

## VI Congreso Agrimensura, La Habana 2013

**Título:** “La certificación geométrica en Topografía de alta definición de obras (levantamiento *As-Built*) como un caso particular del análisis 4D”

**Autor:** Dr. Ing. Ricardo Olivera Rodríguez.

**Institución:** GEOCUBA VC-SS.

**Ciudad:** Santa Clara, Villa Clara.

**País:** Cuba.

**Teléfono:** 042-202625 ext. 120

**Correo electrónico:** [rolivera@vcl.geocuba.cu](mailto:rolivera@vcl.geocuba.cu)

### Resumen:

Certificar geoméricamente con alta definición la construcción una obra (internacionalmente conocido también como levantamiento *As-Built*) es sinónimo de reflejar –con la precisión que la escala y la equidistancia seleccionada exige– las desviaciones existentes entre la obra real construida y la idealmente proyectada. Así, en ese plano se acotan numéricamente las diferencias detectadas en las dimensiones lineales, angulares y de desniveles reales con los ideales proyectados. Si analizamos que el levantamiento *As-Built* se realiza al transcurrir un determinado tiempo  $t_L$  (que es el acontecido a medida que se construyen objetos o partes aisladas, o incluso, la obra en su totalidad), y que se compara con un momento ideal de proyecto o referencia  $t_0$ , podemos inferir que este proceso tecnológico constituye un caso particular del análisis 4D, y por tanto, obedece al cumplimiento de la diferencia matricial  $C_t = C_L - C_0$ . De este resultado pueden inferirse entonces los análisis espaciales propios de la deformación geométrica 4D: diferencias absolutas y relativas, inclinación, flecha, etc. Esta propuesta contribuye a una mejor comprensión de la calidad de la construcción, siendo una contribución de la Topografía Aplicada a la mejora de nuestras obras. En la ponencia se expone un ejemplo concreto de la aplicación de este nuevo concepto en un hotel de Cayo Santa María, en la cayería norte de Villa Clara.

**Palabras claves:** Topografía Aplicada, certificación geométrica, As Built, levantamiento ejecutivo, análisis 4D, deformación,

## I. Introducción

El control geométrico es un conjunto de mediciones que se realizan para obtener una representación gráfica, a una escala definida, de una obra o parte de ésta, donde se establecen las coordenadas planimétricas y alturas reales de los elementos, tanto en la parte terrestre superficial como subterránea, de las construcciones y redes técnicas y compararlas con los valores establecidos en el proyecto. A esta actividad se le puede denominar también como levantamiento topográfico ejecutivo o levantamiento As-Built.

La certificación corriente o intermedia es aquel levantamiento topográfico que se realiza una vez finalizado un tipo de trabajo determinado; por ejemplo: la construcción de una zanja, un cimiento, un entrepiso, etcétera.

En ese plano se acotan numéricamente las diferencias detectadas en las dimensiones lineales, angulares y de desniveles reales con los ideales proyectados.

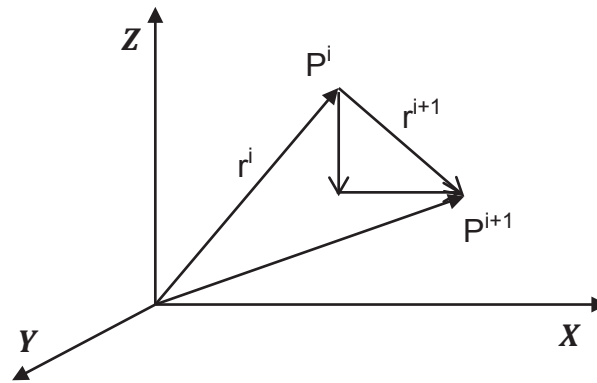
Si analizamos que este levantamiento se realiza al transcurrir un determinado tiempo  $t_L$  y se compara con un momento ideal de proyecto o referencia  $t_0$ , podemos inferir que este proceso tecnológico constituye un caso particular del análisis 4D, y por tanto, obedece al cumplimiento de la diferencia matricial  $C_t = C_L - C_0$ .

## II. Desarrollo

Si pretendemos que el levantamiento ejecutivo sea un caso particular del análisis 4D o de las deformaciones en el tiempo, debemos definir qué entendemos por tal.

Podemos decir que es un fenómeno espacial que ocurre en el transcurso del tiempo en el cual varía la forma de un objeto o parte de éste y se expresa por dos componentes básicas: el asentamiento vertical y el desplazamiento horizontal. Para el caso de objetos elevados se puede determinar, además, la inclinación.

Gráficamente la deformación se puede representar de la manera siguiente:



**Figura 1.** Representación gráfica de la deformación.

De forma numérica este modelo de deformación se expresa:

$$r^{i+1} = \sqrt{[X(t_{i+1}) - X(t_0)]^2 + [Y(t_{i+1}) - Y(t_0)]^2 + [Z(t_{i+1}) - Z(t_0)]^2} \quad \dots\dots(1)$$

donde:

- $r^{i+1}$  - vector deformación en el ciclo o tiempo  $i+1$ ;
- $t_{i+1}$  - tiempo  $i+1$ ;
- $t_0$  - ciclo o tiempo inicial o cero;
- X, Y, Z - componentes espaciales de las coordenadas.

