

Técnicas Modernas para el Monitoreo de Estructuras a partir del uso de Estaciones Totales Motorizadas y Redes de Receptores GNSS – Proyecto Minero Bajo la Alumbraera, Argentina

Irineu da silva – Wernher Ibañez Leon

irineu@sc.usp.br - wibanez@cientecinstrumentos.cl

Resumen

En combinación con la investigación del comportamiento estructural de grandes obras, es también una práctica común en todo el mundo, la realización de procedimientos de vigilancia para los posibles desplazamientos de aquellos puntos críticos presentes en proyectos de estructuras de gran envergadura que puedan comprometer la seguridad y la protección del medio ambiente en las distintas fases de su construcción u operación. Este ha sido el caso para estructuras presentes en proyectos tales como: taludes en faenas mineras de tajo abierto (Open Pit), taludes presentes en obras viales, control vertical en proceso constructivo para edificios de gran altura, estabilidad estructural para instalaciones de gran envergadura y control de deformaciones y estabilidad estructural para represas. La solución en este caso ha sido el uso de instrumentación geotécnica y, más recientemente, el uso de técnicas de control polar por medición de distancias, a través del uso de estaciones totales topográficas combinadas con redes de receptores satelitales del tipo GNSS en combinación con un sofisticado software para procesar y analizar el comportamiento de la estructura en estudio. Este artículo muestra cómo esta nueva tecnología se puede utilizar para proporcionar una completa herramienta automática, precisa y eficiente para el control de los distintos tipos de estructuras. Como ejemplo de aplicación, se discute la instalación de este sistema en el Proyecto Minero Bajo de la Alumbraera, localizado en la provincia de Catamarca, Argentina.

Abstract

In addition to investigations of structure behavior, it is common to perform structural displacements monitoring aiming the security control and environment protection on critical structural projects throughout the world. This has been done quite often for large constructions as mining walls, transportation banks, civil engineering bold structures and important water reservoirs and water dams. The solution in this case has been the use of geotechnical instrumentation and, more recently, also the use of real time monitoring techniques by means of modern geodetic methods, as for instance, the use of motorized total stations combined with GNSS receivers network linked to management software for processing and structural behavior analysis.

This article illustrates how this new technology can be used to provide a fully automated system, accurate and efficient for the monitoring of different kind of structures. As a practical example, it discusses the installation of such a system in the Bajo la Alumbraera project, in Catamarca, Argentina.

Introducción.

Además de las investigaciones enfocadas al estudio de comportamientos de estabilidad estructural, es común llevar a cabo procesos de medición con propósitos de vigilar eventuales desplazamientos estructurales que comprometan la seguridad humana y protección del medio ambiente en las etapas de construcción y operación de proyectos de gran envergadura en todo el mundo. Esto se ha transformado como una condición necesaria para la operación de proyectos mineros en tajo abierto, obras viales con presencia de taludes, estructuras de ingeniería civil de gran envergadura y estructuras que permitan la acumulación de grandes

volúmenes de agua. La solución en este caso ha sido el uso de la instrumentación geotécnica y, más recientemente, también el uso de técnicas de vigilancia en tiempo real por medio de métodos modernos de Geodesia, como por ejemplo, el uso de estaciones totales motorizadas en combinación con el uso de receptores satelitales del tipo GNSS gestionados por programas aplicativos para el procesamiento y análisis de comportamiento estructural.

