

Estudio preliminar de control de deformaciones de muros berlinés usando escáner láser

Paulo Oróstegui (1); Felipe Villalobos (2); Sergio Villalobos.

(1) OITEC Geotecnia-Hidráulica-Topografía, Lincoyan 444, Of. 309, Concepción, Chile, porostegui@oitec.cl

(2) Laboratorio de GeoMateriales - Universidad Católica de la Santísima Concepción, Alonso de Ribera 2850, Casilla 297 Concepción, Chile, majara@ing.ucsc.cl, avillalobos@ucsc.cl

(3) LANCUYEN, Barros Arana 492 of 63, Concepción, Chile. svillalobos@lancuyen.cl

Resumen

Se presenta un estudio preliminar de monitoreo de desplazamientos horizontales máximos en un muro berlinés en arena Bío Bío. El método se basa en el uso de imágenes generadas a partir de rayos láser emitidos por un equipo láser. Los datos obtenidos permiten trazar nubes de puntos correspondientes a la superficie escaneada que al ser comparadas con mediciones previas entregan el desplazamiento relativo que ha ocurrido entre ambas etapas de medición. El método entonces se ajusta al control de desplazamientos para diferentes etapas constructivas como por ejemplo niveles de excavación y tensado de anclajes. Se presentan resultados de mediciones realizadas en donde los desplazamientos son menores a 20 mm. El método es promisorio por su versatilidad y eficiencia en terreno y en el tratamiento de datos.

Palabras Clave: escáner láser, monitoreo geotécnico, muro berlinés, desplazamiento horizontal máximo

Abstract

A preliminary study of maximum horizontal displacement monitoring in a soldier pile wall embedded in Bío Bío sand is presented. The method used is based on images generated from laser beams emitted by a laser equipment. The data obtained allow the tracing of point clouds which represent the scanned surface. Comparisons of a current measurement with a previous one in the same place make possible the determination of relative displacements which may have taken place in between both measurements. Thus, this method is suited for the control of displacements in different construction stages such as excavation levels and prestressing of anchorage. Results of measurements show displacement values below 20 mm. The method is encouraging because of its versatility and efficiency in the field and in data processing.

Keywords: laser scanner, geotechnical monitoring, soldier pile wall, maximum horizontal displacement

1 Introducción

Los proyectos geotécnicos se abordan a partir de información previa a la construcción y no siempre se retroalimenta esa información con las condiciones encontradas durante la construcción, las cuales pueden haber cambiado. Los diseños se basan normalmente en procedimientos de cálculo teórico-empíricos que asumen condiciones fijas que no cambian en el tiempo, además de los supuestos generalmente empleados de suelos homogéneos, elásticos o elasto-plásticos e isotrópicos. Incluso utilizando métodos numéricos sofisticados que simulan secuencias constructivas, si éstos no son calibrados y validados con datos medidos, podrían entregar resultados inadecuados. Durante la construcción, los diseños se revisan o rehacen solo en el caso de deficiencias evidentes como fallas. En estricto rigor, un proyecto geotécnico debería ser seguido (monitoreado) durante la construcción para comparar el nivel freático, tensiones y

presiones de poros, cargas, deformaciones y desplazamientos estimados y usados en el diseño con los realmente existentes en el suelo y los elementos estructurales en el momento de la construcción. La comparación usando monitoreo no solo apunta a evitar fallas o colapsos sino a retroalimentar los diseños y así optimizarlos, adecuando los elementos estructurales a las exigencias reales y reduciendo así el sobredimensionamiento o peor aún, el subdimensionamiento. Además de los beneficios mencionados, Dunnicliff et al. (2012) agregan la evaluación del o los métodos constructivos utilizados por el contratista (constructora), mostrar al cliente y vecinos que no existen problemas y que todo avanza como ha sido previsto y progresar en el conocimiento de la interacción suelo-estructura. Finalmente, dice Dunnicliff et al. (2012), estas razones técnicas se reducen a que los programas de monitoreo ahorran dinero. Debido a la incidencia en estructuras vecinas y en la propia obra, las estructuras de contención requieren de gran cuidado y seguimiento continuo. Es por ello que existen varios métodos de monitoreo para usar en excavaciones, tales como inclinómetros, topográficos, MEMS y fibra óptica. Detalles sobre métodos de monitoreo y en particular el uso de inclinómetros puede ser encontrado en Dunnicliff (1988). Sobre métodos topográficos y MEMS (microelectromechanical system) se recomienda revisar las mediciones realizadas por Fearnhead et al. (2014) para el proyecto Cross Rail de Londres. Respecto a mediciones con fibra óptica se puede consultar Schwamb et al. (2014).

