

**Escáner láser como herramienta en la medición del avance del proceso constructivo de
estructuras de concreto reforzado**

Hugo Mauricio Peña Rojas

Roldan Albeiro Durán Plazas

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Director:

Omar Giovanni Sánchez Rivera

Magíster en Ingeniería Civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2018

Agradecimientos

Los escritores agradecen al grupo de investigación de Geomática de la Universidad Industrial de Santander por su aporte en el suministro de las nubes de puntos, en especial a los ingenieros Omar Giovanni Sánchez Rivera y Karen Milady Castañeda Parra por su orientación y dedicación en esta investigación.

Contenido

	Pág.
Introducción	12
1. Marco teórico	15
1.1 Escáner láser	15
1.2 BIM – Building Information Modeling	16
1.3 Control (monitoreo) de proyectos de construcción.....	17
2. Estado del arte.....	17
3. Metodología	22
3.1. Revisión bibliográfica.....	22
3.2. Metodología del levantamiento.....	23
3.2.1 Elaboración preliminar en oficina.....	23
3.2.2 Exploración en campo.....	23
3.2.3 Asignación de color y coordenadas del entorno	24
3.2.4 Ajuste y unión de nubes de puntos	24
3.3. Procesamiento de información en oficina.....	25
4. Resultados	33
5. Discusión.....	38
5.1 Ventajas del uso de escaner laser en la medición del avance del proceso constructivo	38

5.2 Ventajas de la integración BIM y escaner laser en la medición del avance del proceso constructivo.....	38
5.3 Precisión de las mediciones obtenidas con el escaner laser.....	39
6. Conclusiones.....	40
Referencias bibliográficas.....	42

Lista de figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> (a) Línea del tiempo (b) del estado del arte (c) 2004-2016.	21
<i>Figura 2.</i> (a) posicionamiento del escáner láser (b) y puntos de referencia.	24
<i>Figura 3.</i> (a) Primera nube de Puntos (b) del 09 de marzo de 2017.....	25
<i>Figura 4.</i> (a) Sótano uno (b) visto desde arriba (c) del 09 de marzo de 2017.	26
<i>Figura 5.</i> (a) Columnas en estudio del eje tres (b) vistas de frente (c) del 09 de marzo de 2017.	27
<i>Figura 6.</i> (a) Columnas en estudio del eje cuatro (b) vistas de frente (c) del 09 de marzo de 2017.	27
<i>Figura 7.</i> (a) Columnas en estudio del eje L (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.....	27
<i>Figura 8.</i> (a) Columnas en estudio del eje M (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.....	28
<i>Figura 9.</i> (a) Columnas en estudio del eje N (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.....	28
<i>Figura 10.</i> (a) Volumen de una columna (b) seleccionada del modelo bim (c) del 29 de marzo de 2017.....	29
<i>Figura 11.</i> (a) Diagrama de flujo (b) de la metodología.....	32

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Palabras claves</i>	22
Tabla 2. <i>Bases de datos</i>	23
Tabla 3. <i>(a) Volumen de Zapatas (b) en concreto gris colado en sitio (c) del 09 de marzo de 2017</i>	30
Tabla 4. <i>(a) Volúmenes de columnas del sótano uno (b) con errores porcentuales y diferencia entre errores porcentuales respecto al BIM (c) del 29 de marzo de 2017</i>	33
Tabla 5. <i>(a) Modelos BIM vs Nubes de Puntos (b) con fechas de elaboración</i>	35
Tabla 6. <i>(a) Volúmenes de los distintos elementos estructurales (b) en las fechas que se hicieron las exploraciones con el escaner láser</i>	37
Tabla 7. <i>(a) Incremento en los volúmenes de los distintos elementos estructurales (b) porcentaje de avance en los volúmenes de los diferentes elementos estructurales</i>	37

Resumen

Título: Escáner láser como herramienta en la medición del avance del proceso constructivo de estructuras de concreto reforzado*

Autor: Hugo Mauricio Peña Rojas**
Roldan Albeiro Durán Plazas

Palabras clave: BIM, Control de proyectos de construcción, Escáner Láser, Nube de puntos.

Descripción

En la actualidad es necesario implementar métodos que capturen datos eficientemente y que minimicen tiempos y costos en proyectos de construcción. En esta investigación se propone un método para la captura y procesamiento de datos en la medición del avance del proceso constructivo, en el control de proyectos de construcción de estructuras de concreto reforzado, mediante la implementación del escáner láser, el cual genera nubes de puntos con las que se crean modelos tridimensionales (3D) del objeto en estudio, que propician el cálculo de cantidades. El objeto de estudio son las columnas del primer sótano del edificio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Con la nube de puntos se adquiere un registro de cantidades correspondientes al volumen de columnas fundidas y que junto al registro de cantidades obtenido de la medición manual se compara con el del modelo BIM. Como actividad complementaria a la de corroborar la precisión del escáner láser, se obtienen cantidades de obra de diferentes modelos BIM que son el resultado de tres visitas que se hicieron al caso de estudio durante el proceso constructivo, permitiendo cuantificar el avance constructivo. Finalmente, se consigue que la medición, con escáner láser, da cuenta de mediciones más exactas que la brindada por la medición tradicional, específicamente un 18% más preciso. Estos resultados indican que el método desarrollado es asertivo y eficiente.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Omar Giovanni Sánchez Rivera, Magíster en Ingeniería Civil

Abstract

Title: Laser scanner as a tool in measuring the progress of the construction process of reinforced concrete structures.*

Author: Hugo Mauricio Peña Rojas**
Roldan Albeiro Durán Plazas

Keywords: BIM, Control of construction projects, Laser Scanner, Point cloud.

Description

At present, it is necessary to implement methods that capture data efficiently and that minimize time and costs in construction projects. In this research we propose a method for the capture and processing of data in the measurement of the progress of the construction process, in the control of construction projects of reinforced concrete structures, through the implementation of the laser scanner, which generates clouds of points with which create three-dimensional models (3D) of the object under study, which encourage the calculation of quantities. The object of study are the columns of the first basement of the Mechanical Engineering building of the Industrial University of Santander. With the point cloud, a register of quantities corresponding to the volume of molten columns is acquired and, together with the register of quantities obtained from the manual measurement, it is compared with that of the BIM model. As an additional activity to corroborate the accuracy of the laser scanner, work quantities are obtained from different BIM models that are the result of three visits made to the case study during the construction process, allowing to quantify the constructive progress. Finally, it is achieved that the measurement, with laser scanner, accounts for more accurate measurements than that provided by traditional measurement, specifically 18% more accurate. These results indicate that the method developed is assertive and efficient.

* Degree work

** Faculty of Mechanical Physics Engineering. School of Civil Engineering. Director: Omar Giovanny Sánchez Rivera, Master in Civil Engineering

Introducción

En los proyectos de construcción resulta de gran importancia la implementación de herramientas que permitan programar una serie de actividades y ofrezcan la información adecuada con tiempos y plazos determinados para lograr una planificación del proyecto de manera ordenada. La toma detallada y precisa del avance constructivo en la obra es una labor clave para ejercer control sobre la gestión y el progreso del plan de obra. Por tradición quienes están a cargo de la construcción se pasean por el espacio en el que se desarrolla para chequear el adelanto de las distintas tareas y comprender el estado presente del proyecto (Genta, Minetola, & Barbato, 2016, págs. 11–19). No obstante, medir el avance en el desarrollo de una construcción demanda demasiado tiempo y necesita personal capacitado que se encargue de dicha labor. Es complejo obtener el porcentaje real del progreso constructivo, dado que se genera un desfase entre las estimaciones de progreso y las actualizaciones de la programación (C. I. N. Civil, 2014, págs. 1053–1061). Esto se debe, en gran medida, a que la calidad del monitoreo del avance está supeditado a la calidad de los informes del supervisor quien, en ocasiones, desde el inicio del proceso presenta fallas en el cumplimiento de la actividad de control e inspección de la obra.

