



## XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras

“Perspectiva de la mujer profesional Iberoamericana, ante las tendencias de la ingeniería y arquitectura sostenible”

### **Gestión de riesgo mediante el uso de sistemas de auscultación automática. Aplicaciones geotécnicas e infraestructura**

***Ing. Alicia Alpizar Barquero, MSc.***

*Universidad Latina de Costa Rica, Heredia, Costa Rica.*

*aalpizar@iigconsultores.com*

#### **Resumen**

La ingeniería ha tenido un gran progreso en el panorama mundial. Los desafíos por desarrollar obras cada vez más ambiciosas han forzado el avance en los procesos de investigación y la creación de nuevas técnicas y tecnologías que atiendan las demandas del mundo moderno.

En la misma medida en que avanzan los desafíos, avanza también la responsabilidad de los profesionales encargados de estas obras; de allí la importancia de mantener una gestión de riesgo adecuada y acorde a la magnitud de la obra y su impacto en la sociedad.

La auscultación es parte de estas nuevas tecnologías; y su objetivo, es monitorear el comportamiento del terreno o de obras civiles a lo largo del tiempo. Las tecnologías empleadas, permiten obtener información del comportamiento del terreno o de la estructura, y medir algunos parámetros que controlan el mecanismo de falla de los mismos.

Asimismo, los avances tecnológicos actuales permiten implantar sistemas de auscultación que se pueden gestionar en remoto, permitiendo un seguimiento en tiempo real de los datos del monitoreo y la emisión de alarmas a los interlocutores seleccionados, de forma que se puedan adoptar soluciones de manera rápida y precisa, previendo situaciones de riesgo tanto para el personal que labore en etapa de construcción como para posteriores usuario del proyecto.

Este tipo de sistema de investigación es el medio más eficiente para que el ingeniero encargado vigile el comportamiento de una obra y evalúe su seguridad, desde la etapa de investigación y construcción, hasta la operación misma del proyecto.

#### **Desarrollo**

#### **INTRODUCCIÓN**

La construcción de obras de gran envergadura, donde nos enfrentamos diariamente a geologías complejas, espacios limitados, zonas de alto tránsito o alta densidad poblacional, incrementa los niveles de riesgo en los proyectos y la vulnerabilidad del entorno. Sin embargo, estas no pueden ser limitaciones a nuestro trabajo.

Panamá, 17 – 21 de Febrero, 2014

La ingeniería está obligada a contribuir con el desarrollo que demanda el mundo en la actualidad, manteniendo rangos de seguridad acordes a estas demandas. Así como ha sucedido en otros campos de acción, la investigación ha permitido desarrollar una serie de tecnologías que permiten cumplir con los estándares de seguridad que requieren obras de gran calado.

La observación de las obras, durante y después de la construcción, permite comprobar los resultados del cálculo de diseño y tomar medidas oportunas en el caso de que la diferencia con la realidad suponga un peligro para dichas obras, o siempre que se estime conveniente por norma o criterio técnico.

Dado todo este proceso innovador, es de nuestro interés, enfocar esta presentación en una descripción breve y concisa de los diferentes métodos que existen para llevar a cabo el monitoreo de terrenos de potencial inestabilidad, de parámetros ambientales y/o de infraestructura en función del riesgo y su gestión, y con ello dar a conocer opciones de control, aplicables a proyectos que vayan desde simples taludes, hasta complejos controles de monitoreo en obras de gran escala como las presas hidroeléctricas o túneles.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL:**

Presentar una herramienta tecnológica que mejore la gestión de riesgo en proyecto, tanto para la fase de construcción como de operación, y que brinde información oportuna y confiable al profesional encargado para la toma de decisiones.

### **ESPECÍFICOS:**

- Relacionar el riesgo en obras y su gestión a través de los métodos de auscultación para obras.
- Definición de la Gestión de Escenarios de Emergencia implementando sistemas de auscultación automática y sus aplicaciones a la Ingeniería Civil o de Obras.
- Aplicaciones del método propuesto

## **DEFINICIONES**

### **EL RIESGO Y SU GESTIÓN EN OBRAS:**

El **riesgo** se define como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas. Los factores que componen el riesgo son: la amenaza y la vulnerabilidad.

Por su parte, la **Amenaza** es un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales. La amenaza se determina en función de: la intensidad y la frecuencia.

**Vulnerabilidad** son las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o bien que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza.