Sin embargo, aunque algunos de estos tipos de monitoreo pueden entregar información en tiempo real, ellos miden en los puntos o líneas asignadas quedando gran parte de la estructura de contención sin ser monitoreada. Es por ello que han surgido técnicas de tratamiento de imágenes como barrido láser que cubren prácticamente toda la superficie de la excavación expuesta. Si bien es cierto, la foto instantánea registrada por este método no es un seguimiento segundo o minuto a minuto sí se está monitoreando gran parte de la superficie en los momentos o etapas constructivas clave como tensado de anclajes, avance de la excavación, depresión del nivel freático y así sucesivamente.

Este artículo presenta resultados de mediciones de auscultación geotécnica que considera el control de deformaciones de una entibación tipo muro berlinés durante su construcción en el proyecto de Edificación. El objetivo de estas mediciones es determinar si el desplazamiento presentado por las estructuras vecinas y los elementos que comprenden la entibación, se encuentran dentro de los admisibles definidos por el calculista del proyecto.

2 Monitoreo láser

El uso de imágenes ha sido usado solo recientemente para registrar con alta precisión el avance de excavaciones y construcciones (Finno y Hashash, 2009). El escaneo láser utiliza lo que es conocido con la sigla LIDAR (Light Detection and Ranging), similar a RADAR (Radio Detection and Ranging), pero utiliza luz para medir distancias. Un scanner láser tiene un diodo emisor que produce una fuente de luz a una frecuencia específica. Un espejo direcciona el rayo láser hacia el objetivo y la superficie del objetivo refleja el rayo láser. Usando el principio de tiempo de un pulso de vuelo, se puede determinar la distancia por medio del tiempo de viaje con precisión milimétrica. Sobre El resultado del escaneo entrega nubes de puntos, los cuales son procesados para obtener modelos 3D de alta resolución (HDS).

Para el procesamiento de datos se utilizó el software gratuito CloudCompare V2.

La Fig. 1 muestra el equipo scanner láser Lieca Scanstation 1, utilizado en mediciones de auscultación, cuya precisión es de $\pm 2\text{mm}$ sobre tarjetas de puntería y $\pm 2\text{mm}$ a $\pm 6\text{mm}$ en general sobre superficies dependiendo del ángulo de incidencia (Kersten y Mechelke, 2008). Debido a las condiciones particulares del proyecto, se observaron precisiones con un máximo de error $\pm 3\text{ mm}$. Este equipo cuenta con una cámara digital que permite tomar fotografías durante el escaneo, cuyas imágenes pueden ser agregadas al modelo digital HDS

