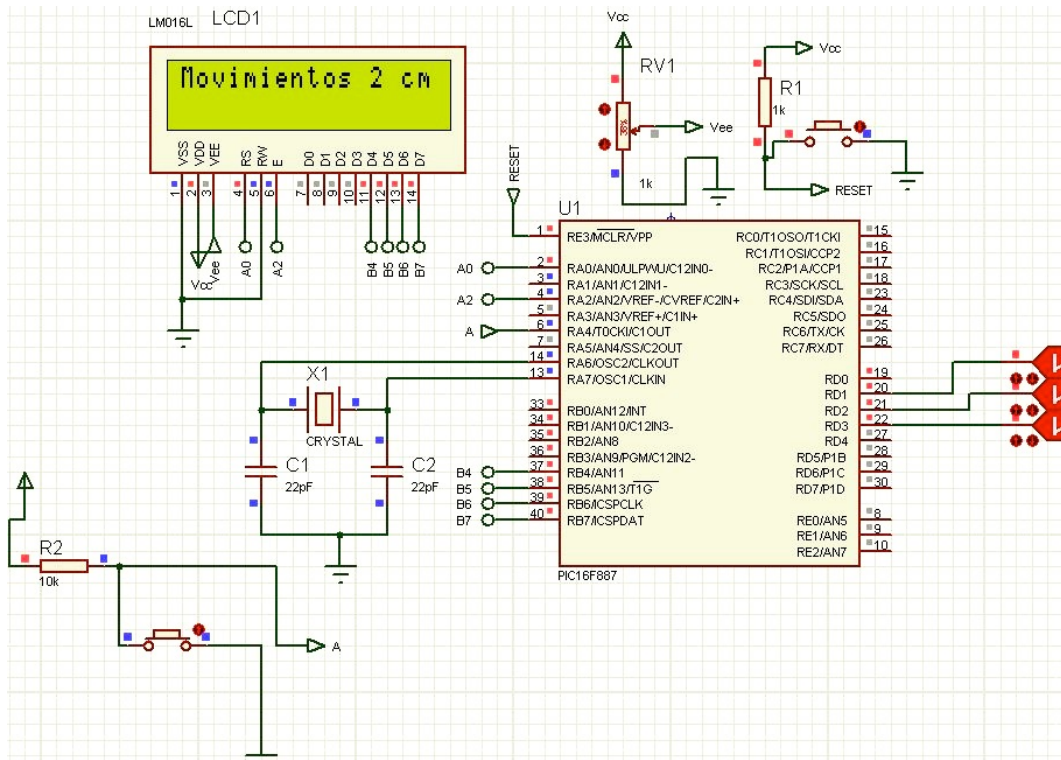
El potenciómetro conectado a la pantalla LCD es para ajustar el brillo de la misma y tener una imagen nítida y clara, las conexiones entre la pantalla y el PIC están designadas así desde el código del programa que puede consultarse en el Anexo de este trabajo.

El push button nombrado como A tiene la función de detectar los desplazamientos. En la simulación, (la resolución es de cm, sin embargo, deberá reducirse a mm) la señal emitida por el push button será la salida del sistema una vez hecha la trilateración del testigo, para ello se necesita conocer la ubicación de al menos 3 sensores base, los cuales enviarán una señal particular que será captada por el sensor receptor, las coordenadas de los sensores base estarán guardadas en el sensor receptor por lo que el sistema podrá saber a quien pertenece cada señal recibida y usando del tiempo que tarde cada señal en llegar al receptor se calculará la distancia a la que se encuentra cada sensor base y con ello la posición del sensor receptor. En la simulación, la señal de los sensores base están como entrada en el puerto D del PIC en los pines 20, 21 y 22.

Las señales de los sensores base serán enviadas desde el emisor TXR el cual estará ligeramente alejado de receptor para simular la distancia entre testigos sobre la ladera, para el esquemático solo se uso un toggle que proporciona un cero o uno lógico representando la llegada de las señales.

Con esto, si en la simulación presionamos dos veces el push button que tiene la salida A y lanzamos las tres señales de los emisores base, que significa poner en 1 los toggle del puerto D, en la pantalla veremos el mensaje con la leyenda de "Movimientos 2 cm", como puede verse en la figura 22.