Por lo anterior, nuevas herramientas, como la exploración con escáner láser, están siendo implementadas en las aplicaciones de Ingeniería Civil. El escaneado láser es una tecnología reciente que captura el panorama existente y lo convierte en un modelo virtual 3D (Genta, Minetola, & Barbato, 2016). Un beneficio de la tecnología del escáner láser radica en la velocidad representativa de la toma de datos. Además, logra capturar miles de puntos por segundo a larga distancia, proporcionando nubes de puntos con las cuales se logran generar los modelos

tridimensionales del objeto en estudio (Slattery & Slattery, 2012, págs. 96–99). Por ende, dichos modelos virtuales facilitan la visualización de tareas en la construcción de edificios (Shih & Wang, September de 2004). Los datos de escaneo superpuestos a los planos de referencia, que se utilizan como guía del proyecto, pueden controlar visualmente el crecimiento real de la obra y detalles en una fase temprana de la planificación. Ello, supone una valiosa herramienta de apoyo que garantiza una ejecución más precisa de la obra. En este sentido, se previenen inconvenientes, errores de planificación, sobre-costos y demoras en las entregas de los proyectos de construcción. La ventaja comparativa que ofrece el escáner láser 3D, frente a otros métodos de medición, reside en la actualización detallada de la documentación integral de la obra en un periodo de tiempo corto y en la multifuncionalidad de los datos analizados. Asimismo, el seguimiento del avance automatizado disminuye la fuerza laboral, el costo y tiempo empleado, aminora los desacuerdos e incrementa la eficiencia global de la gestión de proyectos. (Zhang & Arditi, 2013)

BIM (Building Information Modeling) es una nueva metodología que permite la gestión integral de proyectos de edificación y obras civiles, en la cual se pueden crear o modificar objetos durante el ciclo de vida del proyecto, propiciando la detección de problemas previos que pueden presentarse durante la ejecución de la obra. BIM es un software que idealiza el proyecto mediante una representación virtual en diversas dimensiones de los elementos de construcción que permite la integración de información relacionada con el proyecto. Entre los beneficios que ofrece BIM se encuentra el trabajo colaborativo, pues permite al personal, relacionado con el proceso constructivo, trabajar en la misma plataforma virtual de forma integrada mediante el uso de nuevas herramientas y la facilidad para compartir información en tiempo real (Beach & et al., 2017, págs. 1–13). Otro aspecto benéfico es la manera como se puede desarrollar el cálculo de las cantidades de construcción. En síntesis, el uso del modelado BIM es un factor relevante en la implementación

del escaneado láser. Así, la toma de datos en campo desempeña un rol central en la actualización habitual cimentada en fuentes de datos confiables para el seguimiento, control y dirección de la información del proyecto. (Nepal, 2012, págs. 555–569)

El escáner láser y BIM facilitan la descripción de un proyecto en fase de construcción. En vista de que los modelos virtuales elaborados con base en la exploración con escáner láser pueden ser revisados visualmente en diferentes orientaciones para revelar conflictos de construcción que permiten propiciar la realización de mejoras y la oportuna reestructuración en los horarios de trabajo. (Shih & Wang, September de 2004)

Por consiguiente, la implementación de la tecnología de escáner láser permite realizar mediciones más precisas sobre el avance del proceso constructivo, en particular, del control de proyectos de construcción de estructuras de concreto reforzado. De ahí que en este proyecto se implemente el uso de la tecnología del escáner láser en relación con la aplicación de un método de recopilación, procesamiento de datos y de formulación de modelos virtuales BIM. A fin de adquirir un registro de cantidades de algunos elementos estructurales, que componen el edificio de la escuela de Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, se implementa el uso del escáner láser. Los datos recolectados por medio de una serie de escaneos, que se representan en nubes de puntos, permiten la comparación con el modelo BIM y la medición manual o método tradicional. Ello, se evidencia en una tabla que contiene la variación entre las metodologías mencionadas, en consideración con los valores obtenidos en el modelo BIM, como los reales o esperados. Lo anterior, con el propósito de establecer si el procedimiento en estudio puede mejorar la precisión de las mediciones del avance del proceso constructivo en estructuras de concreto reforzado.

1. Marco teórico

1.1 Escáner láser

Un escáner láser está conformado por un diodo que produce una fuente de luz a determinada frecuencia y un espejo que dirige el rayo láser horizontal y verticalmente hacia la superficie del objeto que refleja el dispositivo. Una exploración mediante la implementación del escáner láser genera un grupo de puntos en el espacio denominado nube de puntos; la cual al ser procesada y combinada representa modelos 3D precisos. Es necesario aclarar que el valor de intensidad de cada punto es afectado por el material de la superficie, ángulo de incidencia y la distancia de la superficie del objeto al escáner láser (Su, Hashash, & Liu, 2006, págs. 1234–1241). Un escáner láser puede medir más de 1.000 puntos por segundo con una precisión de 6 a 100 mm, dependiendo del rango y el sistema en cuestión (Mills & Barber, 2004, págs. 56–64). Este dispositivo es de gran utilidad para el acceso a los datos en un sitio de construcción o de la medición para la facturación interior de materiales. (Shih & Wang, 2004, págs. 98–102)

En efecto, el escáner láser puede operar de manera estacionaria, móvil o aérea, emitiendo un láser para determinar distancias o imágenes (Nepal, 2012, págs. 555–569). De ahí que se le considere como un instrumento moderno y útil para la recopilación de datos geo-máticos mediante la captura de datos 3D de forma remota y sin contacto (Gordon & Lichti, 2007, págs. 72–80). Un escáner láser proporciona de forma precisa y rápida una imagen tridimensional de un objeto, la alta densidad de puntos incrementa significativamente la toma de datos y tiempo de procesamiento (Johnson & Johnson, 2012, págs. 214–222). De igual forma, es posible exportar dichos datos de la

nube de puntos hacia aplicaciones como AutoCAD (Jaselskis, Gao, & Walters, 2005, págs. 377–384). El escáner láser tiene una amplia gama de aplicaciones que permiten ejercer de manera rigurosa el control de calidad, el registro de patrimonio, el monitoreo de muros de contención y el análisis de pavimentos.