En el caso de los métodos geodésicos, la práctica más común durante muchos años fue la aplicación del método de trilateración, el cual tiene como base la medición de distancias entre dos o más puntos de control, y los puntos de vigilancia instalados en la estructura en movimiento. Se debe mencionar que la ventaja de este método es la independencia de mediciones angulares, lo que evita la presencia de errores sistemáticos debido a la refracción atmosférica y garantiza una baja incertidumbre de los resultados debido a la alta precisión de las mediciones de distancias con el uso de sistemas de medición electrónica de distancia (EDM). Desde los años 90, con la aparición de equipos topográficos asistidos con sistemas de servomotores con capacidad de reconocimiento automático de prismas, se abrió una nueva era para los procesos de vigilancia automática. Con el uso de esta nueva técnica, los prismas se ubican en los sectores comprometidos con situaciones de inestabilidad y en aquellos puntos estables que serán utilizados como referencia. Luego, un instrumento del tipo estación total robótica controlada por una aplicación sofisticada de software está instalado en una base apropiada para realizar las medidas a los prismas que representarán la situación de inestabilidad y aquellos que se utilizarán como patrón de referencia. En el proceso de medición se registran el ángulo horizontal y vertical, además de la distancia a partir de los cuales se calculan los valores de coordenadas en el sistema de coordenadas locales del proyecto para posteriormente determinar el eventual desplazamiento de los prismas. Comúnmente la estación total se instala en una estructura estable y permanente para garantizar que las coordenadas calculadas sean coherentes con la red de referencia. Por lo tanto se requiere que a lo menos un punto de referencia debe estar disponible para orientar la estación y para verificar posibles rotaciones de los pilares del equipo debido a eventuales variaciones de temperaturas.

La medición de cada punto se puede realizar mediante una tecnología que permite el reconocimiento automático de los prismas (ATR), o bien, por una técnica que permite el barrido del prisma a partir de la señal de retorno (Signal Scan). En el primero, el método de ATR, se utiliza una cámara CCD montada en el telescopio de la estación total para registrar la imagen del retorno de un rayo láser. La imagen es analizada para identificar cualquier variación de posicionamiento del prisma en el campo de visión del equipo. En el segundo método el sistema utiliza la intensidad de la señal de retorno para identificar la posición del prisma. En cuanto al alcance en distancia, la primera técnica puede llegar a 3 km en condiciones de buena visibilidad, en cambio, con la segunda técnica el sistema puede llegar a medir hasta 4 km, pero con algún empobrecimiento en precisión angular de la medición. La Figura 1 muestra un ejemplo de una instalación típica de los monitores con estación total.

Instalación Típica – Monitoreo con Estación Total

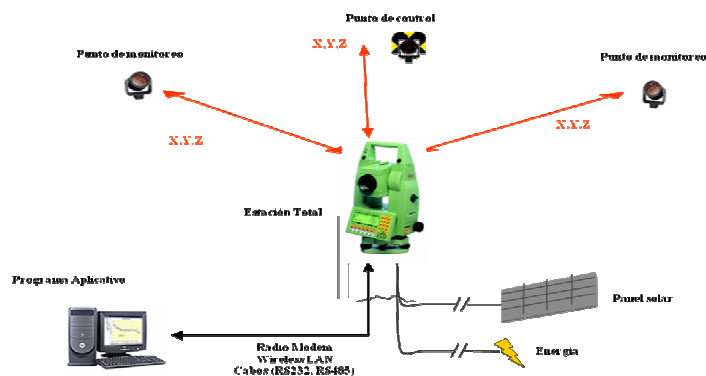


Figura 1 - Ejemplo de una instalación típica de los monitores con Estación Total

Una tercera opción de control de estabilidad, recientemente empleada en el control de estabilidad estructural, es la opción que utiliza los datos de satélites tipo GNSS para la creación de puntos de control en lugares no estables, en algunos casos, y en otros para la medición directa de puntos actuando como sensores de movimiento. Este artículo presenta los detalles de ese método de control y como una aplicación de ejemplo, se dedicará a debatir la instalación de un sistema de auscultación a partir del uso combinado de estaciones totales y receptores satelitales GNSS en el proyecto Minero Bajo de la Alumbreira, localizado en la Provincia de Catamarca, Argentina.

Método Combinado utilizando Estaciones Totales y Receptores Satelitales GNSS.