Fig. 22 Esquemático registrando 2 cm de desplazamiento



Ahora bien, para el caso del emisor y el receptor, la conexión puede verse en la figura 20. Donde el HT-12E y el HT-12D son un codificador y decodificador respectivamente con 8 bits de dirección y 4 bits de datos.

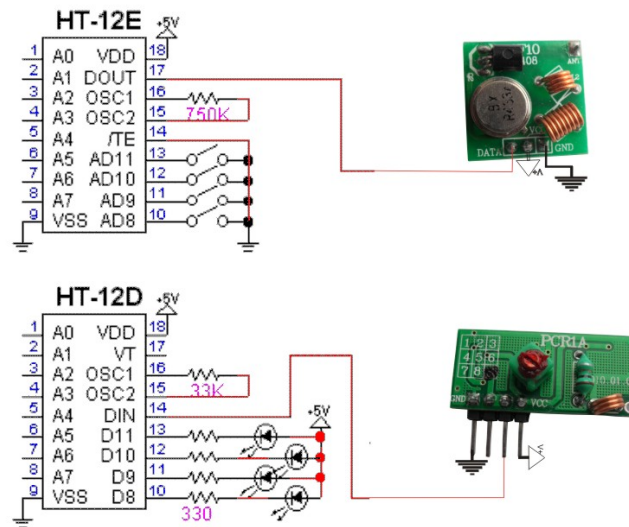
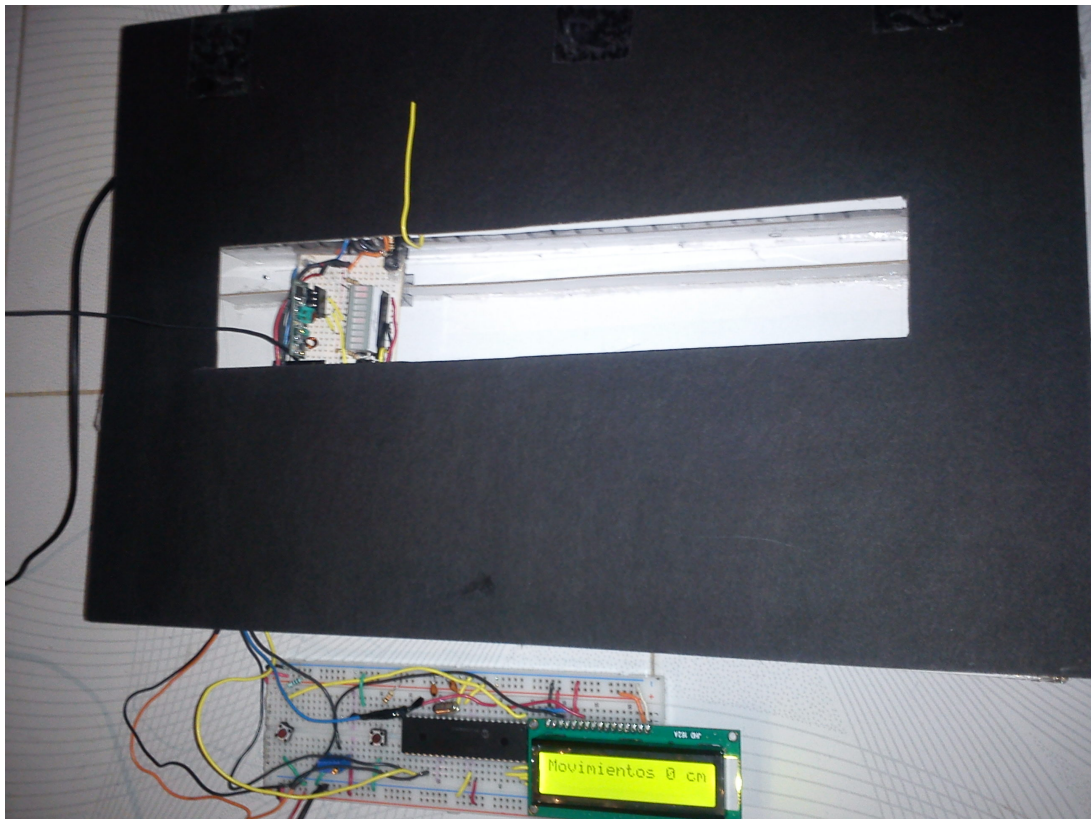
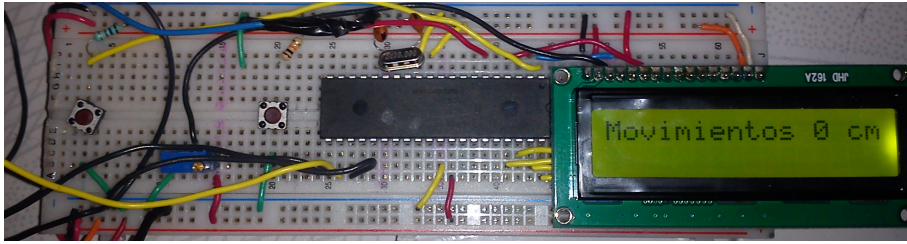