1.2 BIM – Building Information Modeling

BIM es un modelado de información de la construcción que, junto con el escáner láser, genera ventajas que facilitan el diseño y la construcción sobre la base de información exacta. La implementación de BIM en la industria ha sido de gran alcance, dado que propicia prácticas innovadoras en el desarrollo tecnológico y en la estructuración de procesos para la eficiencia en la construcción. Para la modificación de los modelos BIM (Nepal, 2012, págs. 555–569) es necesario tener fuentes confiables en la toma de datos, debido a que la tecnología BIM se basa en hacer sencillo el intercambio y la reutilización de toda la información registrada durante la ejecución del proyecto. (Lee, Ph, Yu, & Asce, 2016, págs. 1–9)

De esta manera, BIM puede aplicarse a la integración de diseño y construcción, gestión de proyectos y gestión de instalaciones, y también emplearse como una herramienta de aprendizaje que facilita a los equipos de trabajo familiarizarse con la obra antes de iniciar labores (Lu, Peng, Shen, Asce, & Li, February 2013, págs. 195–203). No obstante, el uso y la adopción de BIM en la industria AEC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) se ve obstaculizada por la falta de personal altamente capacitado para el desarrollo de modelos mediante la tecnología BIM. (Wu & Issa, 2014, pág. 4013014)

1.3 Control (monitoreo) de proyectos de construcción

La inmersión de las nuevas tecnologías en las dinámicas de construcción permite la realización de comparaciones de los datos diseñados con los construidos, a fin de tener un control sobre el avance del proyecto. De esta manera, se implementan los datos 3D con el objetivo de verificar dimensiones y configuraciones (Shih & Huang, 3D Scan Information Management System for Construction Management, 2006, págs. 134–142). Un escáner láser que proporciona una nube de puntos posibilita la cuantificación de las diferencias en el avance del proyecto y la revisión oportuna de las modificaciones que se realizan al diseño original. (Wu & Issa, 2014, pág. 4013014)

En suma, la captura que realiza el escáner láser terrestre emplea nubes de puntos para la identificación del objeto en comparación con las actividades del cronograma de construcción. Las operaciones de monitoreo del sitio se integran con el BIM para valorar y representar el avance de la construcción.

2. Estado del arte

En este apartado se evidencia un compendio de investigaciones que guardan relación con la metodología que se desarrolla en el trabajo en torno a la implementación del escáner láser en los procesos constructivos con una variedad de aplicaciones que tienen lugar en proyectos viales, de edificios, de túneles y de puentes.

B. Riveiro, D. Ph, P. Arias, D. Ph, and J. C. Caama presentan un método sencillo y práctico que permite la conversión de nubes de puntos en modelos FEM para realizar una mejor evaluación estructural de puentes en servicio. (Riveiro, Ph, Ph, & Caama, 2016, págs. 1–9)

C. Zhang and D. Arditi exponen un método que consiste en realizar capturas con el escáner láser, se logra combinar distintos escaneos y conseguir nubes de puntos. Además, compara el volumen de trabajo efectuado con el volumen de trabajo planeado para obtener un porcentaje de progreso de la construcción. (Zhang & Arditi, 2013, págs. 108–116)

Construction Research Congress 2012 © ASCE 2012 1232,” pp. 1232–1241, 2012 describe un método que emplea el escáner láser para obtener una historia sucesiva del estado de la construcción de una obra de renovación, mediante el desarrollo de un modelo BIM completo. (Construction Research, 2012, págs. 1232–1241)

J. Anochie-Boateng, J. Komba, and E. Tutumluer emplean el método de escaneo láser con el objetivo de calcular directamente el área superficial de agregados empleados en pavimentos de vías del Sur de África y, con ello, determinar el espesor de la película de asfalto de cinco mezclas comunes en Sudáfrica (Anochie-Boateng, Komba, & Tutumluer, 2012, págs. 1006–1015).

J. Goedert, M. Asce, J. Bonsell, and F. Samura describen un enfoque innovador para el modelado de edificios por medio de la integración del escaneo láser y la tecnología de prototipado rápido (RP). En el que se logran crear modelos físicos tridimensionales de la estructura. Este método ofrece ventajas en estudios de viabilidad, análisis de seguridad y planificación del proceso de construcción (Goedert, Asce, Bonsell, & Samura, June 2005, págs. 71–74).

K. T. Slattery, D. K. Slattery, and J. P. Peterson exploran un método que emplea la tecnología de escaneado láser terrestre con el fin de generar un modelo preciso previo y posterior a la

construcción de carreteras con el que logran establecer cantidades de volúmenes de tierra (Slattery & Slattery, 2012).

M. J. Olsen, M. Asce, F. Kuester, B. J. Chang, S. M. Asce, and T. C. Hutchinson desarrollan un 3DSIMS que tiene como fin compartir registros de construcción elaborados a partir de nubes de puntos para comparar, inspeccionar y visualizar el progreso de diseño según la información de construcción edificada. (Olsen, y otros, 2010, págs. 264–272)

N. Shih and P. Wang implementan un método en el que se maneja el escáner láser para cuantificar las diferencias como una referencia para la verificación y modificación del diseño original del edificio con el proceso de construcción en sitio. (Shih & Wang, September de 2004, págs. 98–102)

N. Shih and S. Huang extienden la aplicación del escáner laser terrestre a la detección de daños y análisis de volumetría de cambio de una muestra de prueba estructural a escala completa (Shih & Wang, 2004, págs. 134–142).

P. A. Fuchs, G. A. Washer, S. B. Chase, and M. Moore proponen un método que utiliza el escáner láser para evaluar las deflexiones en vigas de un puente, bajo carga estática. Los datos pueden ser recolectados en múltiples vigas desde una ubicación de medición sin necesidad de acceso a las vigas. (Su, Hashash, & Liu, 2006, págs. 1234–1241)

P. Oskouie, B. Becerik-gerber, and L. Soibelman plantean un método que, a través de la utilización del escáner láser, captura características geométricas de muros de contención en carreteras y las emplea como puntos de referencia para detectar desplazamientos en la estructura. (Oskouie, Becerik-gerber, & Soibelman, 2016, págs. 86–101)

R. Walters, E. Jaselskis, J. Zhang, K. Mueller, and M., desarrollan un sistema que establece el grosor de un pavimento en tiempo actual por escaneo láser, previo y posterior al pavimento, con

el fin de identificar cualquier área en donde el espesor esté por debajo de la tolerancia. (Walters, Jaselskis, Zhang, Mueller, & Kaewmoracharoen, 2008, págs. 583–591)

S. Han, H. Cho, S. Kim, J. Jung, and J. Heo hacen referencia a un procedimiento automatizado para la extracción de secciones transversales de túneles a partir de la utilización de datos obtenidos en la medición con escáner láser terrestre. (Han, Cho, Kim, Jung, & Heo, June 2013, págs. 274–281)

S. J. Gordon and D. D. Lichti diseñan una estrategia de modelado a partir del uso del escáner láser que permite medir con exactitud las deflexiones verticales de los haces deformantes. El modelo se desarrolla desde las ecuaciones fundamentales. (Gordon & Lichti, 2007, págs. 72–80)

Y. Y. Su, Y. M. a. Hashash, and L. Y. Liu examinan el uso de la tecnología de escaneo láser para capturar con precisión las actividades de construcción durante el desarrollo de una excavación urbana (Su, Hashash, & Liu, 2006, págs. 1234–1241).

