

EL PROBLEMA DE LA IDENTIDAD DE PUNTOS EN EL CONTROL INDUSTRIAL

Julio Roberto Roldán Rodríguez

Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia, Universidad Nacional
jroldan@una.ac.cr

RESUMEN

En la aplicación de la topografía de precisión para el control de maquinaria industrial, se establecen redes o estructuras topográficas de apoyo conformadas por un conjunto de estaciones, cuyas coordenadas son determinadas en un sistema local por medio de un ajuste geodésico de observaciones. Las observaciones, angulares y lineales, se realizan entre la estación del instrumento y el punto observado, ambos materializados en el piso de apoyo de la maquinaria. Por las condiciones desfavorables de visibilidad entre puntos, a veces se hace necesario señalar los puntos mediante plomadas y miretas de puntería colocadas sobre un trípode y centradas sobre los puntos con la ayuda de una plomada óptica. Se realiza un estudio sobre la coincidencia del punto de la mireta con el punto materializado en el suelo mediante un experimento para probar la identidad de ambos puntos.

PALABRAS CLAVES: topografía, análisis de deformaciones, control industrial.

ABSTRACT

In the application of precision surveys for controlling industrial machinery, networks or surveying structures based on a set of stations, which coordinates are determined on a local system by geodetic adjustment computations of the observations, are established. Angular and lineal observations are taken from the instrument station to the observed point, both materia-

lized on the support floor of the machinery. Due to un-favored visibility conditions, it is sometimes necessary to mark the points using sighting plumbs and rods placed on tripods and centered with the aid of an optical plummet. A study of the coincidence of the point of the rod with the materialized point on the floor is done by an experiment to test the identity of both points.

KEYWORDS: surveying, deformation analysis, industrial control.

INTRODUCCIÓN

Para el estudio de la identidad del punto en la puntería se utilizó una estación total con su trípode y cinco trípodes adicionales, cada uno con base nivelante y mireta de puntería. El experimento se efectuó en un sector plano y relativamente horizontal para simular las condiciones de espacio y características del suelo de una planta industrial. En total se materializaron seis puntos con clavos de acero, dejando sobresalir una parte del mismo por encima del piso para utilizarlo como puntería directa sobre el clavo. El conjunto de los seis puntos y las observaciones entre ellos configuran la red de experimentación mostrada en la figura 1.

Los puntos P1 a P4 simulan estaciones de apoyo para controlar los puntos O1 y O2 que simulan elementos de una maquinaria.

Por comparación entre los resultados que se obtienen al efectuar mediciones de direcciones

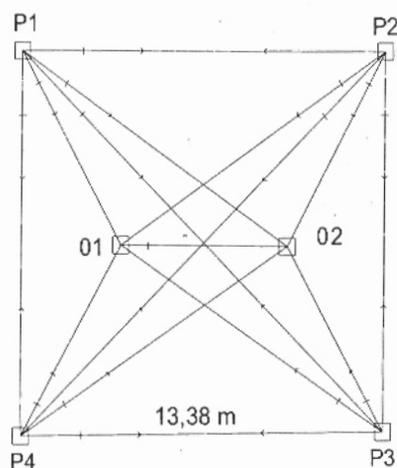


Figura 1. Red de experimentación.

y distancias a nivel del suelo y a nivel de la mireta de puntería se pretende determinar si existe identidad entre el punto en el suelo y su correspondiente con el de la mireta. De esta manera se tendrán para una misma estación dos puntos de puntería, uno arriba y otro abajo, como se muestra en el esquema de la figura 2.

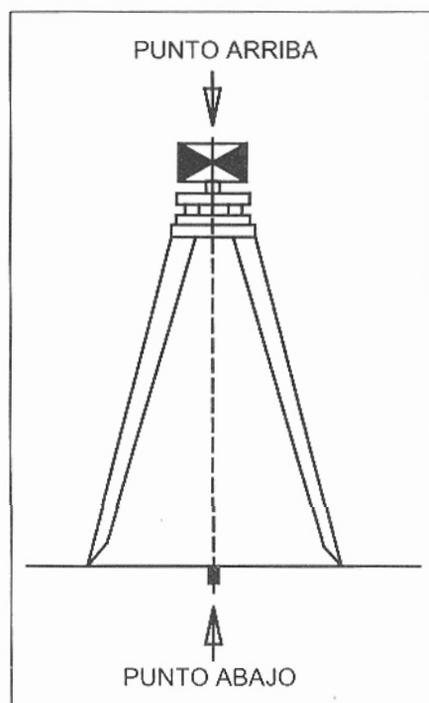


Figura 2. Puntos de arriba y abajo.