Fig. 23 Esquemático del montaje recomendado en las hojas de especificaciones del transmisor y receptor ASK

Por el momento no se tiene el equipo necesario para medir el tiempo de llegada de las señales ni la potencia con la que llegan las mismas, así que para poder simular el funcionamiento de un sensor receptor, se usó un sensor opto eléctrico tipo herradura H21A1 el cual detecta avances cada centímetro y es análogo a la señal A que determina la magnitud de los desplazamientos. El modelo físico puede verse en las siguientes imágenes.





Se puede validar lo dicho anteriormente mediante algunos cálculos del desfase de la señal al variar la distancia entre emisor y receptor.

Supongamos que se tiene una señal de frecuencia X a 5 [v] de amplitud, y que tarda N segundos en llegar a un receptor. Para conocer el tiempo N , se necesita contar a partir del momento en que es enviada la señal hasta que es recibida. Sabemos que la rapidez de propagación de una señal, esta dada por la siguiente ecuación en función de su longitud de onda y su frecuencia:

$$v = \lambda f$$

Donde la rapidez se mide en m/s , la longitud de onda en m y la frecuencia en Hz . Se debe tener presente que la rapidez de una onda la determinan las propiedades del medio por el cual se propaga, en el caso de las señales de radiofrecuencia, que son señales electromagnéticas, su rapidez es prácticamente la de la luz 300.000 km/s

Como la longitud de onda esta expresada en metros por cada ciclo

Supongamos que se tiene una señal con una frecuencia de 433 MHz, debido a que conocemos la rapidez a la cual se propaga, podemos determinar su longitud de onda:

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300 \times 10^6}{433 \times 10^6} = \frac{m/s}{Hz}$$

$$\lambda = \frac{300}{433} = 0.69 \text{ m/ciclo}$$

Esto quiere decir que en 0.69 metros la señal concluye un ciclo, recordemos que un ciclo es el recorrido desde que inicia una señal hasta que vuelve a su posición inicial. De manera inversa, podemos interpretarlo como los ciclos de señal que hay por cada metro de distancia recorrida, que en tal caso seria:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.69} = 1.44 \text{ ciclo/m}$$

Esto se menciona ya que lo que nos interesa es conocer el desfase de la señal de los emisores una vez que llegan al receptor, por lo que si por cada metro se tiene 1.44 ciclos para la frecuencia con la que se trabaja, si se tienen dos emisores uno a una distancia de 10 m del receptor y otro a 20 m, se tendrá un desfase en ciclos de 14.4 , si se enviase la misma señal a través de los dos emisores. Ahora bien, lo que necesitamos es conocer el tiempo que le toma a la señal viajar desde el emisor hasta el receptor para así determinar la distancia a la cual se encuentra el emisor base.

Para conocer el tiempo, usaremos otro concepto conocido como periodo de la señal, el cual no es más que el valor inverso de la frecuencia.

$$\tau = \frac{1}{f} = s$$

Para el caso de la señal de 433 Mhz que usamos como ejemplo, su periodo se calcula de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{1}{433 \times 10^6} = 2.3 \times 10^{-9} \text{ s/ciclo}$$

Este valor, es el tiempo que tarda en propagarse la señal por cada ciclo y como lo que nos interesa es conocer el tiempo que tarda una señal en viajar cierta distancia en metros, multiplicamos el valor del periodo encontrado por el valor de ciclos por metro. De esta manera tendremos el tiempo que tarda en recorrer 1.44 ciclos por cada metro.

