

# Laser Scanning Basics for Concrete Tolerance Verification

Multiple instruments were compared during a live event

by Lingfeng (Leo) Zhang and John M. Russo

**L**aser scanning, also known as LiDAR (light detection and ranging), has experienced significant adoption and growth over the past two decades. Key advancements have included the miniaturization of LiDAR sensors, the integration of solid-state lasers, and the addition of colored photo imagery capture. These advancements have led to the development of more compact, lightweight, and cost-effective instruments as well as specialized software applications that are enabling more precise and detailed data acquisition and analysis. As a result, LiDAR is seeing more widespread acceptance in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry.

The concrete industry now has access to numerous LiDAR applications throughout the project life cycle. For example, a site can be laser scanned during the planning phase and preconstruction phase to evaluate staging, safety, and truck routing. It can be also used as a quality assurance tool for verifying the size and location of reinforcement, as well as the location of formwork, slab edges, openings, soffit elevations, or embedded elements. Some contractors use laser scanning to improve the quality of flatwork finishing operations and verify compliance with tolerance limits. And in-time laser scan deliverables can be used for building information modeling (BIM) coordination by mechanical, electrical, plumbing (MEP), and framing trades.

## Issues with Non-Standardized Laser Scan Spec Sheets

If you have read the specification sheets produced by laser scanner manufacturers, you probably noticed they appear to be more akin to a carefully crafted combination of a marketing piece and a technical fact sheet. If you venture to compare spec sheets, you will likely find that each manufacturer has a unique format and presents metrics that others may not. This can be very cumbersome for those trying

to make a simple comparison between two instruments. In fact, it can take a tremendous amount of time to research the differences and come up with a normalized comparison.

The U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) recognized this challenge and set out to provide a solution for its members and others in the industry. Inspired by the auto industry's new-car window stickers (the Monroney label), the USIBD laser scanning committee set out to develop a spec with a standardized format to help normalize the comparison between the most popular instruments on the market. The goal was an easy-to-read, uniform format that presented the information from the manufacturers' spec sheets. In 2023, the USIBD published its first set of Laser Scanner Spec Sheets. These are available as a free download on USIBD's website at <https://usibd.org/>.

Factors that affect the accuracy of laser scanning for concrete tolerance verification include instrument accuracy, field capture operation, reference points and lines, registration technique, or interpretation/representation/reconstruction/sampling of scanning data. And among those factors, the fundamental one is the accuracy of the instrument. However, the lack of the standardized laser scan specification sheets limits users' confidence level when it comes to verifying concrete tolerances. For example, some laser scanner vendors specify their range accuracy by how many millimeters plus how many parts per million (ppm) at different ranges, while others do not specify ppm. Some vendors specify the range and reflectivity with the same metric while others do not. Some vendors provide their own technical terms that do not apply to others. In addition, there are multiple types of laser scanners, including terrestrial laser scanner (TLS), airborne laser scanner, hand-held simultaneous localization and mapping (SLAM) laser scanner, and other types of mobile mapping solutions. ASTM E3125-17<sup>1</sup> specifies the standard test method for evaluating the point-to-point distance

measurement performance of spherical coordinate three-dimensional (3-D) imaging systems in the medium range. However, the lab tests are not easy for most users to perform when they decide to select the laser scanner. One of the authors, John Russo, Chair of the USIBD Level of Accuracy (LOA) Subcommittee, reminds us that “intent defines process.” In other words, once the intent is clearly defined, the proper process can be determined. For concrete tolerance verification, users must make sure the measuring method and apparatus used to verify a tolerance are capable of reliably measuring to one-third of the value of the specified tolerance or less (ACI 117.1R-14, Section 3.4.1<sup>2</sup>). Thus, the purpose of this article is to provide users with an in-depth review of the data comparison from a live laser scanning event and help users to select the proper laser scanner for concrete tolerance verification with focus on the stationary TLS.