Si la proyección del punto de arriba sobre el suelo no coincide con el punto materializado con el clavo se da lo que se denomina falta de identidad entre el punto de arriba y abajo. Esto puede ser originado por un descuido en la puesta en estación de la mireta, por el uso de una plomada óptica desajustada, por una torsión de la mireta de puntería o por una torsión del trípode.

En el esquema de la figura 3 se muestra una falta de identidad entre los puntos de arriba y abajo. La línea de la plomada que pasa por el punto de arriba no coincide con la que pasa por el punto de abajo. Este desfase puede introducir errores considerables en las mediciones de direcciones y distancias, cuyas magnitudes se determinaron en este experimento con el fin de advertir al profesional que aplica la topografía para el control industrial.

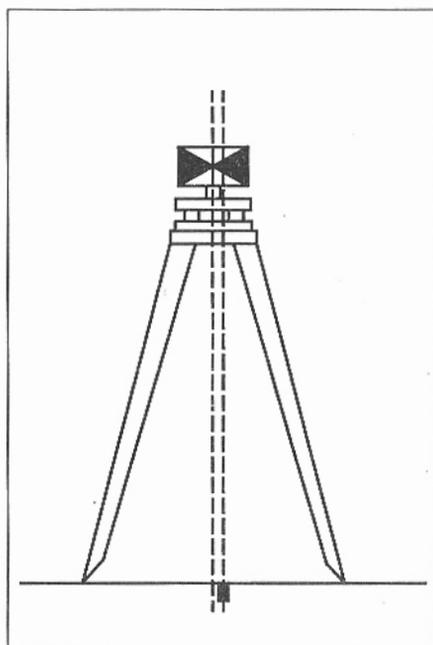


Figura 3. Desfase entre puntos de arriba y abajo.

METODOLOGÍA

En la red de la figura 1 se midieron distancias y ángulos en las líneas indicadas en dicha figura, tomando los puntos amojonados en el suelo mediante los clavos de acero. Se utilizó una

estación total electrónica, que da una exactitud angular de $\pm 1,0$ mgon y una exactitud lineal de ± 5 mm ± 3 ppm. Las observaciones de la red se ajustaron aplicando un ajuste de observaciones mediatas en su modalidad de red libre, el cual proporcionó coordenadas ajustadas de los seis puntos con sus desviaciones estándar y observaciones ajustadas, igualmente con sus desviaciones estándar.

La red se midió dos veces en forma totalmente independiente. Primero se efectuaron las mediciones de direcciones con estación total y las distancias con cinta, considerando como puntos de la red los materializados con las miretas colocadas a una altura de 1,56 m sobre el suelo y centradas sobre los clavos. Después se realizaron las mismas observaciones pero utilizando como puntos de la red los materializados en el suelo. En todo el experimento se usó la misma estación total y la misma cinta, de modo que las exactitudes teóricas de las observaciones se mantuvieron iguales en las mediciones a puntos en el suelo y en las miretas. Ambos conjuntos de observaciones se elaboraron por el método de ajuste de observaciones mediatas en forma libre de minimización total de traza de la matriz de los cofactores de las coordenadas ajustadas. Los ajustes dieron como resultados las coordenadas ajustadas de los seis puntos y sus desviaciones estándar, que se utilizaron para efectuar el estudio.

Con los dos conjuntos de resultados ajustados se efectuó una comparación, tanto de coordenadas como de observaciones. En esta comparación se realizó un análisis basado en el estudio de deformaciones, para determinar si existe congruencia entre las dos configuraciones, entre la obtenida con mediciones a puntos en el suelo y con mediciones arriba sobre las miretas.

RESULTADOS

El ajuste libre de minimización total de traza de la matriz de los cofactores de las incógnitas ajustadas, considerando sólo las observaciones realizadas a puntos en el suelo, dio como resultado las coordenadas ajustadas y desviaciones estándar de los seis puntos, como se muestran en el cuadro N° 1.

En este ajuste, la desviación estándar de la unidad de peso da $\pm 1,1$, que está en concordancia con $\pm 1,0$ establecida como desviación estándar de la unidad de peso a priori. Esto demuestra que los resultados son aceptables. Las desviaciones estándar de las coordenadas (s_x) muestran la buena determinación de las posiciones de los puntos con la red de experimentación, ya que éstas son de $\pm 0,3$ mm y $\pm 0,2$ mm. Valores que están dentro de las exigentes tolerancias generales para el control de maquinaria industrial.

Cuadro N° 1. Resultados del ajuste con observaciones a puntos en el suelo.