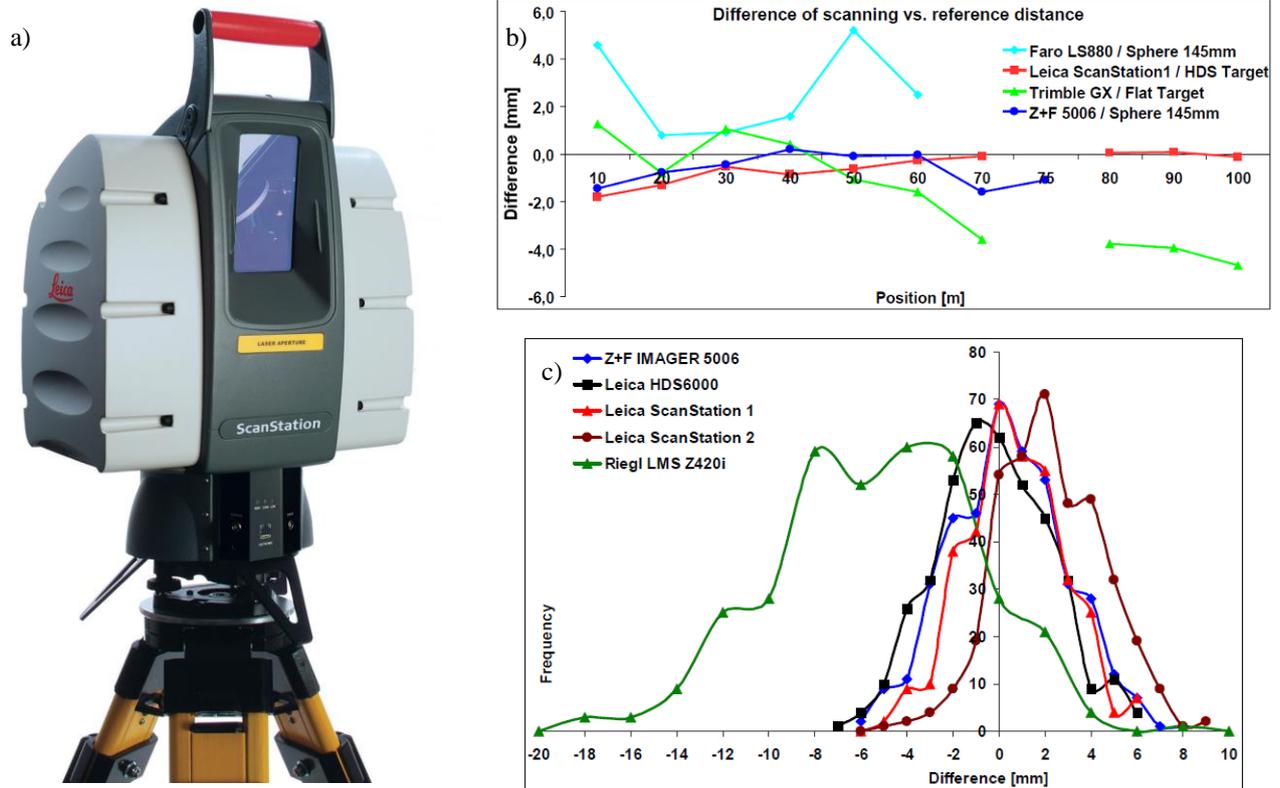


Fig.1 – a) Equipo láser utilizado en el monitoreo, b) Comparación de mediciones con diferentes escáner y longitud de referencia [8] y c) Distribución de diferencias de las distancias escaneadas y la medida de referencia [8].

3 Metodología

Se establecieron una serie de puntos de control sobre los cuales se realizó un levantamiento base de alta densidad mediante un equipo de scanner láser de precisión efectuada el día 7 de mayo 2013. La distribución de los puntos de control se indican en la Fig 4b, algunos de los cuales se aprecian en detalle en la Fig. 2.

Durante el transcurso de la obra se ejecutaron nuevas nubes de puntos medidas sobre los puntos de control generando comparaciones entre los escaneos en diferentes estados constructivos, estas mediciones fueron efectuadas los días 20 de mayo, 2 de Junio y 2 de agosto. Las nubes de escaneo se presentan en la Fig. 3.

Todos los puntos levantados fueron emplazados espacialmente considerando los puntos de referencia externos indicados en la Fig. 4 a). El punto M4, fue un punto auxiliar de apoyo adosado al muro de una estructura colindante a la obra.

La primera medición se realizó considerando la condición base de la entibación. La segunda y tercera medición se efectuaron con la entibación en un estado constructivo medianamente avanzado durante la ejecución de los anclajes postensados y la cuarta medición se efectuó una vez alcanzado el sello de fundación del edificio.



Fig.2 – a) Imagen real, se observan puntos de control en muro de albañilería y perfil de muro berlinés, b) Imagen digital obtenida con HDS.