El Riesgo, se puede definir en función de la siguiente ecuación:

$$Riesgo = Amenaza \cdot Vulnerabilidad$$

Los factores que componen la vulnerabilidad son: la exposición, susceptibilidad y resiliencia, relacionados de la siguiente manera:

$$Vulnerabilidad = \frac{Exposición \cdot Susceptibilidad}{Resiliencia}$$

La **Exposición** es la condición de desventaja debido a la ubicación, posición o localización de un sujeto, objeto o sistema expuesto al riesgo.

**Susceptibilidad** es el grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso.

**Resiliencia** es la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuestos a una amenaza para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de sus efectos de manera oportuna y eficaz, lo que incluye la preservación y la restauración de sus estructuras y funciones básicas.

Todo proyecto, se expone a distintos niveles y tipos de riesgo, que deben ser gestionados en las distintas etapas de desarrollo del mismo, incluyendo en algunos casos la fase de operación.

Una correcta gestión de riesgo en proyectos involucra las siguientes actividades:

- Identificar los tipos de riesgos que se pueden esperar
- Definir el nivel de riesgo, incluyendo la amenaza y la vulnerabilidad de cada uno
- Identificar los parámetros que definen la amenaza del riesgo
- Establecer un rango admisible de seguridad de los parámetros que definen la amenaza
- Monitoreo de los parámetros indicados en punto anterior
- Diseño e implementación de un plan de intervención preventiva en función de los datos obtenidos en monitoreo y los rangos admisibles de seguridad.

## **AUSCULTACIÓN AUTOMÁTICA:**

En general, la auscultación es el control periódico de una construcción o zona de afección de una obra, en su relación con el terreno o con su proceso de operación.

La puesta en marcha de este control, requiere del cumplimiento de dos fases: 1) Instrumentación y 2) Monitoreo. Ambas fases requieren de una definición exacta de los parámetros a medir, y un programa de monitoreo acorde al riesgo y a los rangos de seguridad de la amenaza.

De acuerdo a Jiménez S. J, De Justo A. J, Serrano G. A (1981), la vigilancia de las construcciones puede dividirse en cuatro grupos principales de medidas:

- Desplazamientos (en profundidad o superficie)
- Presiones intersticiales
- Cargas soportadas (compresión o tensión, dinámica o estática, etc.)
- Presiones contra un medio (presión al suelo, a muros, etc)

Además, mencionan la existencia de otros grupos no principales pero de gran aporte como:

- Vibraciones o sismos
- Ruido
- Temperatura
- Caudales
- Meteorológicos (precipitación, viento, humedad, etc.)

Olalla (2007), menciona que la **instrumentación** de terrenos y obras, se puede realizar por dos métodos:

- Método Clásico
- Sistemas de Auscultación Automática

**Método Clásico**: Son técnicas tradicionales de control, que se realizan de manera conjunta a un buen reconocimiento litológico y geológico en el caso de terrenos, y definición del comportamiento mecánico en el caso de estructuras. Estos métodos se han venido utilizando con éxito y son todavía válidos en los sistemas de monitoreo actual.

De acuerdo a Olalla (2007), una lista de los equipos que se aplican en el método clásico son:

- Inspección visual directa
- Pares de estereofotos y su interpretación
- Adquisición manual de topografía
- Inclínometría manual
- Medición manual de giros en superficie
- Equipos de Extensometría de control manual
- Piezometría manual
- Aparatos para medir la evolución de fisuras
- Controles meteorológicos, en particular temperatura, viento y precipitaciones
- Otros

**Sistemas de auscultación automática**: la combinación de instrumentos electrónicos y las técnicas de telecomunicación hacen hoy día posible la auscultación automática de terrenos y estructuras y el envío de la correspondiente información por medio de control remoto.

Los sistemas de auscultación automático, junto con los instrumentos de control, en superficie o profundidad, se pueden utilizar para controlar, conocer y hasta predecir un deslizamiento o falla de una estructura. De acuerdo a Olalla (2007), la transmisión automática y remota de datos, se puede hacer mediante:

- Líneas telefónicas fijas
- Líneas telefónicas móviles
- Fibras ópticas
- Radio
- Satélites

## Análisis y Métodos

El desarrollo de infraestructura es cada día más exigente en las técnicas constructivas y de operación, las obras necesarias para la sociedad de hoy son casi siempre más grandes, de mayor riesgo por estar cada día más cerca de las zonas urbanas de alta densidad y con plazos constructivos cortos para una entrada en operación extremadamente rápida.

