

***Evaluación geotécnica de objetos industriales a partir de mediciones geodésicas reiteradas / Evaluation of geotechnical industrial objects from repeated geodetic measurements***

Yamilé Espinosa-Gainza. [yespinosa@facing.uho.edu.cu](mailto:yespinosa@facing.uho.edu.cu)

**Institución de la autora**

Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya"

**PAÍS:** Cuba

**RESUMEN**

La Geodesia Aplicada constituye una herramienta que puede ser usada para corroborar los resultados de la evaluación geotécnica de cualquier objeto de obra. En este trabajo se aborda la evaluación de objetos industriales empleando mediciones geodésicas reiteradas. Se ofrece además la metodología empleada para la observación de las deformaciones verticales, obteniéndose la magnitud de las deformaciones y se evalúa la cimentación usando el método de la suma por capas para la determinación del asentamiento admisible.

**PALABRAS CLAVES:** ASENTAMIENTO; ESTABILIDAD; GEOTECNIA; GEODESIA; GEOLOGÍA.

**ABSTRACT**

The applied Geodesy constitutes a stool that can be used to corroborate the results of the geotechnical evaluation of any object of building. This work shows how the stability can be determined using repeated geodesic measurements. Besides, this work describes the methodology which is used to observe the vertical deformations, so, the magnitud of deformations is obtained and foundation is evaluated using the method of sum by capes to determine the admissible settlement.

**KEY WORDS:** SETTLEMENT; STABILITY; GEOTHECNIA; GEODESY; GEOLOGY.

## INTRODUCCIÓN

La principal causa de la ocurrencia de los desperfectos en las construcciones es motivada por las deformaciones que se producen en las masas de suelo y no debido al elemento estructural.

Según Terzaghi, la capacidad de carga se puede expresar como:

$$q_0 = \delta \frac{B}{2} * N_{\delta} + C' * N_C + q * N_q \quad (1)$$

Donde:

$\delta$ : Peso del suelo

$N_{\delta}$ : Influencia del peso del suelo

$B$ : Ancho de la cimentación

$C'$ : Cohesión del suelo

$N_C$ : Influencia de la cohesión

$q$ : Sobrecarga

$N_q$ : Influencia de la sobrecarga

Definiendo la estabilidad como la capacidad del suelo para soportar una carga sin que se produzcan fallas dentro de su masa y de acuerdo con la expresión (1), para establecer el valor de la misma podemos especificar que además de las características físicas y mecánicas juega un papel fundamental la carga que soporta la cimentación.

Si analizamos los términos que se incluyen en la expresión arriba expuesta podemos dar como acertadas también las conclusiones de G. P. Tschebotarioff (1963) donde plantea que entre la superestructura, el cimiento y el suelo se produce una unión indisoluble y que esta puede considerarse como un conjunto.

Este autor manifiesta que el cimiento es el encargado de transmitir y distribuir las cargas que actúan sobre él y que a su vez esta distribución debe realizarse de manera que no se produzcan tensiones excesivas a ninguna profundidad bajo el cimiento. Estas tensiones excesivas son las causantes de la rotura

del terreno soportante ocasionando un asentamiento tan desigual en la superficie del terreno que da lugar a grietas o averías análogas en la superestructura originadas por las deformaciones de ésta subsiguientes al asiento desigual.

Según G. B. Sowers y F. G Sowers (1976) la observación de los asentamientos puede servir para prevenir dificultades, pues los deslizamientos, hundimientos subterráneos y fallas por capacidad de carga comienzan por lo general con un lento pero gradual aumento de la velocidad de asentamiento. Los asentamientos excesivos producen generalmente el agrietamiento en los edificios y con ello el colapso de la estructura.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Trabajos geodésicos para la determinación de las deformaciones.**

Las obras ingenieras con el paso del tiempo sufren deformaciones que son consecuencia de distintos factores que actúan sobre ella, tanto en la cimentación como en la construcción en general. La observación de las mismas adquiere gran importancia si tenemos en cuenta que conociendo su magnitud y velocidad es posible compararlos con las deformaciones estimadas o de pronóstico a fin de controlar la resistencia y la estabilidad de los suelos y de la obra en su conjunto.

Los asentamientos pueden ser uniformes y no uniformes (diferenciales). En el primer caso ocurren sólo cuando la presión provocada por el peso de la construcción y la compresibilidad de los suelos, en todas sus partes bajo el cimiento, son iguales. El segundo caso ocurre siempre que las construcciones se apoyen sobre suelos con densidades diferentes, la influencia de las cargas es diferente o cuando recibe la influencia de cimientos vecinos.