Esta fórmula 1 puede ser también utilizada para expresar el resultado del levantamiento ejecutivo de certificación de una obra o de elementos aislados de esta, pero las variables anteriores adoptan el significado siguiente:

- $r^{i+1}$  - vector de la diferencia en la geometría entre lo proyectado y lo real al transcurrir el tiempo  $i+1$ ;
- $t_{i+1}$  - tiempo  $i+1$  en que se realiza el levantamiento ejecutivo;
- $t_0$  - tiempo de confección del proyecto;
- X, Y, Z - componentes espaciales de las coordenadas.

Veamos este concepto aplicado a un caso concreto de certificación: una zanja de excavación en un hotel de la cayería norte de Villa Clara.

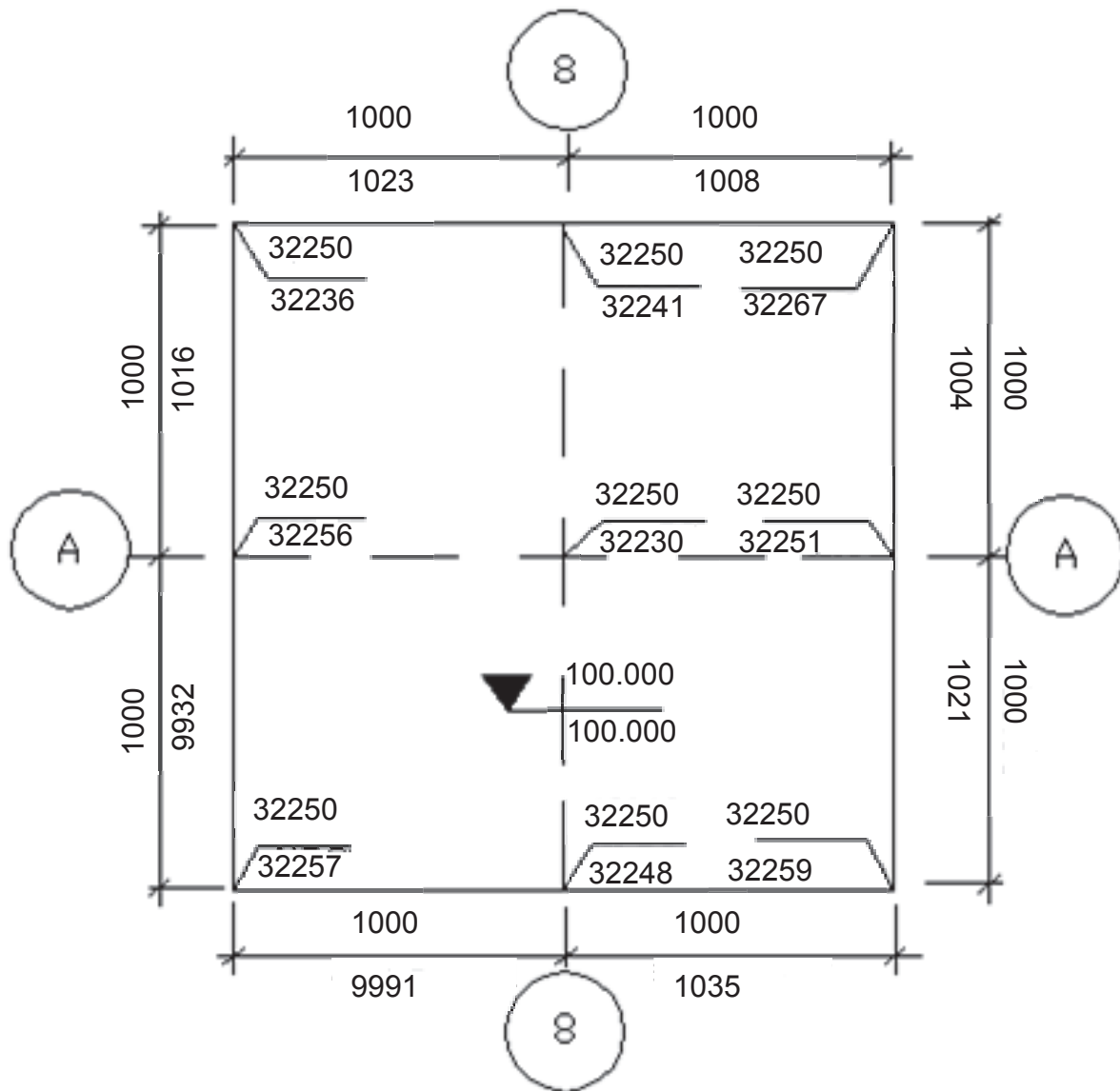
Durante la excavación de una zanja se realizan los siguientes trabajos geodésicos, encaminados al control de la ejecución:

- a. Revisión de los datos geodésicos (cotas y dimensiones lineales) de los esquemas o diseños de trabajo;
- b. Comprobación del replanteo y fijación real en el terreno del contorno del foso y determinación de las desviaciones de proyecto;
- c. Certificación periódica del foso para el cálculo de los volúmenes de excavación de tierra;
- d. Certificación definitiva de la zanja.