Los sistemas de posicionamiento global asistido por satélite (GNSS) son muy interesantes para realizar el estudio de la geodinámica, ya que, además de su calidad alta en el posicionamiento de los puntos, tiene la característica de no requerir línea de visión entre los puntos medidos. Por esa razón, el método combinado de auscultación es una alternativa importante si se tiene en cuenta las situaciones comunes en aquellas zonas de explotación minera que presentan características de inestabilidad en torno a la zona de extracción de material, situación que impediría la instalación de equipos de auscultación y de puntos de referencia. Dado que los sistemas GNSS permiten que los puntos de referencia no tengan visual entre ellos y tampoco exista restricción de distancia, estos se podrían utilizar como ubicaciones para los puntos de referencia para la estación total. De esa manera, la posición de la estación es actualizada a partir del sistema GNSS y las mediciones de deformación a los puntos de vigilancia (prismas de auscultación) y puntos de referencia se realizan con la estación total con el propósito de determinar el desplazamiento de los prismas considerando los posibles cambios en la condición de la estación determinado a partir de la medición a los puntos de control. Además de esto, los receptores GNSS, en situaciones especiales, también podrían ser utilizados para controlar movimientos en zonas fuera del área de explotación. La Figura 2 muestra un ejemplo de una instalación de un sistema combinado de seguimiento utilizando la estación total y sensores GNSS.

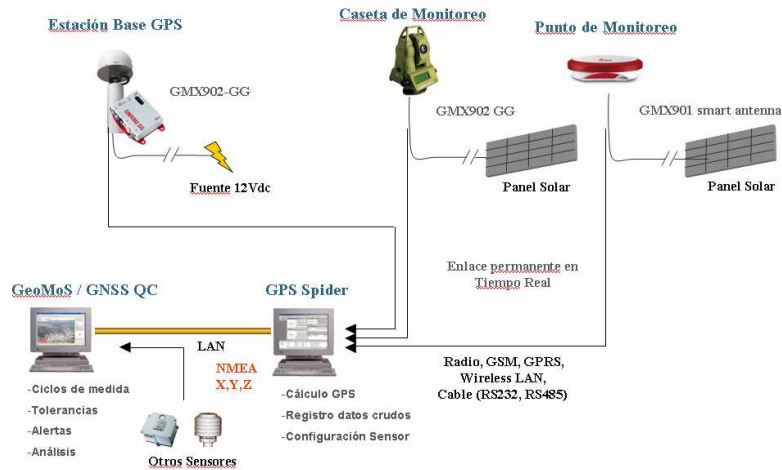


Figura 2 - Ejemplo de instalación de una combinación de supervisión del GNSS + Estación Total

El proyecto de explotación cuprífera Bajo de la Alumbrera – Modelo Conceptual

Las faenas del proyecto Minera Bajo de la Alumbrera se encuentra al noroeste de la provincia de Catamarca, Argentina, al este de la Cordillera de los Andes desde una altura de 2600 metros sobre el nivel del mar. A continuación se muestra en la Figura 3 una vista general de la mina (www.alumbrera.com.ar).



Figura 3 - Vista general de la mina

De acuerdo a las condiciones geográficas presentes y a los planes de expansión de mediano y largo plazo que tiene la mina se observaron los siguientes aspectos para el proyecto de monitoreo:

- Los vectores de monitoreo alcanzarán un rango de 2.4 km de acuerdo a la planificación de largo plazo para las distintas actividades de extracción.
- De acuerdo a la dinámica que presentan las distintas actividades de extracción, se recomienda un sistema de instalación itinerante que permita el traslado instrumental.
- En la compañía se encuentra establecido un sistema de red LAN a través de un sistema wireless el cual permite tener cada estación de monitoreo como un punto IP de la red corporativa.
- Se requiere la implementación de un sistema de alarma que permita generar mensajes de texto para celulares o sistema similar.

De acuerdo a lo anterior, la proposición conceptual para la instrumentación de monitoreo adoptada fue la opción de monitoreo combinado con estación total y GNSS, según configuración presentada a seguir.

Instalación de dos estaciones de monitoreo robóticas basadas en la familia de estaciones totales TPS1200 (TCRA120X-R300) de la empresa Leica Geosystems. Las estaciones totales instaladas permitieron al usuario disponer de mediciones en las modalidades ATR, procesos de rastreo SignalScan en las Bandas Infrarroja y Laser y por último mediciones de distancia inclinada en las bandas infrarroja y láser.