$$T = (\tau) \left(\frac{1}{\lambda} \right) = (2.3 \times 10^{-9})(1.44) = \left(\frac{s}{\text{ciclo}} \right) \left(\frac{\text{ciclo}}{m} \right) = 3.3 \times 10^{-9} \frac{s}{m}$$

Un ejemplo más sencillo es si usamos una señal de 300 Mhz, los cálculos hechos anteriormente se repetirán para este valor de frecuencia.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{300 \times 10^6}{300 \times 10^6} = \frac{m/s}{Hz}$$

$$\lambda = \frac{300}{300} = 1 \text{ m/ciclo}$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1} = 1 \text{ ciclo/m}$$

$$\tau = \frac{1}{300 \times 10^6} = 3.33 \times 10^{-9} \text{ s/ciclo}$$

$$T = (\tau) \left(\frac{1}{\lambda} \right) = (3.33 \times 10^{-9})(1) = \left(\frac{s}{\text{ciclo}} \right) \left(\frac{\text{ciclo}}{m} \right) = 3.33 \times 10^{-9} \frac{s}{m}$$

En este ejemplo, es más sencillo visualizar que 1 ciclo es el que alcanza a realizarse por cada metro y como el período es el tiempo por cada ciclo, es el tiempo que tarda esta señal en propagarse un metro. Puede notarse que el tiempo en ambos ejemplos es muy similar, con algunas diferencias generadas por el truncamiento de los decimales, sin embargo, son tiempos muy parecidos y si se elige alguna otra señal de frecuencia diferente y se realizan los cálculos hechos se puede llegar a resultados iguales como se ve en la siguiente tabla.

Frecuencia Hz	Longitud de onda λ m/ciclo	Inversa de λ ciclo/m	Período s/ciclo	Tiempo por cada metro s/m
100	3000000	3.33333E-07	0.01	3.33333E-09
500	600000	1.66667E-06	0.002	3.33333E-09
372	806451.6129	0.00000124	0.002688172	3.33333E-09
200000	1500	0.000666667	0.000005	3.33333E-09

Tabla 3. Cálculos

Como es evidente, sin importar la frecuencia de la señal que utilizemos, el tiempo que le toma propagarse por cada metro será el mismo y como no estamos enviando información si no que simplemente nos interesa el tiempo de arribo de la señal, no importa si la señal llega atenuada.

Una vez que se sabe el tiempo de llegada de las señales, será sencillo saber a que distancia se encuentran del receptor y como las estaciones base tienen coordenadas conocidas, se podrá calcular la ubicación de cada testigo sobre la ladera. Es necesario que cada estación base tenga una frecuencia en particular para que de esta manera los testigos receptores sean capaces de saber a quien pertenece la señal recibida y asociarla a las coordenadas de la base correspondiente.

V. Conclusiones y trabajo a futuro

El trabajo hecho hasta este momento promete un sistema más económico y que cumple los requerimientos para competir con sistemas sofisticados que están siendo desarrollados e implementados en otros países. Sin embargo, es necesario desarrollar la serie de sensores y realizar pruebas en la zona piloto.

Hasta este momento, solo se ha atacado la parte lógica del problema, es decir, este trabajo se enfocó al diseño conceptual del sistema pero todavía falta mucho por hacer, enseguida se enlistan las partes del proyecto que deben ser desarrolladas:

- Diseño electrónico del sistema
- Diseño de integridad de señal
- Diseño de usabilidad
- Diseño de software
- Diseño mecánico
- Diseño térmico

Será necesario realizar pruebas en un ambiente controlado para garantizar que la propuesta descrita funciona y se debe poner especial atención al diseño del software del sistema así como el diseño del contenedor contra la interferencia.