En la certificación del fondo se pueden emplear diferentes métodos de levantamiento; por ejemplo, una cinta métrica para medir las dimensiones de la excavación, un teodolito para establecer la correcta ubicación según los ejes de simetría, un nivel para determinar las cotas de la superficie y el fondo. Si se emplea la Estación Total la tarea consiste en determinar las coordenadas X, Y de los 4 vértices del foso en la parte superior e inferior, así como los centros de los mismos para comprobar su correspondencia con los ejes de simetría o ejes de fosos. También se determinan la Z, o sea, las alturas en cada uno de estos vértices en la parte superior e inferior. Por cualquiera de las vías de levantamiento se realizará un esquema ejecutivo similar al que se muestra en la figura 2.

En el esquema aparecen las dimensiones de la zanja y las cotas de los puntos de interés en el control ejecutivo. En la parte superior se ofrece el valor de la dimensión de proyecto, y en la parte superior la real construida. En el medio de la zanja se indica la cota de proyecto y la real del fondo. La desviación de las dimensiones y cotas con

respecto a la proyectada es una tolerancia impuesta por el proyectista de la obra, que no debe exceder para el caso de la zanja, por lo general, de  $\pm 3 - 5$  cm. Terminada la fase de certificación de la zanja y la comprobación de su correcta construcción es que se procede en obra a los trabajos de fundición de los cimientos.



**Figura 2.** Esquema tecnológico del levantamiento.

Para aplicar el razonamiento 4D que pretendemos realizar es necesario contar con las tres componentes espaciales de coordenadas XYZ de cada vértice aquí representado, lo que nos posibilitará hallar las dimensiones (distancias) entre cada vértice de interés, y

compararla con las que en proyecto se habían estipulado. Algo similar sucede con las cotas, es comparar lo real con lo proyectado.

Por ejemplo, para hallar al unísono la diferencia de dimensión y cota del vértice ubicado en la figura 2, parte superior izquierda, basta realizar la siguiente operación:

$$r^{i+1} = \sqrt{[X(t_{i+1}) - X(t_0)]^2 + [Y(t_{i+1}) - Y(t_0)]^2 + [Z(t_{i+1}) - Z(t_0)]^2}$$

Aquí las coordenadas con tiempo ( $t_{i+1}$ ) corresponden a lo real construido, y con tiempo ( $t_0$ ) a las establecidas en el proyecto, que de antemano pueden introducirse en una base de datos, facilitando la tarea.

Si se desea saber las diferencias de manera aislada, es decir, las dimensiones lineales por un lado y las diferencias de cotas por otro, entre lo real construido y proyectado se procede al siguiente cálculo:

$$r^{i+1} = \sqrt{[(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2]_{t_{i+1}}} - \sqrt{[(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2]_{t_0}}$$

Para hallar las diferencias de cotas basta formular una expresión similar a la del cálculo del asentamiento en el tiempo:

$$S^{i+1} = Z_{t_{i+1}} - Z_{t_0}$$

La simbología  $i+1$  da la posibilidad de realizar el levantamiento o certificación ejecutiva en cualquier tiempo o etapa de construcción, lo que permite detectar errores de ejecución en etapas en que aún pueden enmendarse.

### III. Conclusión

La propuesta de análisis del levantamiento ejecutivo para certificar la calidad geométrica de la construcción de una obra, o partes aisladas de ésta, como un fenómeno 4D o de deformación resulta muy cómodo, ya que solo opera con las coordenadas XYZ de un conjunto de vértices de interés, determinados sus valores con la Estación Total, que al ser tratada en el postprocesamiento puede ser comparada con los valores ideales de proyecto. Para facilitar tal operación, de antemano puede contarse con esa base de datos y solo resta realizar la conveniente operación de cálculo.

Como se cuenta con un conjunto de coordenadas patrones y homologas medidas de la realidad, este tratamiento 4D puede inferir otras variables de interés para constructores y proyectistas, tales como: diferencia absoluta y relativa de dimensiones, inclinación, flechas, asentamientos, deformaciones no permisibles, etc.

### V. Bibliografía consultada

1. Bolshakov, V.D. *Manual de Geodesia Ingeniera*. Editorial Nedra. Moscú. 1985.
2. MET 30.04.2004. *Metodología para el monitoreo de las deformaciones de obras a partir de mediciones reiteradas en el tiempo*. GEOCUBA. La Habana. 2004.n
2. Olivera, R.R. *Keops: Enciclopedia electrónica de Topografía Aplicada*. Santa Clara 2012.