**Para la determinación de los asentamientos se deben realizar los siguientes pasos:**

- 1. Localización, diseño e instalación de los puntos durante la determinación de los asentamientos:** La medición de los asentamientos está precedida por el establecimiento de los puntos de la

base de apoyo altimétrica y los puntos de control o de deformación (marcas).

La finalidad de la base de apoyo altimétrica (puntos del ramillete de profundidad) consiste en fijar en el terreno para un período largo de tiempo y de forma estable las elevaciones de los puntos geodésicos, asegurando la constancia de los datos iniciales.

En el reconocimiento de la base altimétrica se le confiere mucha importancia a la ubicación de los puntos para que sea un reflejo lo más exacto posible del fenómeno que está ocurriendo, fundamentalmente en aquellos lugares donde se observan las mayores deformaciones. La localización de los puntos de control de las deformaciones (marcas) constituye una de las etapas fundamentales del trabajo organizativo durante la medición de los asentamientos. De la correcta ubicación de estas marcas dependerá la velocidad y precisión de las observaciones a realizar (Alexandrovich, 1987)

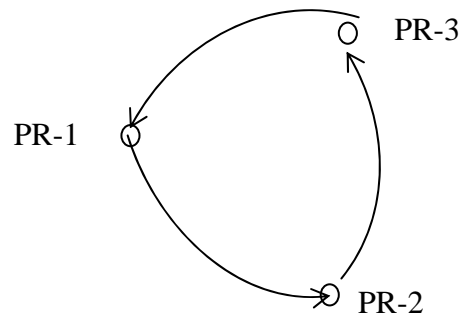


Fig.1. Esquema del ramillete de profundidad

2. Determinación de los asentamientos: **El estudio de los procesos de asentamiento de las obras de ingeniería puede llevarse a cabo por diversos métodos, pero el más usado es el método de nivelación geométrica. (Sundakov, 1981; Alexandrovich, 1987)**

**La esencia de este método consiste en que en los períodos estipulados de observaciones, se trazan líneas de nivelación por los puntos de control instalados.**

La magnitud del desplazamiento vertical de cada punto y, por consiguiente de la obra sobre la cual aquel esté colocado, se determina por la diferencia de las cotas absolutas de dicho punto, obtenidas en dos ciclos sucesivos de observaciones.

Este método, de acuerdo a la precisión requerida para la medición de la magnitud de los asentamientos se clasifica en:

- ✓ Nivelación I categoría: se miden los asentamientos de los cimientos de edificios y obras consideradas únicas, así como los edificios y obras construidas sobre base rocosa.
- ✓ Nivelación II categoría: se miden los asentamientos de los cimientos de cualquier edificio u obra construida en suelos arenosos, arcillosos y otros suelos compresibles.
- ✓ Nivelación III categoría: se miden los asentamientos de los cimientos de edificios y obras que se construyen sobre rellenos o suelos de grandes asentamientos.

Los asentamientos se determinan con un error medio cuadrático (emc) que no exceda de:

- ✓ Para I categoría: 0.15 mm/ est.
- ✓ Para II categoría: 0.30 mm/est.
- ✓ Para III categoría: 0.45 mm/est.

**3. Nivelación de los puntos de referencia:** El control de la estabilidad de los puntos de la base geodésica (puntos del Ramillete de Profundidad), se realiza desde una puesta de instrumento al centro del ramillete, siendo los brazos nivel- mira iguales. Se ejecutan ocho puestas de instrumento, cuatro en ida y cuatro en regreso. Las diferencias obtenidas emc los desniveles a partir de dos puestas de instrumento en el mismo sentido no deben ser mayores que dos divisiones del micrómetro (0,10 mm) y entre dos puestas de instrumento en sentido contrario cuatro divisiones del micrómetro (0,20 mm).

El error de cierre del polígono se calculó por la fórmula:

$$fh = \pm 0.15 \text{ mm} \sqrt{n} \quad (2)$$

Donde:

$n$ : cantidad de puestas de instrumento.

**4. Nivelación de las marcas:** Según la instrucción de nivelación I categoría, se tienen en cuenta los siguientes requisitos técnicos: la nivelación se realiza con doble puesta de instrumento en ida y regreso por el método de las coincidencias con nivelaciones de alta precisión, los que deben garantizar un emc de 0.5 mm por kilómetro de nivelación. El error permisible entre dos puestas de instrumento en un mismo sentido es de cuatro divisiones del micrómetro (0,20 mm) y entre dos puestas de instrumento en sentido contrario seis divisiones (0,30 mm). En este tipo de nivelación se utilizan miras de invar con dos escalas graduadas y desplazadas una con respecto a la otra en 2.5 mm.