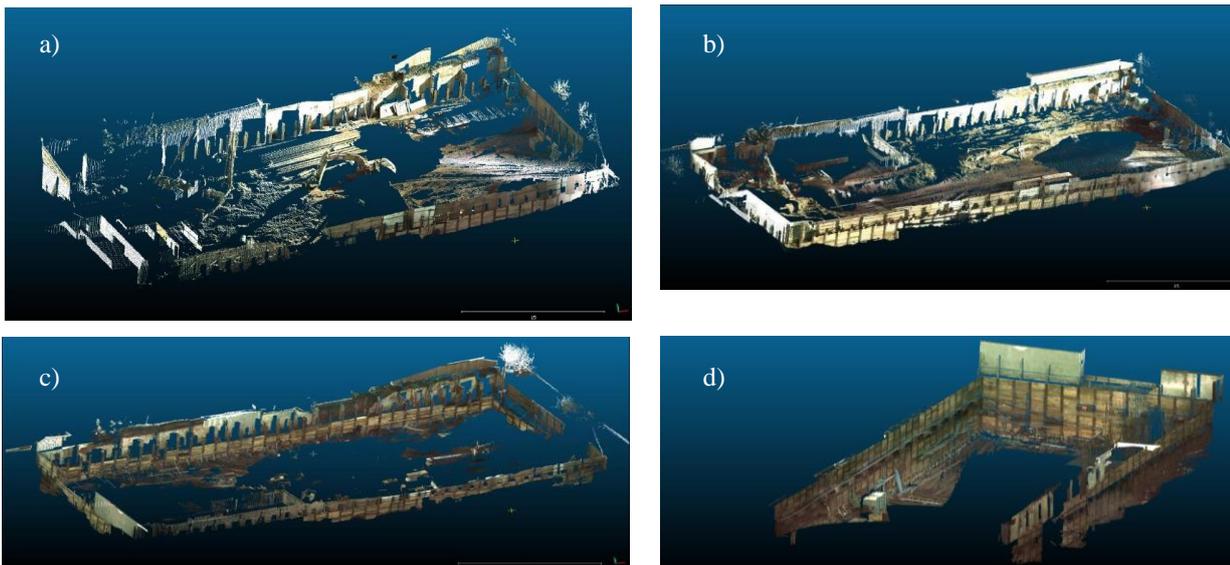


Fig. 3 – a) Escaneo base efectuado el día 7 de mayo, b) primer escaneo de control efectuado el día 20 de mayo, c) segundo escaneo de control efectuado el día 2 de junio de 2013 y d) tercer escaneo de control efectuado el día 2 de Agosto de 2013

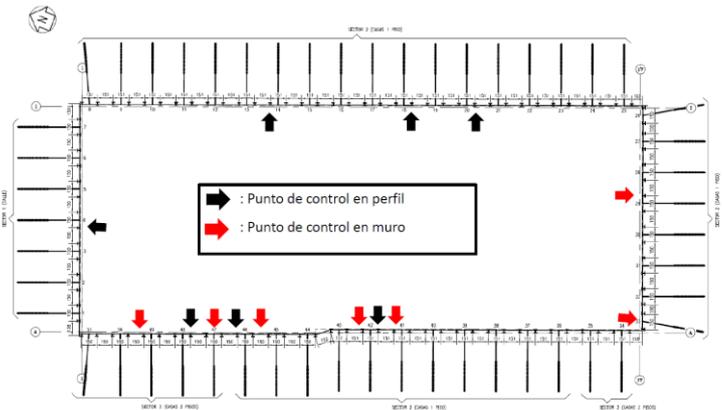


Fig. 4 - a) puntos de referencia externos a la obra, b) Puntos de control en muro berlinés y muro medianero.

4 Resultados

Se estudian los desplazamientos horizontales del muro berlinés de excavación máxima de 7.5 m, en suelo arenoso medio a denso correspondiente a arena Bío Bío con clasificación USCS SM y SP-SM. El proyecto edificio People se ubica en la calle Maipú 1430, Concepción, y contempla 14 pisos y dos subterráneos. La exploración del suelo de 30 m estableció Nspt de 13 a 40 golpes/pie. No se contaba con registros de Vs30. Se analizó el desplazamiento en los perfiles que forman parte de la entibación indicados en la Fig. 5 y 6, donde se indica la futura posición de anclajes postensados.