Toda esta actividad acelerada, exige también mayor prevención tanto en el proceso constructivo como en el de operación, haciendo cada día más necesaria una gestión de riesgos eficiente, eficaz y con respaldo para el profesional encargado que debe tomar decisiones bajo altos niveles de presión.

En la tabla 1, se muestran dos ejemplos de posibles riesgos, sus parámetros de medición asociados y la posible instrumentación a colocar.

**Tabla 1- Algunas aplicaciones de Gestión de Riesgo con sistemas de auscultación**

<i>Riesgo</i>	<i>Parámetros a Medir</i>	<i>Instrumentación</i>
Deslizamiento de talud	Presión Intersticial	Piezómetros
	Desplazamiento en superficie y profundidad	Inclinómetros
		Topografía
	Extensómetros	
Fallo de muro o anclajes	Carga de anclajes	Células de Carga
	Presión de Empuje	Células de presión

El esquema de trabajo de los sistemas de auscultación en obras se muestra en la siguiente tabla, y esquematiza el trabajo mediante un proceso de lectura manual o automatizada en un centro de control.

**Tabla 2- Sistemas de Auscultación Automática**

<i>Proceso de Auscultación</i>	<i>Adquisición de Datos</i>	<i>Procesamiento de Datos</i>
Manual	Manual	Manual (Unidades de adquisición manual)
ADA (Adquisición de Datos Automatizada)	Automatizada	Manual (Computador de campo)
Registro Remoto	Automatizada	Automatizada

La automatización de los registros de monitoreo, se realiza mediante un software que recibe y procesa toda la información generada por los instrumentos colocados en sitio, pudiéndose combinar con mediciones manuales, que son posteriormente incorporadas al sistema.

El método permite realizar una instrumentación inicial que registra comportamientos durante todo el proceso de construcción y mantener registros en la fase de operación, haciendo modificaciones a las frecuencias de lectura, según la etapa en la que se encuentre y los resultados obtenidos de lectura.

## **APLICACIONES DE LA METODOLOGÍA:**

La auscultación automática permite controlar los siguientes riesgos en proyectos:

- Movimientos en taludes de corte
- Movimientos o asentamientos de rellenos
- Giros de estructuras
- Asentamientos en estructuras
- Cambios de temperatura
- Parámetros meteorológicos
- Vibraciones o sismicidad
- Presiones de empuje
- Carga en anclajes
- Caudal y nivel de agua en cauces
- Descompresiones
- Ruido
- Entre otros

En el caso de proyectos de obra lineal, la auscultación automática permite sectorizar el proyecto y definir un programa en función de su nivel de riesgo; generando un sistema de monitoreo en red, vinculado a un solo centro de control que registra el comportamiento de cada parámetro en tiempo real con un record histórico detallado.

El registro de datos en un proyecto lineal; además, permite actuaciones preventivas frente a posibles riesgos y mejora los programas de mantenimiento del proyecto, ya que el reporte del comportamiento en tiempo real de cada sitio monitoreado, permite una intervención oportuna, con registro de resultados de cada solución implementada.

Los sistemas de auscultación automática permiten al profesional encargado, obtener:

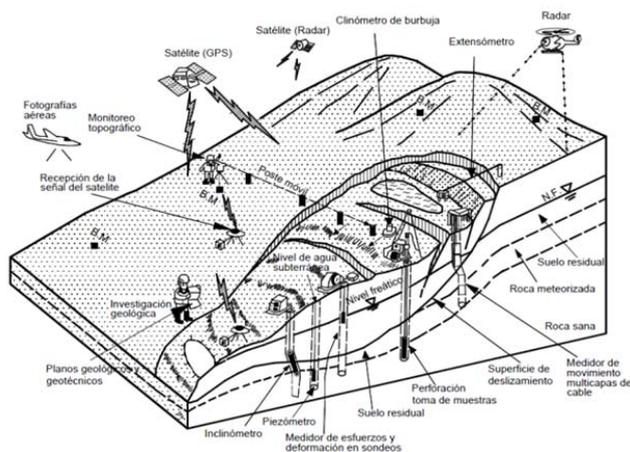
- Datos medidos de cada parámetro instrumentado
- Registro de datos en tiempo real
- Acceso a una base de datos actualizada
- Alarmas de generación automática con programación previa y según los límites admisibles de seguridad
- Información segura para toma de decisiones

## **Resultados y Discusión**

Las obras que tenemos que desarrollar en zonas de alta densidad poblacional, en zonas de riesgo por las características propias del terreno o la topografía, o que sean de una dimensión tal que pueda elevar los niveles de riesgo en su entorno durante su proceso constructivo o de operación, deben contener un plan de gestión de riesgo eficiente, eficaz, y autónomo, que agilice la toma de decisiones seguras, y que optimice el recurso del proyecto.