El control de posicionamiento de cada estación total se realizó mediante una red GNSS operando en la modalidad RTK entregando una calidad de posicionamiento de 1cm en tiempo real. Para eso, conjuntamente con las estaciones totales, fueron instalados en dos casetas de vigilancia prefabricadas, dos receptores GNSS de doble frecuencia de la familia GPS1200 de la empresa Leica Geosystems. Otro receptor GNSS del mismo tipo fue instalado a una distancia de 5 km de la zona de monitoreo. Ese receptor opera como estación de referencia transmitiendo correcciones en tiempo real para el posicionamiento de las antenas en las casetas. La Figura 4 muestra la caseta de vigilancia con la instalación de la estación total y de la antena GNSS.

Finalmente cada estación de monitoreo está controlada por una licencia del software GeoMoS, en su configuración profesional y dos licencias de GeoMoS Analyzer también de la empresa Leica Geosystems. La Figura 5 muestra el diagrama conceptual de los distintos componentes instrumentales que involucra esta solución.



Figura 4 - Caseta de vigilancia

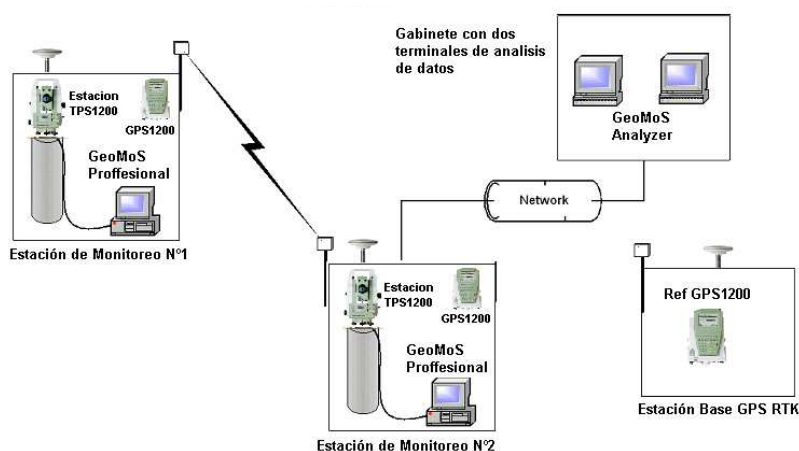


Figura 5 - Diagrama conceptual de la instalación de la vigilancia

Sistema de Auscultación Instalado

A partir de las características del terreno y de la distribución geo-espacial del proyecto, se determinaron las posiciones de las casetas, del GPS de referencia y de los prismas de monitoreo. A continuación se muestra, en la Figura 6, una vista en planta de la distribución de los prismas y de la posición de la caseta 1, de acuerdo al sistema de coordenadas existente en el proyecto. En la misma figura se debe notar el punto BA3, el cual ha sido asignado como punto de control. La caseta 2 y el GPS de referencia no están exhibidos en esa figura.

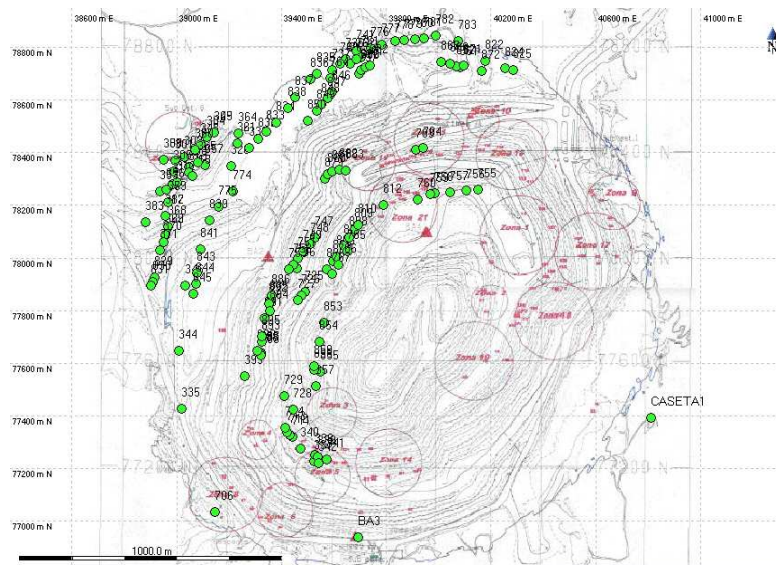
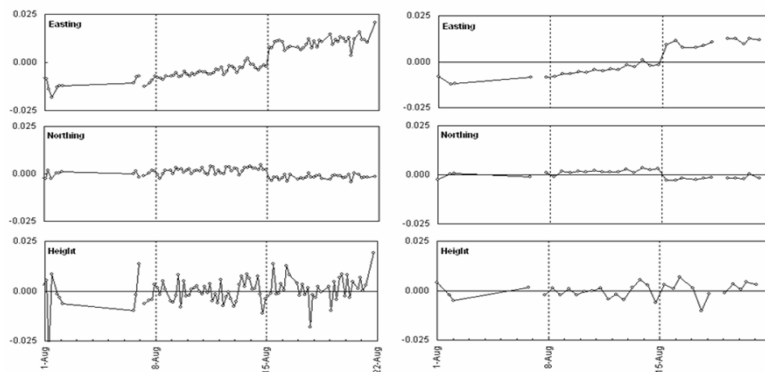