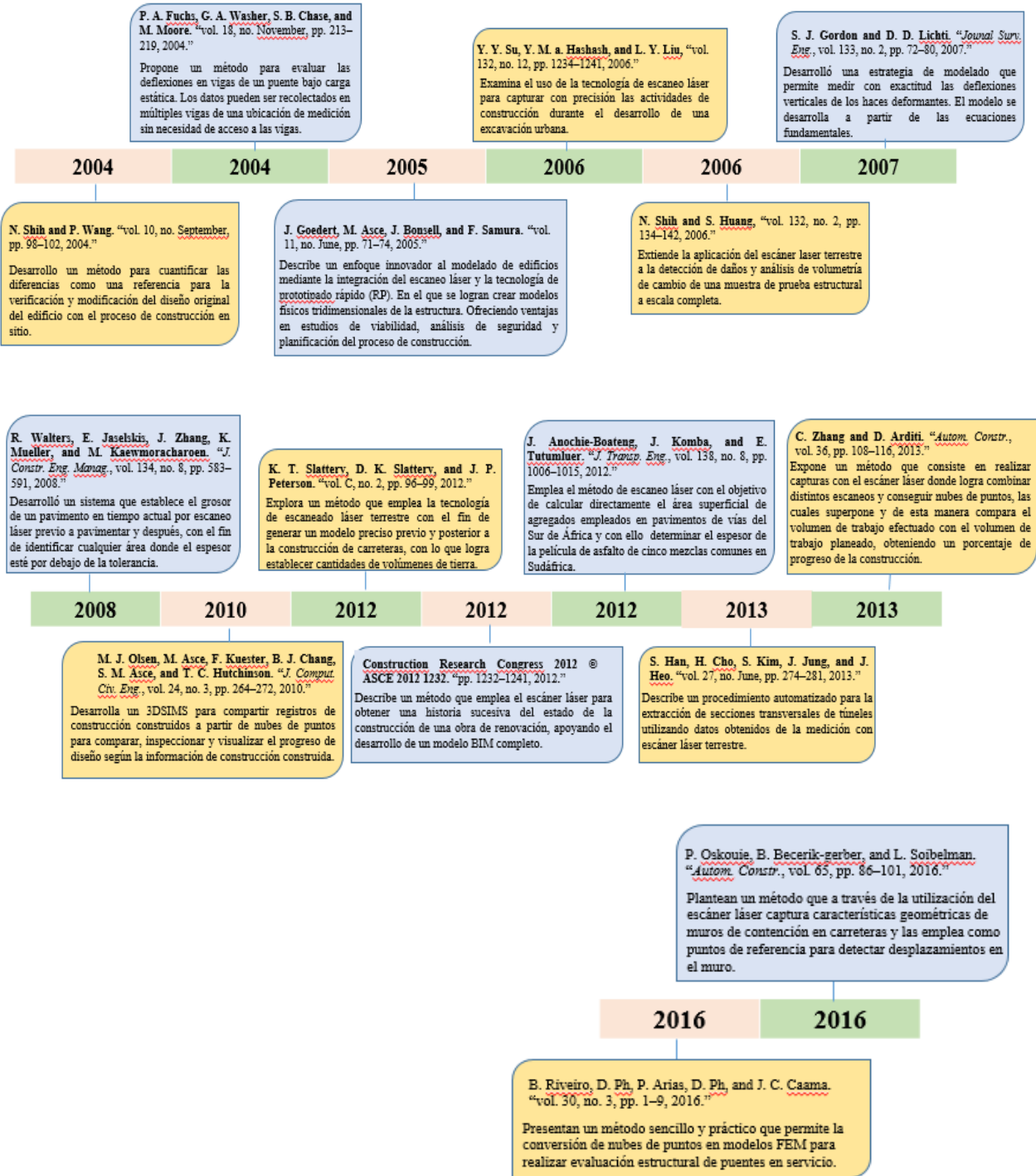


Figura 1. (a) Línea del tiempo (b) del estado del arte (c) 2004-2016.

3. Metodología

3.1. Revisión bibliográfica

Para esta etapa inicial se seleccionan una serie de palabras claves evidenciadas en la tabla 1. Estos términos son fundamentales, dado que establecen una relación directa con el desarrollo del proyecto de investigación. En primer lugar, se procede a buscar en diversas bases de datos y páginas académicas confiables, como se registra en la tabla 2, artículos que se relacionan intimamente con las tres palabras propuestas. Una vez se obtiene el conjunto de artículos se hace la respectiva revisión a fin de seleccionar aquellos que se asemejen a la temática que se aborda en el proyecto. El último filtro de selección concierne a la identificación de los aspectos más relevantes, consignados en los escritos elegidos, dichos aspectos funcionan como referentes del trabajo que se desarrolla.

Tabla 1.

Palabras claves.

Palabras claves
Listado
✓ Escáner Láser
✓ BIM
✓ Control (monitoreo) de proyectos de construcción

Tabla 2.

Bases de datos.

Bases de datos	
Listado	
✓	ASCE(American Society of Civil Engineers)
✓	ScienceDirect
✓	Biblioteca Virtual Uis

3.2. Metodología del levantamiento

3.2.1 Elaboración preliminar en oficina. Para iniciar el levantamiento con escáner láser en el lugar de campo, previamente, se recomienda la realización de diagramas que permitan visualizar las actividades a ejecutar de manera clara y, de esta forma, evitar inconvenientes que generen retrasos en la obra. Estas actividades pasan por definir el flujo de trabajo que va desde la captura de los datos hasta los informes que se presentan.

3.2.2 Exploración en campo. Esta etapa inicia con una visita preliminar al campo, ello con el propósito de conocer el lugar de trabajo en donde se van a realizar los barridos con el escáner láser; seguidamente se planea de qué manera se debe realizar el levantamiento, en qué lugares es posible ubicar el escáner laser y cuántos barridos son necesarios para obtener la mejor descripción del terreno. En la figura 2 se ilustran las posibles ubicaciones del escáner láser y los puntos de referencia de manera que se logre obtener la mejor descripción del lugar del levantamiento.

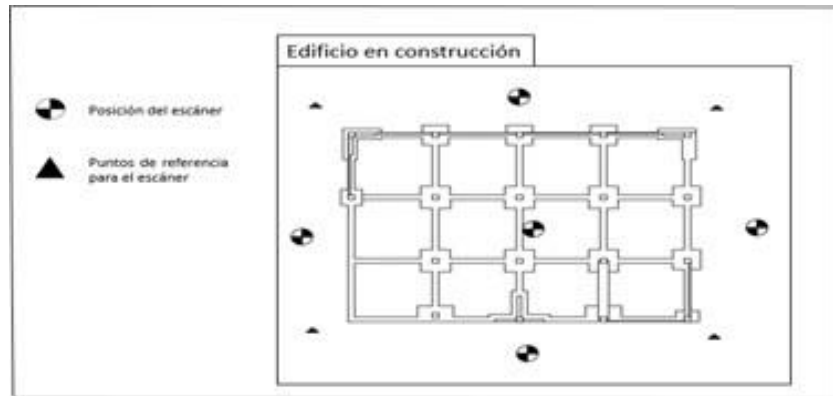


Figura 2. (a) posicionamiento del escáner láser (b) y puntos de referencia.

3.2.3 Asignación de color y coordenadas del entorno. Cada vez que se realiza un barrido, en cada posición del escáner láser, se adquiere un registro fotográfico para la asignación de color de la nube de puntos y, mediante la utilización de métodos tradicionales o sistemas de posicionamiento global GNSS, se asignan las coordenadas correspondientes a la nube de puntos.

3.2.4 Ajuste y unión de nubes de puntos. Se revisa si los levantamientos obtenidos cumplen con las expectativas o si es necesario volver al campo para realizar nuevas mediciones con mayor información, para posteriormente comenzar el trabajo de oficina o procesamiento de la información. Además, se hace registro de la nube de puntos por separado y se editan para filtrar aquellos elementos no deseados. Finalmente, es necesario asignar el color verdadero a la nube de puntos; durante cada escaneo en diferentes posiciones del escáner láser, la nube de puntos se une en una misma escena para lograr un modelo digital de la estructura o del terreno.