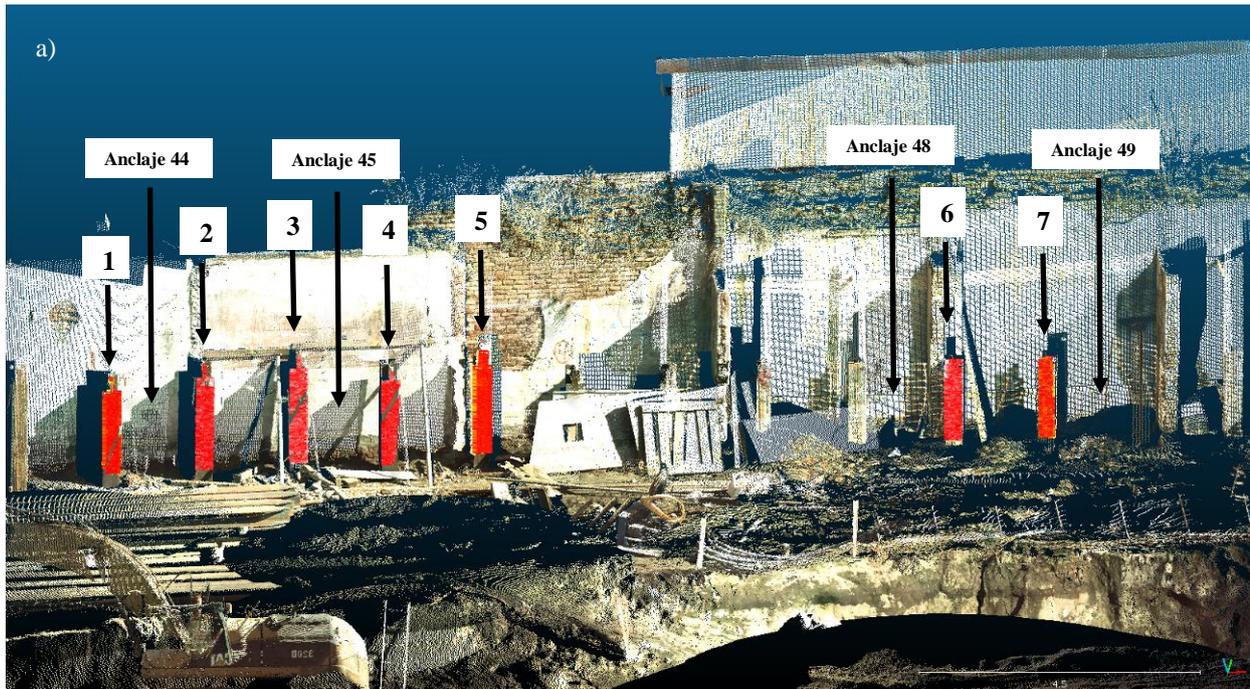


Fig. 5 - a) Perfiles 1 a 7 analizados sobre muro berlinés.

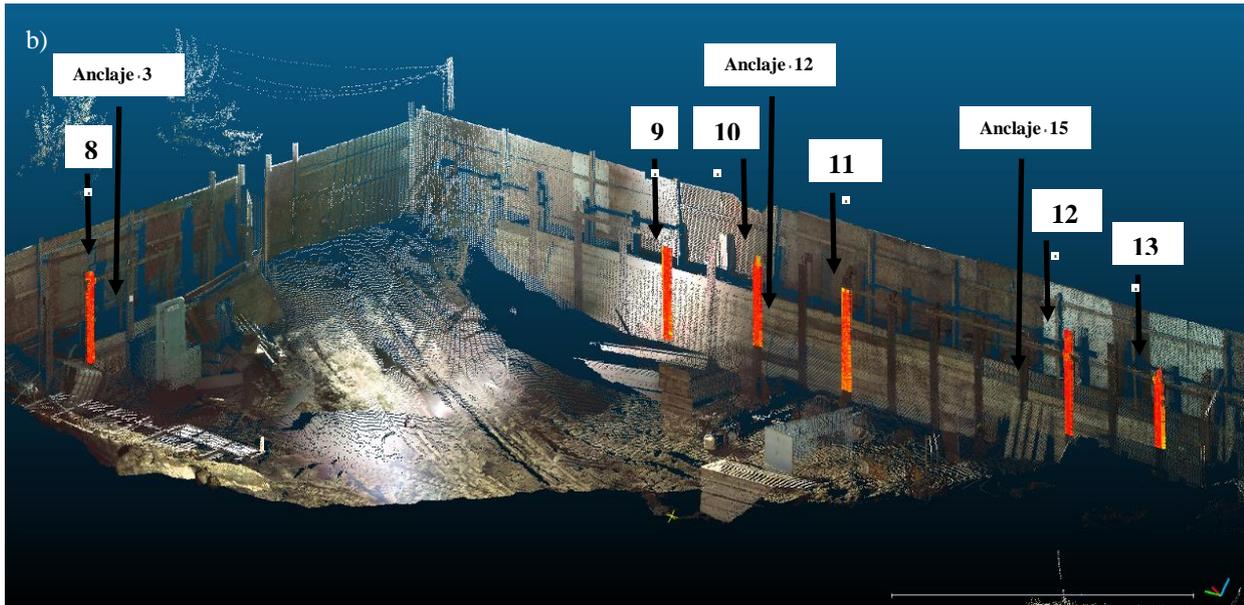


Fig. 5 - b) perfiles de 8 a 13 analizados sobre muro berlinés

El mayor desplazamiento detectado fue en los perfiles 12 y 13 los cuales registraron desplazamientos de 11 mm y 16 mm respectivamente en el primer periodo de control. En el segundo periodo de medición estos perfiles presentaron -8 y 11 mm de desplazamiento respectivamente. Esto significa que el muro en el perfil 12 no solo no se mueve más hacia la excavación sino que se ha desplazado contra la excavación.