Figura 6 – Distribución espacial del sistema de auscultación

Resultados Obtenidos con la Instrumentación en Operación

A partir del comportamiento operacional del sistema, de la calidad de las medidas y de los resultados obtenidos, se pueden indicar los comentarios presentados a seguir.

En el proyecto, los prismas considerados como estables son utilizados como referencias para la orientación de la estación de monitoreo. Por lo tanto se hizo un análisis del comportamiento de uno de esos prismas, en este caso, el prisma BA3, considerando su posicionamiento a partir de mediciones sin y con correcciones GPS de la estación total. La Figura 7 muestra claramente la reducción de la incertidumbre de las medidas con la aplicación de la corrección por sistema GPS.

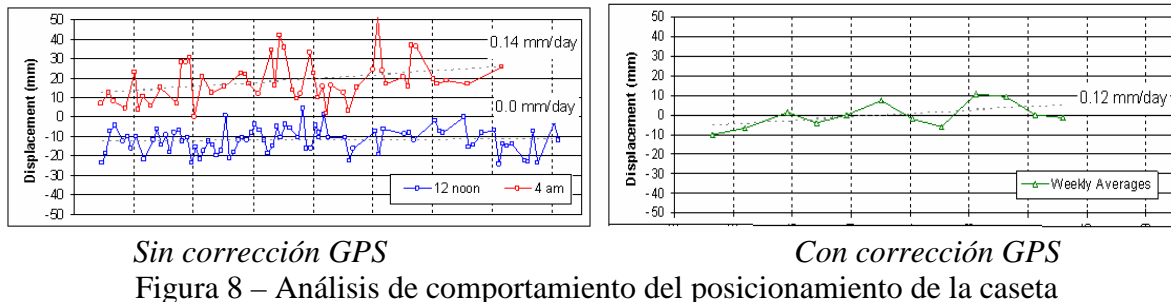


Sin corrección GPS.

Con corrección GPS.

Figura 7 – Análisis del comportamiento de un prisma estable

Otro análisis interesante es conocer el comportamiento de la posición de la caseta a partir de las medidas a puntos estables y con corrección GPS. En la Figura 8 se aprecia claramente la reducción de la incertidumbre de las medidas con la aplicación de la corrección por sistema GPS.



Finalmente es imprescindible analizar el comportamiento de un prisma con cierta característica dinámica. Las Figuras 9 y 10 muestran los movimientos capaces de ser detectados por el sistema sin y con la aplicación de correcciones por sistema GPS.

