

CONTROL DE DEFORMACIONES DE LA LADERA NORTE DE LA MUELA DE CORTES DE PALLÁS MEDIANTE DISTANCIOMETRÍA SUBMILIMÉTRICA DE LARGO ALCANCE

TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO 2019/2020

AUTOR:
FILLÓL CASTELLÓ, JOAN
TUTORES:
GARCÍA-ASENJO VILLAMAYOR, LUIS Y GARRIGUES TALENS, PASCUAL

INTRODUCCIÓN

El DICGF de la UPV tiene suscrito un **contrato vigente** con el Área de Carreteras de la Diputación de Valencia para el control periódico de posibles deformaciones en la ladera norte de La Muela de Cortes de Pallás. Ésta sufrió un derrumbamiento en abril de 2015 (véase la Figura 1).

Por ello, en el año 2017, se implantó un **marco de referencia** compuesto por diez vértices de observación para la monitorización del posible movimiento de los quince testigos implantados en dicha ladera. El marco de referencia como los testigos situados en los puntos a controlar fueron observados por primera vez en julio de 2018 empleando técnicas de distanciometría submilimétrica de largo alcance. Transcurrido un año, en julio de 2019, dicha red se observó de nuevo con las mismas técnicas.

El objeto de este proyecto es la **observación, cálculo y compensación** de la campaña geodésica llevada a cabo en **julio de 2019** y la verificación de posibles desplazamientos, mediante el empleo de métodos y test estadísticos rigurosos. Teniendo en cuenta la exactitud y precisión exigida en el trabajo, el proceso incluirá la calibración previa de los equipos en conformidad de las normas internacionales ISO.



Figura 1: Derrumbamiento sobre la CV- 428

METODOLOGÍA

Obtenido los datos de la campaña geodésica 2019 y los datos de la campaña anterior 2018, se procede al cálculo empleando un ajuste **mínimo cuadrático** a partir de un modelo matemático específico con las distancias obtenidas del distanciómetro submilimétrico **Kern ME5000 Mekometer** (véase la Figura 2).

$$Ax - K = v$$

Además, el modelo funcional utilizado es el de **observaciones indirectas** que nos permite relacionar los parámetros con los observables. También, un modelo estocástico que nos forma la matriz de pesos a partir de la incertidumbre obtenida para cada distancia medida según la norma **ISO 17123-4** (véase la Figura 3).



Figura 2: Kern ME5000 Mekometer

$$-\frac{x_j - x_i}{D_{ij}^c} dx_i - \frac{y_j - y_i}{D_{ij}^c} dy_i - \frac{z_j - z_i}{D_{ij}^c} dz_i + \frac{x_j - x_i}{D_{ij}^c} dx_j + \frac{y_j - y_i}{D_{ij}^c} dy_j + \frac{z_j - z_i}{D_{ij}^c} dz_j - (D_{ij}^c - D_{ij}^o) = v_{ij}$$

$$u_0 = \sqrt{u^2(D) + u^2(\delta) + u^2(t_s) + u^2(t_h) + u^2(p) + u^2(e) + u^2(r)}$$



Figura 3: Logo de la ISO

Pero, como nuestro trabajo requiere de precisiones milimétricas, antes del cálculo del ajuste, debemos de corregir las distancias obtenidas de los **errores instrumentales** del propio ME5000, como de los **errores meteorológicos**. Además de reducir la distancia geométrica a la cabeza del pilar (véase la Figura 4). Por tanto, estas correcciones se resumen en las siguientes:

- Causadas por el instrumental
 - Constante de adición.
 - Desviación de la frecuencia
- Correcciones atmosféricas
 - Primera corrección de velocidad
 - Segunda corrección de velocidad
 - Curvatura de los rayos
- Reducción geométrica

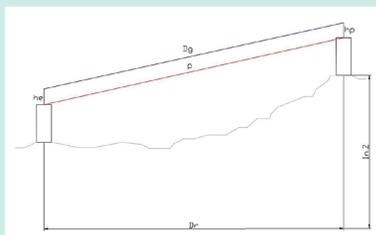


Figura 4: Corrección de la reducción geométrica

Realizado el ajuste de red libre en ambas campañas, eliminando los posibles errores groseros estadísticos encontrados en las observaciones, se procede a un nuevo ajuste libre con la **metodología de Blaha** que nos permite prescindir a la hora de la obtención del **datum** de aquellas componentes consideradas inestables para posteriormente realizar un **test de deformaciones** a sabiendas de que todos los vértices de la red pertenecientes al datum son estables (véase la Figura 5).