PTO.	TIPO	Aprox.		Ajust.	
		E/N	DELTA	E/N	s_x
P1	D	99.848	0.00	99.848	0.3
		112.61	0.00	112.61	0.3
P2	D	113.24	0.00	113.24	0.3
		112.568	0.00	112.568	0.3
P3	D	113.113	0.00	113.113	0.3
		99.997	0.00	99.997	0.3
P4	D	99.731	0.00	99.731	0.3
		99.862	0.00	99.862	0.3
O1	D	103.461	0.00	103.461	0.2
		106.187	0.00	106.187	0.2
O2	D	109.608	0.00	109.608	0.2
		106.123	0.00	106.123	0.2

El ajuste libre de minimización total de traza de la matriz de los cofactores de las incógnitas ajustadas, considerando sólo las observaciones realizadas a puntos en la mireta, dio como resultado las coordenadas ajustadas y desviaciones estándar de los seis puntos, como se muestran en el cuadro N° 2.

Los parámetros de exactitud obtenidos en este ajuste son prácticamente coincidentes con los del ajuste anterior. La desviación estándar empírica de la unidad de peso dio $\pm 1,1$ y las desviaciones estándar empíricas de las coordenadas ajustadas dieron $\pm 0,1$ mm y $\pm 0,2$ mm.

Cuadro N° 2. Resultados del ajuste con observaciones a puntos sobre la mireta.

PTO	TIPO	Aprox.		Ajust.	
		E/N	DELTA	E/N	S _x
P1	D	99.848	-0.8	99.847	0.2
		112.61	2.2	112.612	0.2
P2	D	113.24	0.4	113.240	0.2
		112.568	0.6	112.568	0.2
P3	D	113.113	1.2	113.114	0.2
		99.997	-0.8	99.997	0.2
P4	D	99.731	-1.3	99.729	0.2
		99.862	-1.3	99.861	0.2
O1	D	103.461	-0.2	103.461	0.1
		106.187	-1.2	106.185	0.2
O2	D	109.608	0.7	109.608	0.1
		106.123	0.5	106.124	0.2

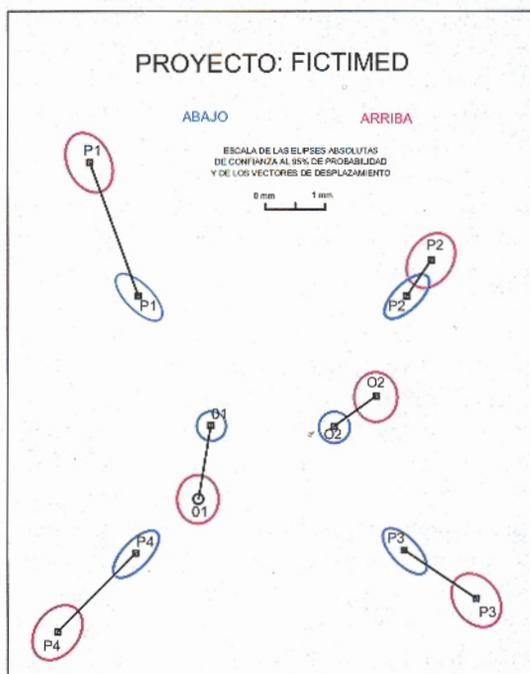


Figura 4. Comparación de las posiciones ajustadas de arriba y abajo.

DISCUSIÓN

La notable coincidencia de las desviaciones estándar de las coordenadas en los ajustes de ambos conjuntos de mediciones facilita el análisis de la congruencia entre las dos configuraciones, la de la red con mediciones a los puntos de arriba y la de la red con mediciones a los puntos de abajo. Se espera que las coordenadas ajustadas en ambos ajustes coincidan, por el hecho de utilizar punterías de puntos sobre miretas, cuya proyección sobre el suelo coincide con el punto en el suelo.

Para tener un nivel de confiabilidad del 95% en las conclusiones se compararon las regiones de confianza de las posiciones ajustadas de los seis puntos en ambos ajustes, tomando en consideración el vector desplazamiento entre las posiciones ajustadas de los puntos de ambos ajustes. Así se obtiene la posición de cada punto a partir de las mediciones en el suelo (abajo) y la posición de cada punto a partir de las mediciones sobre la mireta (arriba), como se muestra en la figura 4.

La figura anterior facilita una interpretación visual de la comparación de resultados. Las elipses de confianza absolutas correspondientes a la medición de abajo están en color azul y las de la medición de arriba en magenta. Los centros geométricos de las elipses representan las posiciones ajustadas y la línea que une dichos centros representan el vector diferencia de las posiciones.

Un vector desplazamiento que no esté comprendido totalmente por las elipses de confianza es una evidencia que la magnitud del vector desplazamiento es significativa, es decir, que las posiciones de un mismo punto, obtenidas de los ajustes de las mediciones hechas arriba y abajo, no son coincidentes.

De la figura 4 se desprende que, exceptuando el punto P2, en todos los puntos existe una discrepancia significativa, siendo la más grande la del punto P1, que es de aproximadamente 2,5 mm.