Se observa que los desplazamientos máximos hacia la excavación se producen durante la etapa constructiva antes de la instalación de los anclajes postensados, a medida que se tensan los anclajes se observan deformaciones en sentido opuesto a la excavación cuya magnitud es comparable a la deformación máxima admisible. Además, el anclaje postensado genera un apoyo que modifica la deformación del perfil del muro berlinés. Las deformaciones medidas se indican en la tabla n°1.

Tabla 1 – Desplazamientos horizontales medio y máximo en los perfiles respecto a la condición base observada en el primer escaneo

Perfil	1er periodo de control		2do periodo de control		3er periodo de control	
	Des. medio (mm)	Des. máximo (mm)	Des. medio (mm)	Des. máximo (mm)	Des. medio (mm)	Des. máximo (mm)
1	-2	-6	4	9	-12	-15
2	2	9	3	9	-10	-13
3	-3	-8	4	11	-11	-15
4	2	10	3	11	-	-
5	1	3	1	7	-	-
6	3	14	-3	-12	-15	-18
7	-3	-8	2	6	-11	-13
8	-3	-7	-5	-8	-	-
9	8	14	2	5	2	5
10	6	11	2	6	4	7
11	5	11	4	10	5	8
12	8	11	-4	-8	3	5
13	9	16	5	11	9	11

Es importante considerar que la desviación estándar (error asociado) del instrumento de medición es de ± 3 mm, por lo tanto los desplazamientos igual o menores a 3 mm no son considerados desplazamientos, si no parte del error de medición. El signo menos indica movimiento contra el suelo en vez de hacia la excavación (signo +). La Fig. 6 muestra los puntos registrados en cada medición durante la condición base, primer y segundo periodo de control para los perfiles 9, 10, 11 y 12. Y en la Fig. 7 se grafica la evolución del movimiento máximo del perfil para las tres etapas (base, primer, segundo y tercer periodo). En esta figura se presenta también la desviación estándar además de la media de las mediciones realizadas de desplazamiento horizontal máximo por perfil. Esta desviación estándar puede ser asociada a errores de medición de tipo instrumental debido a que no hay efecto humano.

De esta forma se tiene que los desplazamientos del muro berlinés se encuentran acotados dentro de valores aceptables menores a 20 mm, lo cual no induce problemas de agrietamiento por asentamiento en estructuras colindantes. Las mediciones del escáner. Es importante destacar la eficiencia del método láser en relación a la cantidad de información continua obtenida en un barrido del scanner. Dado que se analizaron 13 perfiles para efectos de este estudio, el equivalente para realizar las mismas mediciones con equipos topográficos ópticos habría que colocar reflectores a lo largo de 13 perfiles. En el caso de inclinómetros, MEMS o fibra óptica habría que instalar 13 elementos. Y cualquier alteración ocurrida entre estos 13 perfiles no sería detectado por ninguno de estos métodos. El tratamiento de los datos láser se realiza conjuntamente y no separadamente como en los otros métodos. No es necesario corregir desplazamientos, como en el caso de inclinómetros, para que las mediciones en varios perfiles calcen o asumir que el desplazamiento es cero en la base donde mide el inclinómetro (Simpson y Vardanega, 2014).