Referencias

- [1] WP/WLI (International Geotechnical Societies 's UNESCO Working Party for World Landslide Inventory), 1995 Velocity classes for landslides, Bulletin International Association of Engineering Geology.
- [2] Radar systems applied to subsidence and landslides investigations, Enseñanzas de Ciencias de la Tierra, 2009
- [3] Principios de hidrogeografía. Estudio del ciclo hidrológico Serie Textos Universitarios, Núm. Instituto de Geografía, UNAM.
- [4] Capitulo 4, El tensiómetro: su uso, instalación y mantenimiento del libro “Manejo de Riego Por Goteo”. Autor: Dr. Megh R. Goyal, Profesor en Ingeniería Agrícola y Biomédica, Universidad de Puerto Rico
- [5] Monitoreo de laderas con fines de evaluación y alertamiento, CENAPRED, Manuel J. Mendoza López, 2002
- [6] GPS Posicionamiento Satelital, Eduardo Huerta, Universidad Nacional de Rosario, 2005.
- [7] Fascículo de Inestabilidad de Laderas, CENAPRED
- [8] ProMark 3, Manual de referencia
- [9] Geolocalización sin GPS, ¿Dónde estoy?, ¿Dónde voy?, Clemens Valens (Elektor Francia)
- [A] <http://www.triz-journal.com>
- [B] <http://www.celufanaticos.com/2012/05/como-funciona-el-acelerometro-de-un.html>
- [C] <http://www.triz40.com>