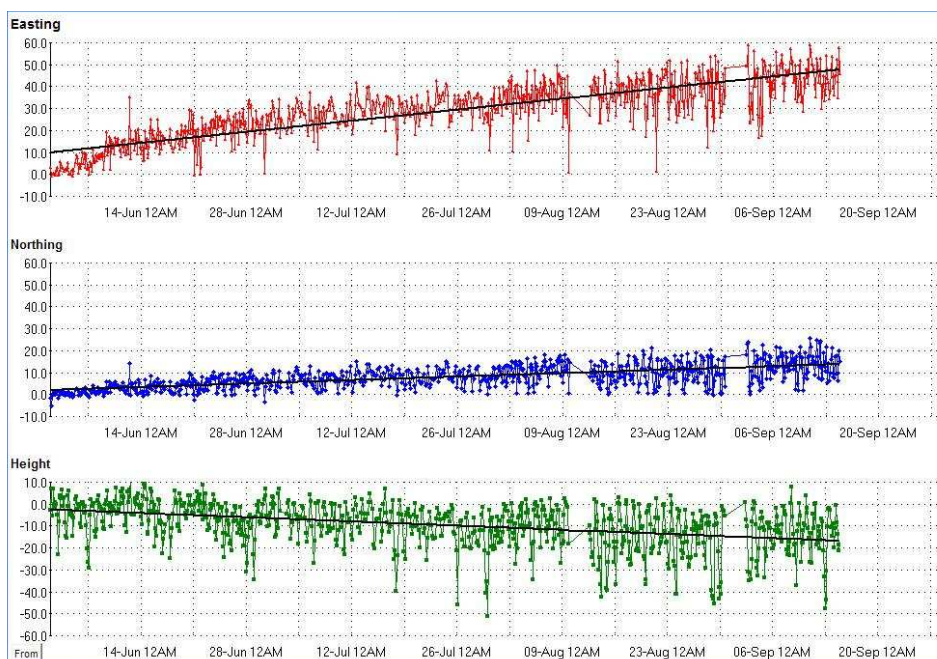


Figura 9– Análisis del comportamiento dinámico de un prisma sin corrección GPS.

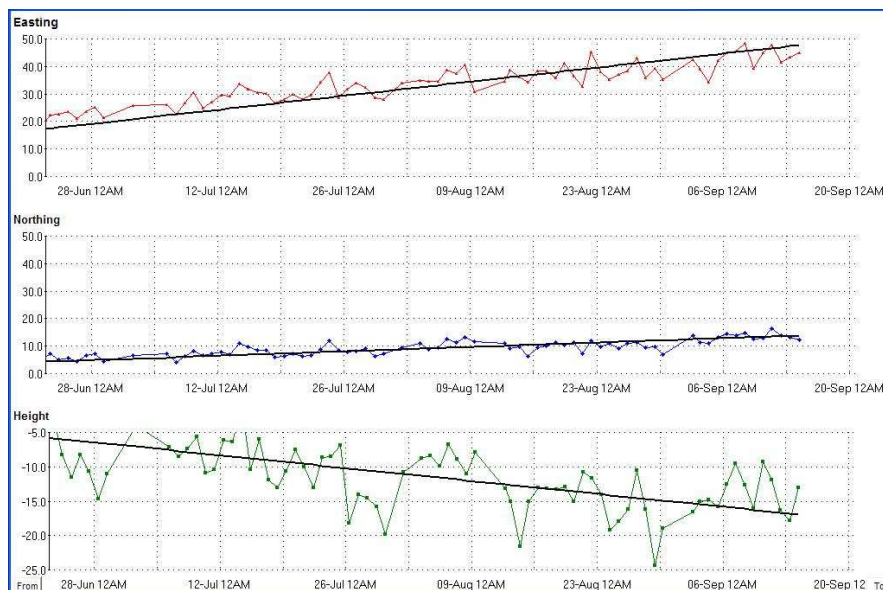


Figura 10 – Análisis del comportamiento dinámico de un prisma con corrección GPS.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, se concluye que la aplicación de correcciones del tipo GPS en los registros polares de la estación total permite reducir los niveles mínimos de detección de movimiento en los sistemas de auscultación de minas a tajo abierto. De esa forma, desde un punto de vista operacional, se puede concluir que el sistema combinado de estación total y sistema GNSS es una solución adecuada para la auscultación de estructuras y que permite mejorar las condiciones de alerta temprana dado que el sistema puede detectar condiciones de inestabilidad en los inicios de esta.

Referencias Bibliográficas

Guedes, Q. M., Silva, I. (2006) Funil Shell Dam Center Arch Crown Horizontal Displacement Monitoring Controlled by Geodetic Auscultation, Optical Plumb and GPS. III Simpósio sobre Instrumentação de Barragens. São Paulo – Brasil.

Brown, N. Kaloustian, S. Roeckle (2007) Monitoring of Open Pit Mines using combined GNSS Satellite Receivers and Robotic Total Stations. In: www.leica-geosystems.com.