**5. Procesamiento de las mediciones verticales (altimétricas):** La elaboración de los materiales de nivelación en gabinete comienza con la comprobación de los resultados de las mediciones de campo para el primer ciclo de mediciones y el cálculo de los desniveles promedios. Posteriormente se confecciona el esquema de las líneas de nivelación, sobre el cual se llevan todos los desniveles calculados en cada polígono. Además en el mismo se señalan los errores de cierre obtenidos en los polígonos y se comparan con los permisibles establecidos para la determinación de los asentamientos en las marcas del objeto estudiado.

A partir de los datos obtenidos se confecciona el compendio de los resultados de la nivelación y se ajusta la red para cada ciclo. El ajuste se realiza por el método de mínimos cuadrados, siendo ajustados todos los resultados a partir del empleo del software AJUSNIV creado en la Empresa GEOCUBA Oriental de Geodesia y Cartografía.

Los resultados obtenidos de la nivelación de todos los puntos de control en el período evaluado se representa en una tabla comparativa para cada objeto. En esta aparecen las alturas de las marcas para los ciclos de mediciones con su fecha de observación, diferencia de alturas entre los ciclos realizados y la acumulación de estos valores con respecto al ciclo inicial.

La nivelación ejecutada exige de instrumentos de alta precisión, para ello se emplea el nivel de alta precisión Wild N - 3 y juegos de miras invar, de 1,0 m y 3,0 m.

## **RESULTADOS DEL TRABAJO**

### **Evaluación del comportamiento espacio temporal de los puntos.**

Este punto abarca todo lo relacionado con el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los ciclos de mediciones geodésicas realizadas y además la evaluación geotécnica del área de estudio, correlacionando las variables monitoreadas durante toda la investigación.

Una vez realizadas las mediciones en todos los puntos y marcas de control de asentamiento y confeccionado el catálogo de desniveles con las alturas obtenidas, se analiza y valora cada uno de los objetos de obra, evaluando el comportamiento espacio- temporal del área de estudio atendiendo a los resultados de las mediciones geodésicas ejecutadas.

Se analiza la estabilidad de la red inicial, que integran los puntos del Ramillete de profundidad. Calculándose por el método de Kostachel que es el más recomendable para este tipo de polígonos. Este método plantea que un punto es estable si al comparar el desnivel obtenido con respecto al ciclo anterior no sobrepasa  $2\text{mm}\sqrt{L}$ .

Donde:

L: Longitud de la sección en kilómetros.

El esquema de observación entre los puntos del Ramillete para determinar la estabilidad debe mantenerse invariable durante todos los ciclos con el objetivo de elevar la precisión de las observaciones.

**Resultados obtenidos en la observación de las marcas de asentamiento.**

La interpretación de los resultados obtenidos se realiza dividiendo el área en los polígonos geodinámicos que permitan definir con cierto nivel detalle el comportamiento de cada uno de los puntos que lo integran.

Se analiza cada uno de ellos, ofreciendo el esquema tridimensional con el valor absoluto de los desplazamientos verticales de las marcas en los ciclos más representativos, el gráfico del comportamiento de los puntos en los que la deformación es mayor y la magnitud de la velocidad de asentamiento o ascenso en las marcas más críticas que posibilitan emitir criterios sobre el objeto estudiado. Se deben ofrecer los errores medios cuadráticos obtenidos en la determinación de las alturas de las marcas y en los cierres de los polígonos.

**Análisis geotécnico de la cimentación**

El chequeo por deformación en el diseño geotécnico de las cimentaciones tiene un matiz muy particular, que requiere de mucha atención por parte de los ingenieros, la consolidación se produce en un tiempo bajo disímiles condiciones. El pronóstico de los asentamientos que sufren las construcciones, encierra cierta incertidumbre, debido a los métodos empleados para estimar o calcular el mismo; ello se fundamenta a partir de las hipótesis de comportamiento del suelo, considerando el mismo en condiciones de homogeneidad, isotropía y deformación elástica.

Para evaluar la base de las cimentaciones atendiendo al criterio deformacional hay que tener presente, en primer lugar las cargas que son responsables de producirlas. Una parte de las tensiones impuestas cambian la magnitud de las tensiones efectivas y como consecuencia cambia la relación de vacíos. Este chequeo se realiza para las cargas permanentes y entre el 20 y 25 % de la carga de uso de larga duración.

El diseño plantea para el cálculo de los asentamientos que el asentamiento calculado debe ser menor que el asentamiento admisible de acuerdo al tipo de estructura de que se trate.