La auscultación es una herramienta tecnológica, que ayuda a cumplir las expectativas de una correcta gestión de riesgo, y da respaldo a las decisiones del encargado del proyecto.

Las opciones de instrumentación son muy variadas, las tecnologías que se han desarrollado en este campo, permite el uso de un sin número de equipos que facilitan desde lecturas manuales hasta remotas, así como registros puntuales de información como continuos. La siguiente figura muestra varias de las posibilidades de equipos y dispositivos que se pueden utilizar en el caso de taludes o deslizamientos.



**Figura 1- Esquema general de instrumentación geotécnica (Suárez, 2012)**

## Conclusiones

La instalación de un sistema de instrumentación geotécnica o estructural, permite detectar, de manera oportuna, las anomalías que se desarrollen o tengan tendencia a desarrollarse, tanto durante la construcción, como en la fase operativa de las obras.

Este tipo de sistema de investigación, es el medio más eficiente para que el ingeniero encargado vigile el comportamiento de una obra y evalúe su seguridad, puesto que mediante la información obtenida de los diferentes sensores, se puede determinar, de forma más concreta y específica, el comportamiento de un terreno que se encuentra sometido a un proceso de inestabilidad, o las solicitaciones a las que se puede encontrar sometida una estructura localizada en un zona inestable.

La implantación de un sistema de monitoreo, permite mejorar la eficacia de los mantenimientos preventivos y correctivos, puesto que se suelen detectar las anomalías en los primeros estados de su aparición, siendo más fácil su corrección, que en aquellos casos en los que dicha anomalía se encuentra muy avanzada.

Por otro lado, el empleo de sistemas de monitoreo, permite no sólo cuantificar el impacto de un problema, sino también aclarar cuál es la causa que genera dicho problema. Por lo que a la hora de plantear actuaciones correctoras, se pueden aplicar soluciones definitivas que resuelvan el origen

del problema, en vez de plantear soluciones temporales que frenen momentáneamente el problema.

Asimismo, el coste que supone implantar un sistema de monitoreo, es ínfimo, en comparación con el ahorro económico que puede suponer para el Estado o para las Constructoras, aplicar soluciones correctoras o modificar durante la marcha, el propio proceso constructivo, disponiendo de información detallada que permita asegurar el éxito de dicha solución correctora o de dicha modificación realizada durante la propia ejecución.

En Costa Rica, la necesidad de implantar sistemas de aviso/alarma se ha mencionado en varias ocasiones y en distintos foros. Sería, por tanto, recomendable, profundizar más en detalle sobre este tipo de actuaciones y plantearse la implantación de sistemas de monitoreo, en zonas de alta vulnerabilidad.

### Trabajos Futuros

Impulsar la creación e implementación de planes de emergencia para obras, basados en programas de auscultación automática.

### Referencias

Suárez, Jaime. “Deslizamientos, Tomo I: Análisis Geotécnico”. 2012. Bucaramanga, Colombia.

Olalla, Claudio. “Auscultación de Laderas”. Jornadas Técnicas sobre Estabilidad de Laderas en Embalses. 2007. Zaragoza, España.

Jimenez, José, De Justo, José, Serrano, Alcibiades. “Geotecnia y Cimientos II: Mecánica del Suelo y de las Rocas”. 1981. Madrid, España.

### Acerca del Autor (Autores)

*La Ing. Alicia Alpizar Barquero estudió la licenciatura en Ingeniería Civil en la Universidad Latina de Costa Rica. Posteriormente se graduó como Master en Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones en el CEDEX – Universidad Politécnica de Madrid, España. Tuvo a cargo la Jefatura del Departamento de Geotecnia del Ministerio de Obras Públicas de Costa Rica por dos años, y ocupó el puesto de Gerente de Geotecnia en la compañía CACISA por tres años y medio.*

*Actualmente es la Gerente General de la empresa IIG CONSULTORES y es además, Profesora de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Latina de Costa Rica en su Sede Heredia.*

### Autorización y Renuncia

La autora del presente artículo autoriza a la EIMIAA para publicar el escrito en el libro electrónico del XII Encuentro Iberoamericano de Mujeres Ingenieras, Arquitectas y Agrimensoras. La EIMIAA o los editores no son responsables ni por el contenido ni por las implicaciones de lo que está expresado en el escrito.