3.3. Procesamiento de información en oficina

En los proyectos de edificación es de suma importancia la implementación de herramientas que permitan efectuar un conjunto de actividades y brinden la información apropiada con tiempos y plazos basados en la planeación del proyecto.

Después de la culminación del escaneado láser, se procede a relacionar la información con la aplicación Autodesk Recap para adquirir un archivo de nube de puntos, sin formato, a un documento con formato .rcs con el fin de importar los datos obtenidos al software Autodesk Revit 2018; efectuada esta operación la nube de puntos se carga al programa Autodesk Revit 2018, figura 3. Para lograrlo se da clic en la pestaña de la ventana principal “Insertar” y se selecciona “Nube de puntos”, de la cual se despliegan opciones de cargado. Luego, en el recuadro denominado “Tipo de archivos”, se muestran los diferentes formatos que son compatibles con Autodesk Revit 2018; es conveniente elegir el formato .rcs. Se procede a seleccionar el archivo de interés y en “Posición” se selecciona “Automático-Origen a Origen” para finalmente hacer click en abrir.



Figura 3. (a) Primera nube de Puntos (b) del 09 de marzo de 2017.

Con la nube de puntos cargada en Autodesk Revit 2018 y la utilización de la barra de herramientas que el programa ofrece, se logra operar la nube de puntos donde se busca visualizar el modelo en su totalidad. Luego, sobre la ventana de navegador de proyectos, en “Planos estructurales”, se debe seleccionar el nivel de interés, logrando obtener una vista en planta como se retrata en la figura 4.

Con la vista en la planta seleccionada, Autodesk Revit 2018 a través de un corte o sección ofrece una vista auxiliar frontal o lateral que se puede hacer de manera longitudinal, como se muestra en la figura 5 y la figura 6, o transversal respectivamente, como se exhibe en la figura 7, la figura 8 y la figura 9. Por medio del comando “Vista”, y allí en la opción de “Sección”, se da click derecho y se escoge la opción “Ir a la vista”, donde se obtienen dos dimensiones de interés de las columnas que se analizan, incluida la altura que se busca, que ahora se puede medir con la herramienta “Medir entre dos referencias”. Con las tres dimensiones medidas se calculan los volúmenes de las columnas estudiadas que son proporcionadas por el método del escáner láser.

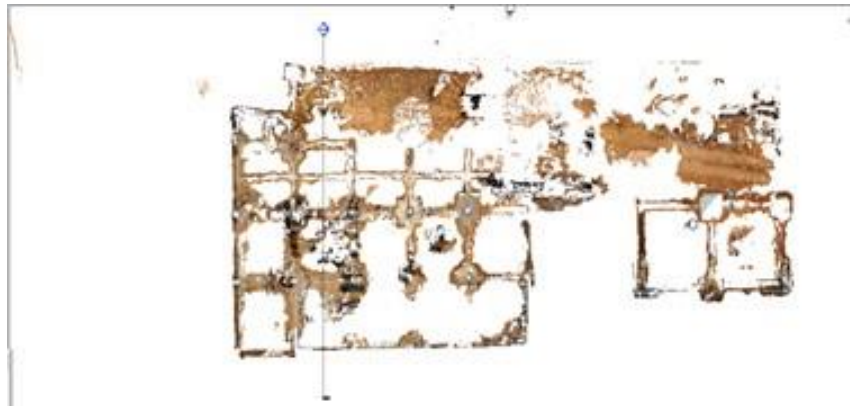


Figura 4. (a) Sótano uno (b) visto desde arriba (c) del 09 de marzo de 2017.



Figura 5. (a) Columnas en estudio del eje tres (b) vistas de frente (c) del 09 de marzo de 2017.



Figura 6. (a) Columnas en estudio del eje cuatro (b) vistas de frente (c) del 09 de marzo de 2017.

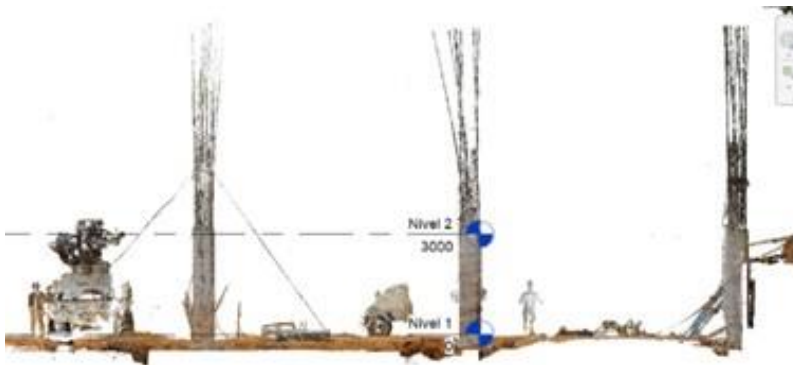


Figura 7. (a) Columnas en estudio del eje L (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.



Figura 8. (a) Columnas en estudio del eje M (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.



Figura 9. (a) Columnas en estudio del eje N (b) vistas desde el lateral izquierdo (c) del 09 de marzo de 2017.

Con el Modelo Bim se obtiene información de las columnas que se desean, haciendo click sobre el elemento estructural se logra observar el volumen en la ventana de propiedades, como se muestra en la figura 10.

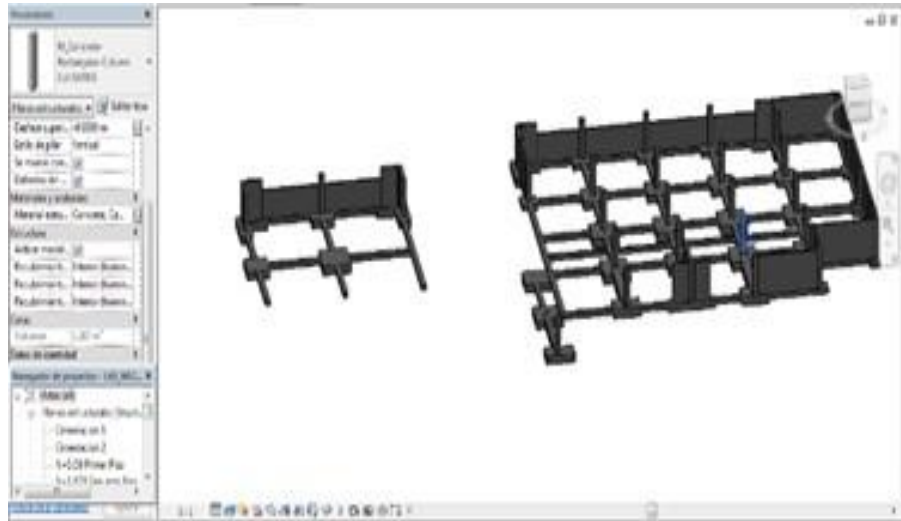


Figura 10. (a) Volumen de una columna (b) seleccionada del modelo bim (c) del 29 de marzo de 2017.

Se procede a efectuar la medición manual con el uso de la cinta métrica, es necesario ir al campo para medir las dimensiones conforme se funden las columnas del primer sótano.

Los volúmenes recopilados por las tres propuestas descritas se registran en la tabla 4, se evalúa en porcentajes la precisión entre un método y otro en el adelanto del proceso constructivo del edificio de la escuela de Mecánica del campus de la Universidad Industrial de Santander.

Por consiguiente, como actividad complementaria a la precisión del escáner láser, se extrae la información de los volúmenes de obra registrados en cada modelo BIM, para el caso de uno de los elementos estructurales como se aprecia en la tabla 3.