Por haber realizado un ajuste libre de minimización total, la discrepancia más grande puede

estar influyendo en las coordenadas ajustadas de los demás puntos, por lo tanto, no necesariamente se da una discrepancia real en los puntos P2, P3, P4, O1 y O2. Para eliminar la influencia del punto P1 se realizó un nuevo ajuste tomando dicho punto como nuevo. Los resultados demostraron que en el punto P4 se dio la mayor discrepancia de 1,8 mm en posición. En los demás puntos las discrepancias se mantuvieron por debajo de 1,0 mm.

El tercero y último ajuste con los puntos P1 y P4 como nuevos confirmó que en los demás puntos las diferencias en posición fueron menores que 1,0 mm.

Complementariamente se realizó un análisis basado en la comparación de las observaciones

originales de distancias y direcciones. Esta comparación se muestra en el cuadro N° 3.

La máxima diferencia en la medición de direcciones fue de 10 mgon, mayor que cinco veces la exactitud obtenible con la estación total utilizada. Un error de 10 mgon produce un error transversal de 3 mm a una distancia de 18,5 m y para mantener un error transversal de 1 mm se tendrían que mantener las distancias entre estaciones en un máximo de 6 m. En distancias de 18,5 m se tendría que medir con una exactitud de 3 mgon, que es muy factible de alcanzar.

Tomando 3,0 mgon como parámetro de tolerancia para las diferencias entre direcciones, se puede ver que de las 16 direcciones medidas,

Cuadro N° 3. Comparación entre las observaciones de abajo y arriba.

DE	A	DIR ABAJO	DIR ARRIBA	DIS ABAJO	DIS ARRIBA	DIF DIR	DIF DIS
P3	P4	0.000	0.000	13.383	13.385	0.000	-0.002
	O1	36.942	36.937	11.468	11.467	0.005	0.000
	P1	49.043	49.043	18.303	18.309	0.000	-0.006
	O2	67.559	67.560	7.058	7.059	-0.001	-0.001
	P2	101.292	101.286	12.575	12.571	0.005	0.004
P4	P1	0.000	0.000	12.747		0.000	
	O1	33.338	33.340	7.342	7.342	-0.002	0.000
	P2	51.365	51.361	18.543		0.004	
	O2	63.447	63.438	11.694	11.696	0.008	-0.002
	P3	98.771	98.763			0.009	
P2	P3	0.000	0.000			0.000	
	O2	32.031	32.028	7.399	7.398	0.002	0.001
	P4	51.308	51.310		18.549	-0.002	
	O1	62.552	62.545	11.679	11.678	0.007	0.001
	P1	99.558	99.568	13.391	13.393	-0.010	-0.002
P1	P2	0.000	0.000			0.000	
	O2	37.144	37.137	11.717	11.720	0.007	-0.003
	P3	48.196	48.190			0.006	
	O1	67.178	67.184	7.369	7.373	-0.006	-0.004
	P4	100.386	100.377		12.752	0.008	
O1	O2			6.149	6.148		0.001

sin considerar la de referencia que es nula, 11 superaron la tolerancia.

En las 15 distancias medidas se da una discrepancia máxima de 6,0 mm, seis veces mayor que la exactitud alcanzable de $\pm 1,0$ mm.

Del total de 15 distancias hay nueve con diferencias que superaron el milímetro. Tanto en distancias como en direcciones, el punto P1 está involucrado en las discrepancias máximas, el mismo que en la comparación de los resultados de los ajustes resultó con la mayor discrepancia en posición.

Las discrepancias en los resultados pueden atribuirse a la falta de identidad entre los puntos de arriba y abajo, a torsiones de las patas de los trípodes de madera y a la mayor inseguridad en la medición con la cinta suspendida a 1,56 m de altura.

Los resultados demostraron que la señalización de los puntos utilizados en las mediciones de direcciones y distancias para el control industrial debe someterse a un examen muy riguroso, con el fin de garantizar la identidad. Por eso debe verificarse la estabilidad de las señales y calibrarse los instrumentos para el centrado de puntos levantados sobre trípodes, aún cuando se utilice el método de centrado forzoso. La torsión de un trípode, por ejemplo, puede tener influencia significativa sobre los resultados de la medición, produciéndose errores que no permitirían lograr la exactitud milimétrica requerida en la mayoría de los controles industriales.

BIBLIOGRAFÍA

- Milev, G. 1985. *Geodätische methoden zur untersuchung von deformationen*. Konrad Wittwer. Stuttgart.
- Strauss, H. 1983. *Beweissicherungsmaßnahmen bei ingenieur-bauten en zeitschrift fuer vermessungswesen*. Konrad Wittwer. Stuttgart.
- Ingenieurvermessung 84. beitraege zum ix. internationalen kurs fuer ingenieurver-messung. band 3.
- Ingenieurvermessung 84. beitraege zum ix. internationalen kurs fuer ingenieurver-messung. band 2.