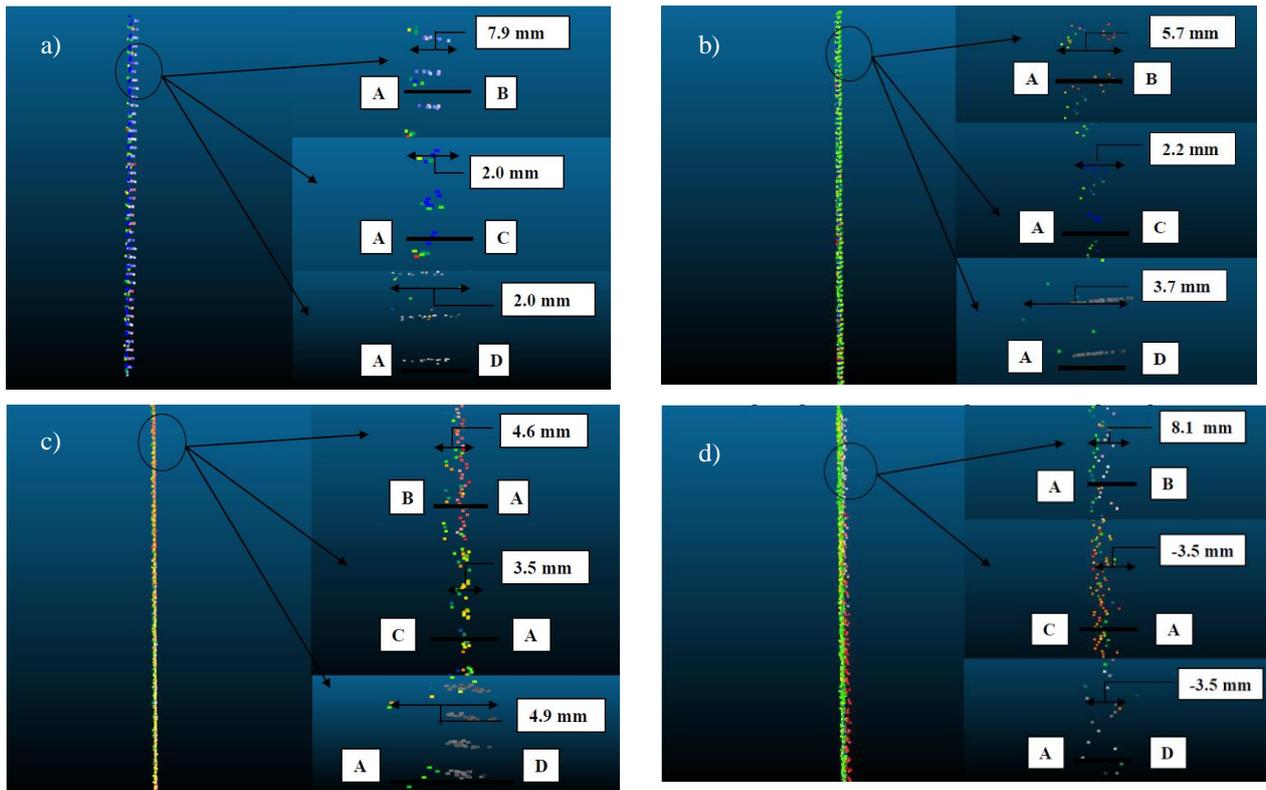


Fig. 6 - A: condición base, B: primer periodo de control y C: segundo periodo de control. Vista lateral de perfil a) 9, b) 10, c) 11 y d) 12