Tabla 3.

(a) Volumen de Zapatas (b) en concreto gris colado en sitio (c) del 09 de marzo de 2017.

Cantidades de cimentación estructural (Zapatas)	
Volumen	Material Estructural
6.272 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.272 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
11.025 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
3.750 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
3.750 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
3.750 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
0.960 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
1.296 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
1.932 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
3.584 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
1.296 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
2.000 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.272 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.272 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.272 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
3.750 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
9.801 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
9.801 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
9.801 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
7.200 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
7.200 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
1.540 m ³	Concrete Cast-in-Place gray

Tabla 3. *Continuación.*

Cantidades de cimentación estructural (Zapatás)	
Volumen	Material Estructural
2.000 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
7.680 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
7.680 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.448 m ³	Concrete Cast-in-Place gray
6.448 m ³	Concrete Cast-in-Place gray

Los volúmenes totales de los diferentes elementos estructurales se organizan desde el modelo BIM más antiguo al más reciente y se expresan en metros cúbicos de concreto fundidos como se muestra en la tabla 6. Además, se calculan los deltas de dichas cantidades de obra y se expresan en porcentaje, según lo evidenciado en la tabla 7.

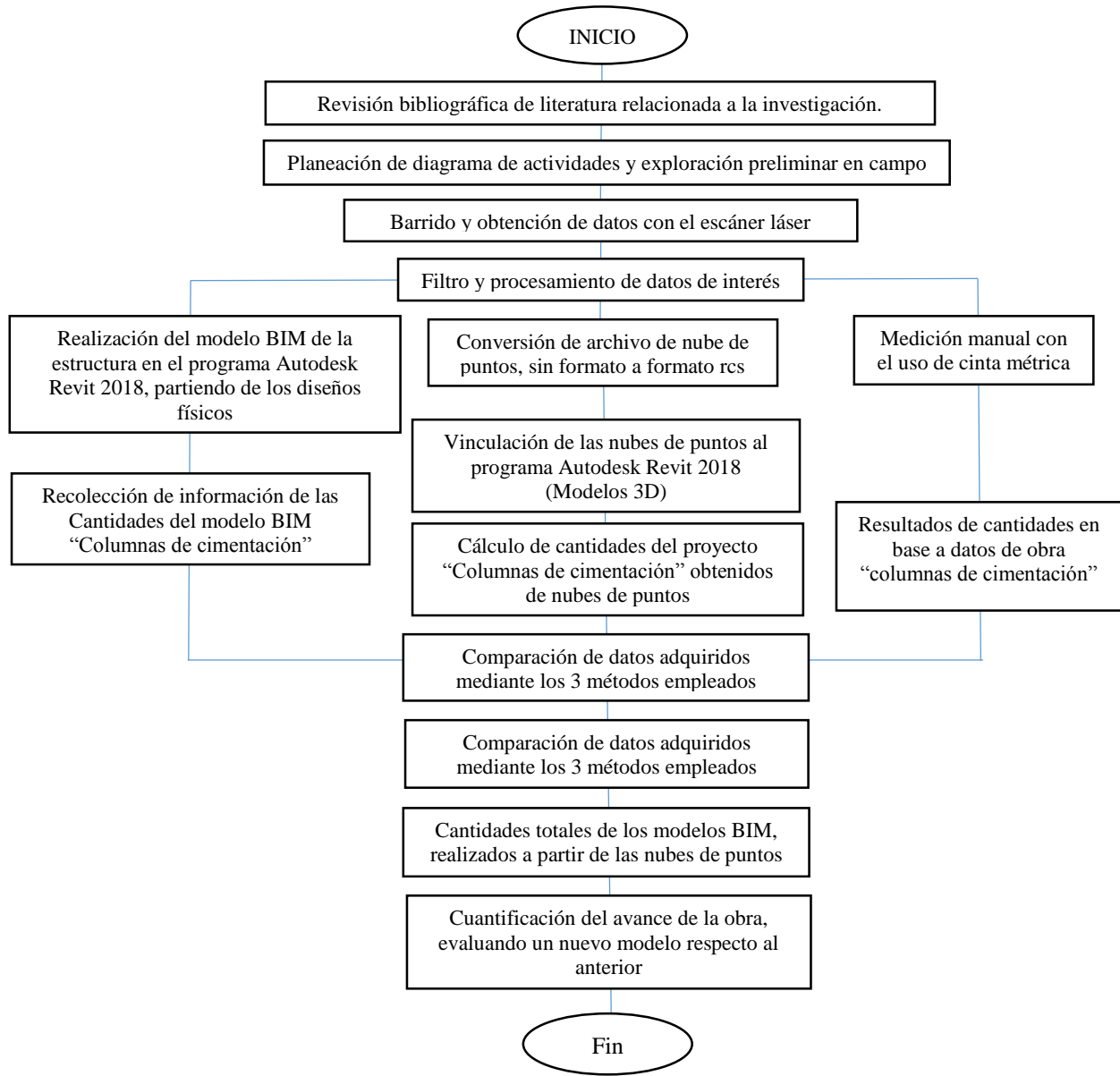


Figura 11. (a) Diagrama de flujo (b) de la metodología.

4. Resultados

Según la metodología aplicada, al caso de estudio, se obtienen los siguientes resultados, sustentados: en la tabla 4, la tabla 5, que por su parte contiene información de las figuras 12 a la 17 y las tablas 6 y 7.

Tabla 4.

(a) Volúmenes de columnas del sótano uno (b) con errores porcentuales y diferencia entre errores porcentuales respecto al BIM (c) del 29 de marzo de 2017.

Volúmenes de Columnas del sótano uno[m ³], errores porcentuales y diferencia entre errores porcentuales respecto a BIM							
Elemento	Escáner Láser	BIM	Medición Manual	% Error	% Error Escáner	% Error	Diferencia Error % respecto a BIM
				Escáner Láser vs BIM	Láser Vs Medición Manual	BIM vs Medición Manual	
L-2	1,31	1,29	1,32	1,55%	0,76%	2,33%	-0,78%
M-2	1,27	1,29	1,29	1,55%	1,55%	0%	1,55%
N-2	1,27	1,29	1,26	1,55%	0,79%	2,33%	-0,78%
O-2	1,26	1,29	1,32	2,33%	4,55%	2,33%	0%
L-3	1,30	1,29	1,31	0,78%	0,76%	1,55%	-0,78%
N-3	1,29	1,29	1,30	0%	0,77%	0,78%	-0,78%
O-3	1,27	1,29	1,34	1,55%	5,22%	3,88%	-2,33%
P-3	1,30	1,29	1,32	0,78%	1,52%	2,33%	-1,55%
K-4	1,31	1,29	1,29	1,55%	1,55%	0%	1,55%

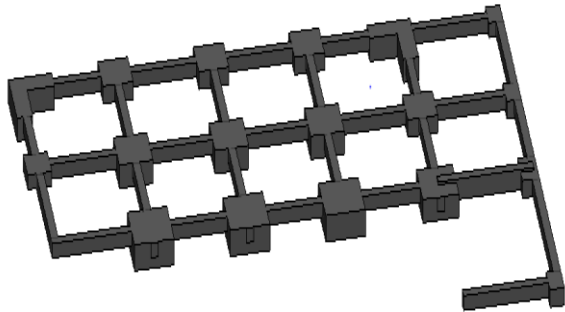
Tabla 4. Continuación

Volúmenes de Columnas del sótano uno[m ³], errores porcentuales y diferencia entre errores porcentuales respecto a BIM							
Elemento	Escáner Láser	BIM	Medición Manual	% Error	% Error Escáner	% Error	Diferencia Error % respecto a BIM
				Escáner Láser vs BIM	Láser Vs Medición Manual	BIM vs Medición Manual	
L-4	1,29	1,29	1,27	0%	1,57%	1,55%	-1,55%
M-4	1,27	1,29	1,30	1,55%	2,31%	0,78%	0,78%
N-4	1,31	1,29	1,30	1,55%	0,77%	0,78%	0,78%
O-4	1,27	1,29	1,31	1,55%	3,05%	1,55%	0%
P-4	1,28	1,29	1,29	0,78%	0,78%	0%	0,78%
Promedio				1,22%		1,44%	-0,22%

Tabla 5.