El método de suma por capas pertenece a los más generales del cálculo de los asientos de las obras. El mismo permite tomar en consideración la heterogeneidad de la estructura y las propiedades de la base. La posibilidad de



ensanchamiento lateral del suelo y su influencia sobre la edificación en construcción las ya construidas o las que se encuentran en construcción.

La esencia del método de suma por capas consiste en que la base de una construcción se divide en una serie de capas y se calcula la compresibilidad de cada una de ellas, el asentamiento total de la base representa la suma de los asentamientos de todas las capas.

El cálculo se determina por:

$$\delta'_{zp} = I_0 * \delta'_p$$

Donde:

$I_0$ : Coeficiente de influencia que depende de la forma del cimiento y del punto

donde se quiera evaluar la tensión  $I_0 = f\left(\frac{L}{B}; \frac{Z}{B}\right)$

$\delta'_p$ : Tensión por carga impuesta, depende del tipo de distribución que se adopte.

Se debe proceder a la revisión del asentamiento de la cimentación, teniendo en cuenta si es superficial o profunda, aplicando el método antes mencionado.

De acuerdo al perfil ingeniero – geológico y al proyecto técnico ejecutivo la cimentación se debe revisar el estrato sobre el que se encuentra apoyada la cimentación.

La determinación de la tensión por carga impuesta se corresponde con la fórmula:

$$\delta'_p = \frac{N}{A} - \gamma h$$

$$A = BL$$

Donde:

N: Carga impuesta

A: Área del cimiento

$\gamma$  : Peso específico del estrato

h: Desplante del cimiento

B: Ancho del cimiento

L: Largo del cimiento

El asentamiento en este caso se calcula como:

$$S = \frac{1}{6}h \sum \xi_s + 4 \varepsilon_c + \varepsilon_s$$

Donde:

$\xi$ : Valor del asentamiento en la parte superior, central e inferior del estrato.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo define una metodología para la evaluación geotécnica de las obras industriales empleando mediciones geodésicas reiteradas, concluyendo que: el comportamiento espacio- temporal del área que ocupan los objetos industriales puede determinarse mediante el uso de la Geodesia Aplicada y que los resultados obtenidos mediante la nivelación pueden compararse con los alcanzados por el método de la suma de capas para la evaluación geotécnica de las cimentaciones.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda aplicar esta metodología en la evaluación de la estabilidad de los objetos industriales.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, L.E. (1998). Evaluación de los factores deformantes en los objetos industriales a partir de mediciones geodésicas reiteradas. ISPJAE, Facultad de Ingeniería Civil, La Habana, Cuba, 123 pp
2. Alexandrovich R. L. Cabrera M. P. (1987). Geodesia Ingeniera. Pueblo y Educación, Ciudad Habana.
3. Batista Rodríguez J. A. (2002) Nuevas regularidades geológicas de la región Mayarí-Sagua-Moa a partir de la reinterpretación del levantamiento aerogeofísico. ISMM, Facultad de Geología, Moa, Cuba, 120 pp.
4. Batista, Y. (2007) La geodesia en los estudios de PVR en las estructuras. Academia Granma. La Habana.
5. Cosser, E. et al. (2003) Measuring the dynamic deformation of bridges using a total station. Proceedings, 11<sup>th</sup> FIG Symposium on Deformation Measurements, Santorini, Greece.

6. Delgado, D. E. (2003) Estudio del comportamiento de los suelos cohesivos con problemas de inestabilidad volumétrica y sus soluciones ingenieriles. UCVC, Facultad de Ingeniería Civil, Villa Clara, Cuba, 125 pp.
7. Feld, J. (1978). "Fallas técnicas en la construcción". Editorial Sumisa. México.
8. NC 1: 2007. Norma para el diseño geotécnico de cimentaciones superficiales.
9. Rueda, M. (1996) Metodología para la medición de asentamientos en obras industriales. GEOCUBA. Holguín.
10. Sowers, G. B.; G.F. Sowers. (1976) Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones.. editorial Limusa., México, 677pp.
11. Sundakov, A. Ya. (1981) Trabajos Geodésicos para la Construcción de Grandes Obras y Altos Edificios. Editorial Mir. Moscú.

## **Síntesis curricular de la Autora**

**Yamilé Espinosa-Gainza.** [yespinosa@facing.uho.edu.cu](mailto:yespinosa@facing.uho.edu.cu). Profesora asistente.  
Departamento de Ingeniería Civil. Universidad de Holguín “Oscar Lucero Moya” Ave.  
XX Aniversario. Piedra Blanca. Holguín

**Fecha de Recepción:** 12/11/2011

**Fecha de Aprobación:** 10/12/2012

**Fecha de Publicación:** 15/04/2013