Anexo

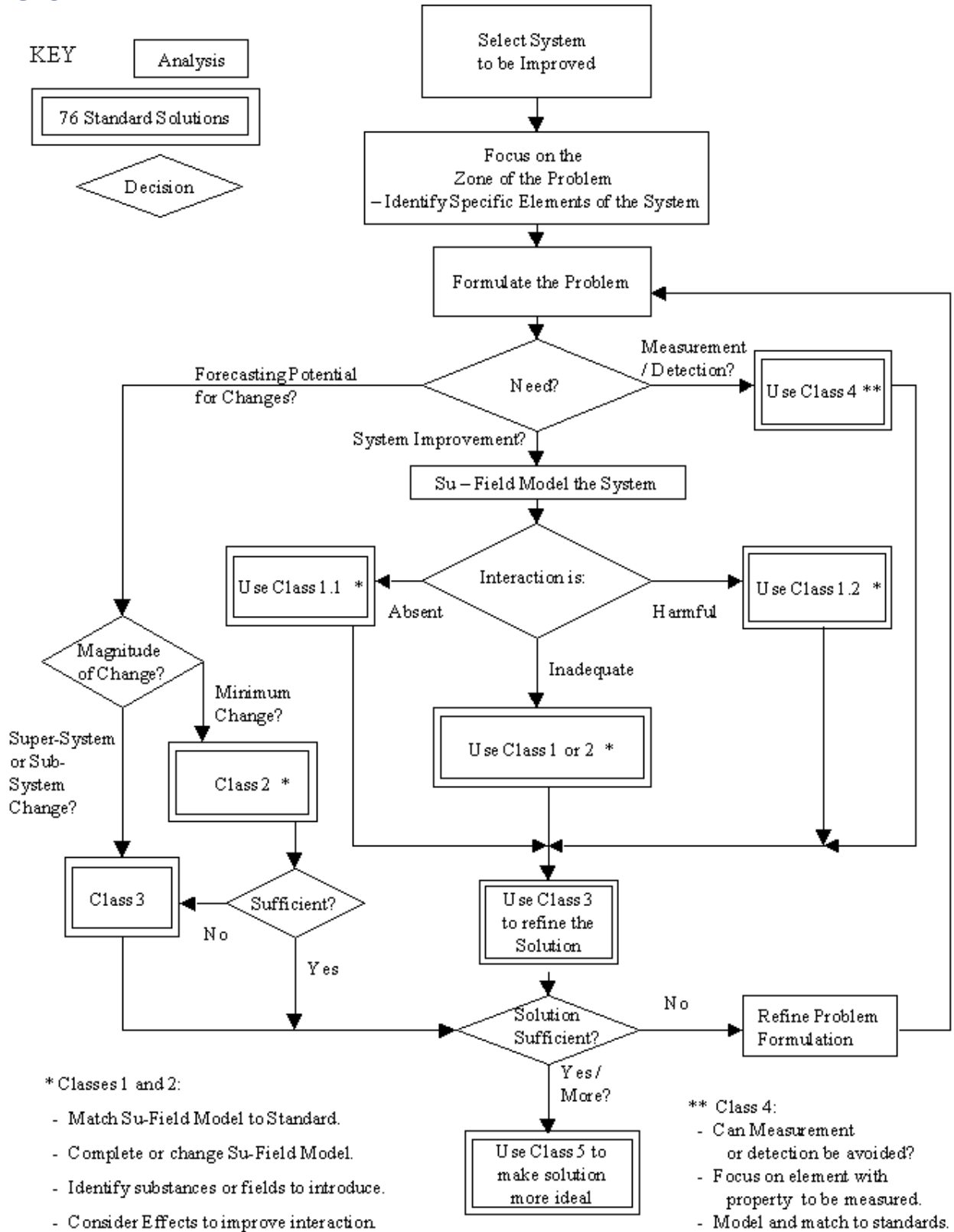


Fig. A Organigrama para usar los 76 Estándares de Solución

Código de programa para PIC16F887 hecho en MPLAB

```

;***** Simulador.asm *****
;
;=====
;      "DISEÑO INNOVADOR DE SENSOR PARA LADERAS".
;      Campos Puebla Juan José
;      UNAM, Facultad de Ingeniería
;=====
;
; Este programa comprueba el funcionamiento del Timer 0 como contador de los impulsos
; aplicados a la línea RA4/T0CKI, donde se ha conectado un pulsador. Cada vez que presiona
; el pulsador se incrementa un contador visualizado en el display LCD.
;
; Como es un incremento por cada impulso aplicado al pin T0CKI, no es necesario asignarle
; divisor de frecuencia al TMR0, por tanto, el Prescaler se asigna al Watchdog.
;
;***** ZONA DE DATOS*****
__CONFIG
_CONFIG1,_CP_OFF&_DEBUG_OFF&_CPD_OFF&_LVP_OFF&_BOR_OFF&_MCLRE_ON&_PWRTE_ON&_WDT
_OFF&_XT_OSC

    _CONFIG_CONFIG2,_IESO_OFF&_FCMEN_OFF
LIST P=16F887 ;PROCESADOR A UTILIZAR
INCLUDE <P16F887.INC> ;DEFINICIÓN DE ALGUNOS OPERANDOS UTILIZADOS

CBLOCK 0x20
R_ContA
R_ContB
R_ContC
Cont_Letra
Apuntador
ENDC

ORG 0x00

Inicio
BANKSEL ANSELH
clrf ANSELH
CLRF ANSEL
BANKSEL TRISB
bsf TRISD,1
bsf TRISD,2
bsf TRISD,3
bcf TRISD,0
call LCD_Inicializa
bsf STATUS,RP0 ; Acceso al Banco 1.
movlw b'00111000' ; TMR0 como contador por flanco descendente de
movwf OPTION_REG ; RA4/T0CKI. Prescaler asignado al Watchdog.
bcf STATUS,RP0 ; Acceso al Banco 0.
clrf TMR0 ; Inicializa el contador.

; La sección "Principal" es de mantenimiento. Sólo se dedica a visualizar el Timer 0.

Posicionar

    btfsc PORTD,1
    goto Siguiente
    goto Posicionar

Siguiente

    btfsc PORTD,2
    goto Proximo
    goto Siguiente
    
```


Proximo

```

    btfsc PORTD,3
    goto Ciclo
    goto Proximo

```

Ciclo

```

    call    LCD_Lineal           ; Se pone al principio de la línea 1.
    movlw  'M'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'o'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'v'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'i'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'm'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'i'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'e'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'n'
    Call LCD_Caracter
    movlw  't'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'o'
    Call LCD_Caracter
    movlw  's'
    Call LCD_Caracter
    movf   TMR0,W               ; Lee el Timer 0.
    call   BIN_a_BCD           ; Se debe visualizar en BCD.
    call   LCD_Byte           ; Visualiza apagando las decenas en caso de que sean 0.
    movlw  ''
    Call LCD_Caracter
    movlw  'c'
    Call LCD_Caracter
    movlw  'm'
    Call LCD_Caracter
    btfsc PORTA,4
    goto Posicionar
    goto   Ciclo

```

```

INCLUDE <RETARDOS.INC>
INCLUDE <BIN_BCD.INC>
INCLUDE <LCD_4BIT.INC>
END

```

```

=====
;
; "DISEÑO INNOVADOR DE SENSOR PARA LADERAS".
; Campos Puebla Juan José
; UNAM, Facultad de Ingeniería
=====

```