(a) Modelos BIM vs Nubes de Puntos (b) con fechas de elaboración.

Modelos BIM vs Nubes de puntos	
Modelos BIM	Nubes de Puntos

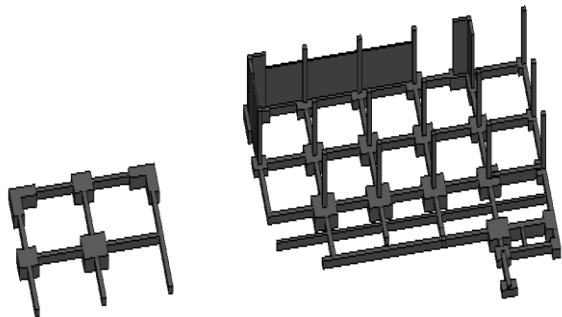


(a) Modelo Bim (b) del 23 de febrero de 2017. **Fuente.**

(a) Nube de puntos (b) del 23 de febrero de 2017.

Elaboración propia con el software Autodesk Revit 2018.

Fuente. Capturada en campo.



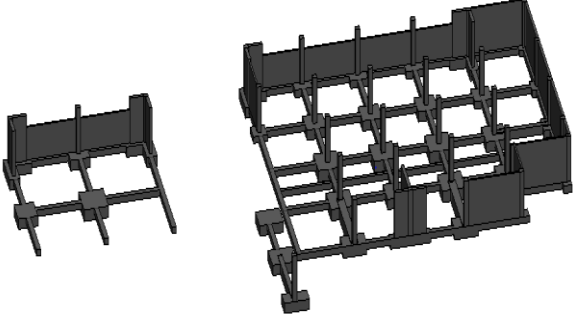
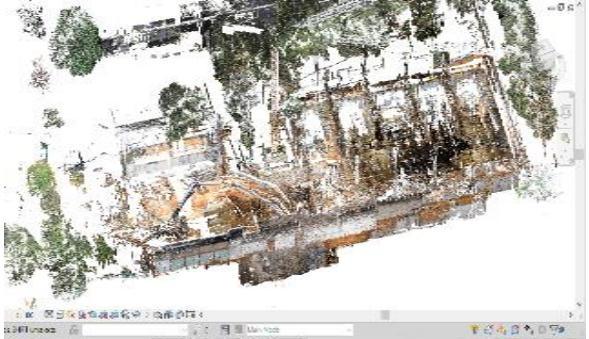
(a) Modelo Bim (b) del 09 de marzo de 2017. **Fuente.**

(a) Segunda nube de puntos (b) del 09 de marzo de 2017.

Elaboración propia con el software Autodesk Revit 2018.

Fuente. Capturada en campo.

Tabla 5. *Continuación*

Modelos BIM vs Nubes de puntos	
Modelos BIM	Nubes de Puntos
	
<p>(a) Modelo Bim (b) del 29 de marzo de 2017. Fuente. Elaboración propia con el software Autodesk Revit 2018.</p>	<p>(a) Nube de puntos (b) del 29 de marzo de 2017. Fuente. Capturada en campo.</p>

Fuente. Modelos Bim elaborado con el software Autodesk Revit 2018 y Nubes de puntos capturadas en campo.

Para validar la metodología de levantamiento expuesta en la sección 3.2 se realizan tres visitas al caso de estudio durante el proceso constructivo, las fechas e información se muestran en la tabla 6.

Tabla 6.

(a) Volúmenes de los distintos elementos estructurales (b) en las fechas que se hicieron las exploraciones con el escaner láser.

	Volumen [m ³]		
	23/02/2017	09/03/2017	29/03/2017
Zapatas	90,8	144,05	213,87
Vigas de Cimentación	47,62	91,9	118,2
Columnas	0	21,88	40,18
Muros de Contención	0	14,02	70,17
Pantallas	0	12,01	30,03

Tabla 7.

(a) Incremento en los volúmenes de los distintos elementos estructurales (b) porcentaje de avance en los volúmenes de los diferentes elementos estructurales.

	Incremento en elementos		% de avance en elementos	
	estructurales[m ³]		estructurales	
	23/02/2017- 09/03/2017	09/03/2017- 29/03/2017	23/02/2017- 09/03/2017	09/03/2017- 29/03/2017
Zapatas	53,25	69,82	58,65%	48,47%
Vigas de Cimentación	44,28	26,3	92,99%	28,62%
Columnas	21,88	18,3	-	83,64%
Muros de Contención	14,02	56,15	-	400,5%
Pantallas	12,01	18,02	-	150,04%

5. Discusión

5.1 Ventajas del uso de escaner laser en la medición del avance del proceso constructivo

La implementación del escáner láser permite una medición favorable para evaluar el avance de obra en el proceso constructivo, en relación con la toma de datos precisos. El escáner láser alcanza una rapidez que permite capturar miles de puntos en pocos segundos y posibilita la generación de modelos virtuales 3D, la precisión con la que se generaran estos modelos es de 6mm a 10mm, dependiendo de la distancia del objeto y el sistema en cuestión. De igual forma, resulta propicia la compatibilidad de estos archivos con variedad de softwares como Revit, ArchiCAD, AECOSim y Vectorworks.

5.2 Ventajas de la integración BIM y escaner laser en la medición del avance del proceso constructivo

La integración de BIM con el escáner láser es de gran utilidad, dado que facilita la comparación del avance constructivo con el plan de obra previsto en el diseño. En este sentido, mediante la información registrada se logra la identificación de fallas que pueden presentarse o que se han presentado durante la ejecución de tareas constructivas. El reconocimiento de estas deficiencias propicia la realización de mejoras con fin de evitar futuros retrasos durante el periodo de construcción. Igualmente, esta integración permite llevar a oficina la adquisición de datos, efectuados de forma rápida y precisa, para procesar la información, a partir de la ejecución de

cálculos automatizados de las cantidades de obra en donde se evidencia el avance del proyecto constructivo.

Debido a la precisión que desempeña el escáner láser resulta ser una fuente confiable para la captación de información detallada, lo que permite ejercer un control de calidad a los elementos construidos, en relación con los previstos en el diseño.

5.3 Precisión de las mediciones obtenidas con el escaner laser

En la tabla 4 se evidencian los errores porcentuales, correspondientes a los volúmenes de algunas columnas del primer sótano, comparados entre dos de las tres alternativas empleadas: escáner láser, BIM y medición manual. Algunos errores son más pequeños entre el escaner láser y el BIM, que entre la medición manual y el BIM en 9 de las 14 columnas en estudio. Lo anterior, supone, no solo en números de columnas, sino en un error promedio menor, que los volúmenes adquiridos con el escáner láser son más aproximados a los volúmenes planeados. En esta tabla también se observa la diferencia del error porcentual respecto al BIM, ello da una idea de la exactitud del volumen que se alcanza con el uso del escáner láser respecto a la medición manual.