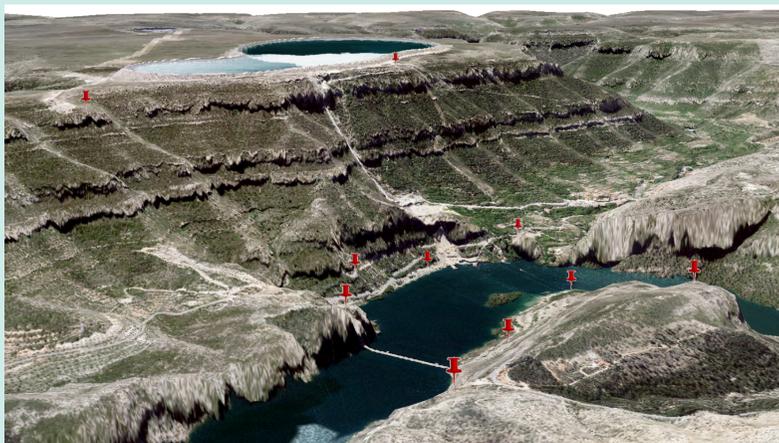


Figura 5: Disposición geométrica de la red geodésica

RESULTADOS

Para el **test de deformaciones** se debe de partir de dos ajustes independientes de dos épocas distintas, teniendo en consideración que deben de tener ambas el mismo datum.

Por ello, se realizaron dos test de deformaciones. En el primero de ellos, se tuvo que prescindir del datum el vértice de Camino de Otonel [8006], porque no fue observado en la campaña 2018, obteniéndose el siguiente resultado (véase la Tabla 1).

Punto	d_x	error_x	d_y	error_y	d_z	error_z	Total	Error	T	F(0.990,3,180)	Solución
8001	-1.36	0.47	0.96	0.34	-2.42	1.12	2.93	1.26	1.792	3.89	No existe deformación
8002	0.55	0.29	0.40	0.28	4.32	1.33	4.37	1.39	5.669	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8003	0.94	0.18	0.76	0.28	1.44	0.87	1.88	0.93	5.762	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8004	0.45	0.39	-1.03	0.40	-1.90	2.63	2.21	2.69	2.603	3.89	No existe deformación
8005	0.64	0.37	-1.33	0.41	-4.01	1.46	4.27	1.56	8.252	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8007	-1.43	0.72	-1.78	0.60	1.80	1.65	2.91	1.90	9.662	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8008	0.17	0.40	0.69	0.33	3.88	1.01	3.94	1.14	3.490	3.89	No existe deformación
8009	0.44	0.31	2.17	0.46	-3.31	1.68	3.99	1.77	8.194	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8010	-0.39	0.68	-0.84	0.41	0.20	1.10	0.94	1.35	1.428	3.89	No existe deformación

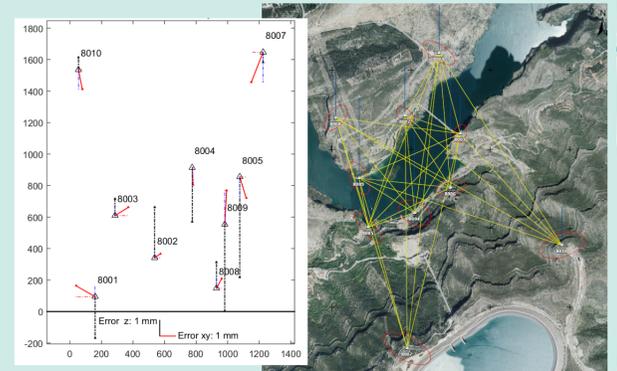
Tabla 1: Resultado del primer test de deformaciones

Para el segundo test, se determinó que el vértice de Castillo [8005] en todas sus componentes (x, y, z) es el que mayor deformación presenta. Además, analizando con más profundidad se observa que la componente vertical (z) del vértice de Playa [8009], presenta un gran desplazamiento (véase la Tabla 2). Por ello, estos vértices se deben de prescindir del marco de referencia cuando se proceda al cálculo de la posible deformación en los testigos instalados en la ladera.