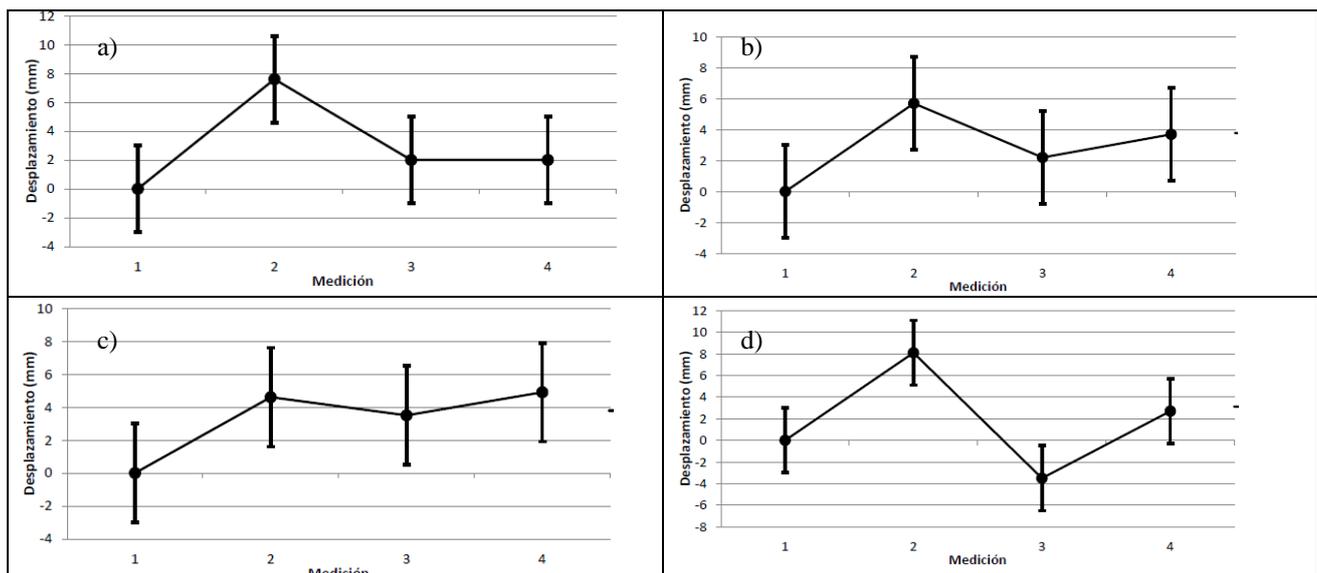


Fig. 7 - Desplazamientos horizontales en los perfiles a) 9, b) 10, c) 11 y d) 12

El método de monitoreo con scanner láser puede ser una alternativa eficiente y efectiva a los actuales métodos disponibles, debido a la capacidad de capturar con alta precisión desplazamientos pequeños de estructuras de contención en excavaciones ubicadas en áreas sensibles a los movimientos como lo es en medio de la ciudad, excavaciones junto a casas,

edificios, monumentos, etc. La utilización de métodos de monitoreo se transforma prácticamente en una herramienta obligada en el seguimiento de una obra que involucre desplazamientos del suelo. Sería largo enumerar los proyectos donde el monitoreo ha sido utilizado como la única forma de asegurar la estabilidad de estructuras aledañas por medio del retrocálculo y rediseño. La norma Chilena de excavaciones NCh 3206 (2010) establece la obligatoriedad de medir en excavaciones dependiendo del tipo de suelo y profundidad de la excavación.

5 Comentarios finales

Se presenta un método relativamente nuevo de monitoreo geotécnico el cual ofrece ventajas sobre los actualmente existentes. La ventaja principal es su versatilidad para cubrir el área total a monitorear y no sólo puntos o franjas sobre las estructuras de contención a monitorear. Este método de monitoreo se basa en el tratamiento de imágenes generadas por medio de rayos láser emitidos por un equipo láser colocado en frente de la superficie a monitorear. El estudio presentado se concentra en el movimiento de los muros berlinés de un proyecto inmobiliario ubicado en el centro de Concepción. Los resultados son favorables en el sentido que el método es capaz de determinar desplazamientos horizontales por sobre los 3 mm, valor que representa la desviación estándar de las mediciones asociado con errores del instrumento. El método de monitoreo de scanner láser ofrece una alternativa eficiente en términos de superficie a monitorear, tiempo empleado en terreno y en tratamiento de datos si se compara con los métodos ópticos actualmente existentes (Topográficos), siendo un complemento para mediciones utilizando inclinómetros, MEMS y fibra óptica. Futuros trabajos contemplan el desarrollar perfiles de desplazamiento y estudios en suelos cohesivos saturados y el control de movimientos en estructuras adyacentes a la excavación.

6 Referencias

- [1] Dunicliff J, Marr W A and Standing J. Principles of geotechnical monitoring. Chapter 94 of ICE manual of geotechnical engineering, Vol 2, Geotechnical Design, Construction and Verification. Edited by Burland, Chapman, Skinner and Brown, 1363-1377, 2012
- [2] Finno R J and Hashash Y M A. Integrated Tools for Predicting, Monitoring and Controlling Ground Movements due to Excavations, Proceedings NSF Engineering Research and Innovation Conference, Honolulu, Hawaii, June 2009.
- [3] Dunicliff J. Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. Wiley, New York, USA, 1988.
- [4] Fearnhead N, Maniscalco K, Standing J R and Wan MSP. Deep excavations: monitoring mechanisms of ground displacement. Proceedings of the ICE Geotechnical Engineering 167 Issue GE2, 117-129, 2014
- [5] Schwamb T, Soga K, Mair R J, Elshafie M Z E B, Sutherden R, Clotilde Boquet and Greenwood J. Fibre optic monitoring of a deep circular excavation. Proceedings of the ICE Geotechnical Engineering 167 Issue GE2, 144 – 154, 2014
- [6] Simpson B and Vardanega P J. Results of monitoring at the British Library excavation. Proceedings of the ICE Geotechnical Engineering 167 Issue GE2, 99 – 116, 2014
- [7] NCh 3206. Geotecnia – Excavaciones, entibaciones y socialzados – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización INN, 2010
- [8] Kersten T, Mechelke K., Geometric Accuracy Investigations of the Latest Terrestrial Laser Scanning Systems. Integrating Generations FIG Working Week 2008, Stockholm, Sweden, June 2008.
- [9] PILOTES TERRATEST, Proyecto entibación Edificio People, 2013.