Mientras tanto en la tabla 6 se aprecian los volúmenes de obra que se hallan en las tres visitas realizadas al edificio de la escuela de Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Por otro lado, en la tabla 7 los deltas de aquellas cantidades de obra que también se expresan en porcentaje.

6. Conclusiones

El método propuesto para la toma de información del avance del proceso constructivo, a partir del uso del escáner láser, se desarrolla en cuatro etapas. La primera, está relacionada con la elaboración preliminar en oficina en donde se realizan diagramas que permiten visualizar las actividades que se deben ejecutar, las cuales parten de la captura de los datos hasta los informes que se presentan. El siguiente paso consiste en la exploración en campo que requiere de visitas al lugar de trabajo con el fin de determinar las ubicaciones del escáner láser y los puntos de referencia para establecer los barridos, en aras de establecer la mejor descripción del lugar del levantamiento. Seguidamente, se asignan los colores y coordenadas a las nubes de puntos y se finaliza con el ensamble de todas las nubes que permiten la visualización del modelo tridimensional de la estructura.

En definitiva, la medición que se realiza a algunos elementos de la estructura de concreto reforzado del edificio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, con el escáner laser, es considerablemente más rápida que la medición manual. Los miles de puntos que se capturan durante el levantamiento permiten obtener imágenes más detalladas del lugar, además, posibilita que se evidencie de forma detallada el avance de la construcción. Otro beneficio de la implementación del escáner láser es la facilidad de tomar datos sin necesidad de tener contacto directo con el objeto en estudio. De modo que se considera un método capaz de adecuarse a distintos lugares de trabajo, zonas de riesgo o inestables.

En síntesis, el presente estudio evalúa la implementación de la tecnología del escáner láser en la mejora de la precisión y la rapidez de las mediciones del avance del proceso constructivo para

el control de proyectos de construcción de estructuras de concreto reforzado. Se obtienen resultados satisfactorios que dan cuenta de mediciones más exactas que el método tradicional, en concreto un 18% más preciso. El escáner láser, en la toma de datos de los elementos estructurales que componen el edificio de la escuela de Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, alcanza errores que oscilan entre el 0% y 2,33%, mientras que, la medición manual obtiene errores que varían entre el 0% al 3,88%.

Referencias bibliográficas

- Anochie-Boateng, J., Komba, J., & Tutumluer, E. (2012). Aggregate Surface Areas Quantified through Laser Measurements for South African Asphalt Mixtures. *J. Transp. Eng.*, vol. 138, no. 8.
- Beach, T., & et al. (2017). Management of Collaborative BIM Data by Federating Distributed BIM Models, vol. 31, no. 4.
- C. I. N. Civil. (2014). Performance Tests for Automatic 3D Geometric Data Registration Technique for Progressive As-built Construction Site Modeling C. Wang 1 , Y. K. Cho 2. *Construction Research*. (2012). Congress 2012 © ASCE 2012 1232.
- Genta, G., Minetola, P., & Barbato, G. (2016). Calibration procedure for a laser triangulation scanner with uncertainty evaluation,” vol. 86. *Opt. Lasers Eng.*,
- Goedert, J., Asce, M., Bonsell, J., & Samura, F. (June 2005). Integrating Laser Scanning and Rapid Prototyping to Enhance Construction Modeling,” vol. 11,.
- Gordon, S. J., & Lichti, D. D. (2007). Modeling Terrestrial Laser Scanner Data for Precise Structural Deformation Measurement . *Journal Surv. Eng.*, vol. 133, no. 2.
- Gordon, S., & Lichti, D. (2007). Modeling Terrestrial Laser Scanner Data for Precise Structural Deformation Measurement. *Journal Surv. Eng.*, vol. 133, no. 2.
- Han, S., Cho, H., Kim, S., Jung, J., & Heo, J. (June 2013). Automated and Efficient Method for Extraction of Tunnel Cross Sections Using Terrestrial Laser Scanned Data,” vol. 27.
- Jaselskis, E., Gao, Z., & Walters, R. C. (2005). Improving Transportation Projects Using Laser Scanning. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 131, no. 3,.

- Johnson, W., & Johnson, A. (2012). Operational Considerations for Terrestrial Laser Scanner Use in Highway Construction Applications. *J. Surv. Eng.*, vol. 138, no. 4.
- Lee, S., Ph, D., Yu, J., & Asce, M. (2016). Comparative Study of BIM Acceptance between Korea and the United States,” vol. 142, no. 3.
- Lu, W., Peng, Y., Shen, Q., Asce, M., & Li, H. (February 2013). Generic Model for Measuring Benefits of BIM as a Learning Tool in Construction Tasks,” vol. 139.
- Mills, J., & Barber, D. (2004). Geomatics Techniques for Structural Surveying. *J. Surv. Eng.*, vol. 130, no. 2,.
- Nepal, M. S.-F. (2012). Ontology-based feature modeling for construction information extraction from a building information model,” *J. Comput. ...*, vol. 27, no. 10.
- Olsen, M. J., Asce, M., Kuester, F., Chang, B. J., Asce, S. M., & C., T. (2010). Hutchinson, “Terrestrial Laser Scanning-Based Structural Damage Assessment. *J. Comput. Civ. Eng.*, vol. 24, no. 3.
- Oskouie, P., Becerik-gerber, B., & Soibelman, L. (2016). Automation in Construction Automated measurement of highway retaining wall displacements using terrestrial laser scanners. *Autom. Constr.*, vol. 65.
- Riveiro, B., Ph, D. A., Ph, D., & Caama, J. (2016). Exploitation of Geometric Data provided by Laser Scanning to Create FEM Structural Models of Bridges,” vol. 30, no. 3.
- Shih, N., & Huang, S. (2006). 3D Scan Information Management System for Construction Management. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 132, no. 2.
- Shih, N., & Wang, P. (September de 2004). Point-Cloud-Based Comparison between Construction Schedule and As-Built Progress: Long-Range Three-Dimensional Laser Scanner ’ s Approach,” vol. 10.

- Shih, N.-J., & Wang, P.-H. (2004). Point-Cloud-Based Comparison between Construction Schedule and As-Built Progress: Long-Range Three-Dimensional Laser Scanner's Approach. *J. Archit. Eng.*, vol. 10, no. 3,.
- Slattery, K. T., & Slattery, D. K. (2012). Road Construction Earthwork Volume Calculation Using Three-Dimensional Laser Scanning,” vol. C, no. 2.
- Su, Y. Y., Hashash, Y. M., & Liu, L. Y. (2006). Integration of Construction As-Built Data Via Laser Scanning with Geotechnical Monitoring of Urban Excavation. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 132, no. 12,.
- Walters, R., Jaselskis, E., Zhang, J., Mueller, K., & Kaewmorachoen, M. (2008). Using Scanning Lasers to Determine the Thickness of Concrete Pavement. *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 134, no. 8.
- Wu, W., & Issa, R. (2014). BIM Education and Recruiting: Survey-Based Comparative Analysis of Issues, Perceptions, and Collaboration Opportunities. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.*, vol. 140, no. 2.
- Zhang, C., & Arditi, D. (2013). Automation in Construction Automated progress control using laser scanning technology,” *Autom. Constr.*, vol. 36