Punto	d_x	error_x	d_y	error_y	d_z	error_z	Total	Error	T	F(0.990,3,180)	Solución
8001	-1.21	0.48	0.69	0.35	-2.63	1.13	2.98	1.28	1.395	3.89	No existe deformación
8002	0.37	0.28	0.26	0.26	3.20	1.35	3.23	1.41	2.626	3.89	No existe deformación
8003	0.86	0.19	0.53	0.29	1.08	0.86	1.48	0.92	3.720	3.89	No existe deformación
8004	0.05	0.50	-1.10	0.40	-3.44	2.61	3.61	2.69	2.187	3.89	No existe deformación
8005	0.41	0.44	-1.34	0.49	-6.36	1.76	6.51	1.88	9.662	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8007	-0.75	0.73	-1.91	0.53	-0.65	1.38	2.15	1.65	10.552	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8008	0.32	0.41	0.61	0.38	1.66	1.09	1.80	1.23	1.058	3.89	No existe deformación
8009	0.12	0.34	2.16	0.50	-5.52	1.99	5.93	2.08	4.869	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8010	0.24	0.67	-1.25	0.38	0.78	0.97	1.49	1.23	3.144	3.89	No existe deformación

Tabla 2: Resultado del segundo test de deformaciones

Además, se obtuvieron gráficamente el desplazamiento de todos los vértices con sus componentes (x, y, z) y sus correspondientes elipses de error, más su error altimétrico, del marco de referencia de la campaña geodésica de 2019. Todo ello, a partir de software programado en Matlab. Además de, realizar la confección de las reseñas de la red geodésica.



CONCLUSIONES

La red geodésica de Cortes de Pallás es muy sensible a cualquier variación, ya que su redundancia es muy baja.

Cabe recordar, que la precisión vertical esperada es de unas tres veces peor que la horizontal, esto se debe por la propia geometría de la red. Obtenido el resultado del segundo test de deformaciones entre las campañas geodésicas 2018 y 2019. Se concluye, siendo conservadores, que la parte estable del marco de referencia debería de excluir estos tres vértices (véase la Tabla 3), aunque solamente dos campañas nos proporciona poca información y sería conveniente analizarla con más campañas.

Punto	T	F(0.990,3,180)	Solución
8005	9.662	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8007	10.552	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN
8009	4.869	3.89	EXISTE DEFORMACIÓN

Tabla 3: Vértices considerados inestables

Hoy en día, existe una demanda creciente de técnicas y métodos para la monitorización precisa de la deformación para mitigar los riesgos geotécnicos. A parte de la técnica empleada en este proyecto existen otras técnicas también disponibles para el monitoreo de la deformación, como el **GNSS** o la **fotogrametría**, que contribuyen al desarrollo de soluciones geomáticas y facilitando una gestión eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- NIEMEIER, W. (1981) *Statistical tests for detecting movements in repeatedly measured geodetic networks*. Hannover, Hannover University, Geodetic Institute.
- SEVILLA, M. J. Publicación núm. 200 (2005) *Ajuste de redes libres. Modelos matemáticos singulares*. Madrid, Instituto de Astronomía y Geodesia.
- VALBUENA DURÁN, J. L., NUÑEZ G. DEL POZO, A., SORIANO, M. L. y CORTÉS, V. Vol. VII - N.º 41 (1990) *Calibración de un distanciómetro electrónico submilimétrico*. Revista Del Ilustre Colegio de Ingenieros Técnicos en Topografía, 13-25.