### Previous and Ongoing Laser Scanner Studies

The American Society of Concrete Contractors (ASCC) has sponsored a laser scan study to compare measurements and F-numbers from reference data in October 2018,<sup>3,4</sup> and

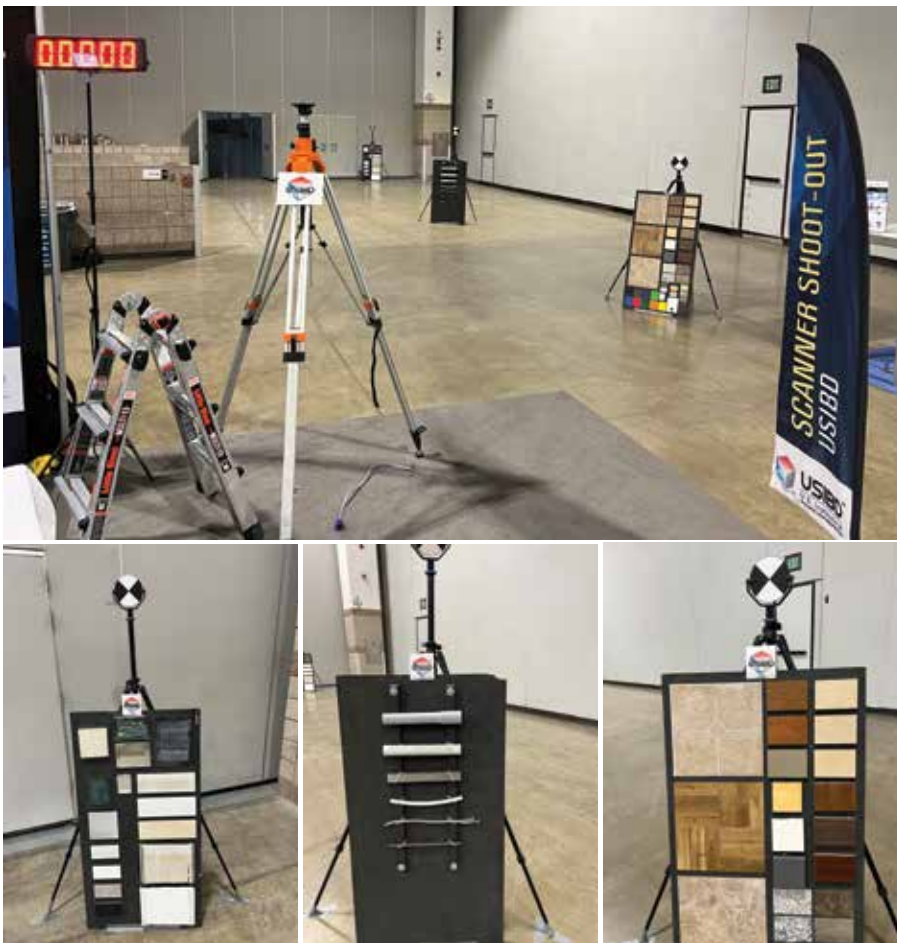
two laser scan workshops (January 22, 2018, and January 21, 2019<sup>5</sup>). In December 2021, ASCC sponsored and initiated another study about laser scanning deliverables for slab-on-ground construction. The study was conducted at a formwork yard of The Conco Companies, an ASCC member in Concord, CA, USA. The study authors recommended that deliverables should be tailored to the user’s perspective, including necessary information.<sup>6</sup> But how can users trust the data? Especially regarding the fundamentals, how much do users trust the data from different kinds of units? Subcommittee 117-L, Laser Scanning, within Joint ACI-ASCC Committee, 117, Tolerances, is working on a document to provide the users with the necessary information about laser scanning for concrete tolerance verification.

In February 2023, the USIBD Laser Scanning Committee hosted a live scanner shoot-out at the Geo Week 2023 conference in Denver, CO, USA, to compare TLS units from multiple manufacturers and multiple models. While the USIBD has previously performed scanner shoot-outs, this was the first time performing it live at a public event. This article presents the results and recommendations from that event.

### Scanner Shoot-Out at Geo Week 2023

Just what exactly is the scanner shoot-out? One of the goals of the USIBD Laser Scanning Committee is to normalize the comparison of data from various laser scanners. It isn’t too hard to obtain a data set from a laser scanner; however, it’s much more difficult to compare data from a variety of scanners. Data sets obtained from various instruments often are not of the same scene, so making an apples-to-apples comparison can be challenging.

The USIBD’s scanner shoot-out sought to overcome this challenge by bringing together TLS manufacturers to a single event where they could showcase a variety of their instruments. Participants were invited to place their scanners on a stationary tripod to perform a series of scans to USIBD specifications. Material boards containing items commonly encountered when documenting buildings were placed at set distances from the tripod (Fig. 1). Three 6 in. (152 mm) black and white (B/W) plate targets (203, 202, and 201) were set on tripods at 5, 10, and 20 m (16, 33, and 66 ft) from the scanner setup location, respectively (Fig. 2). In addition, four 6 in. paper targets (101, 102, 105, and



**Fig. 1: Targets and boards containing items commonly encountered when documenting buildings were placed at set distances from a tripod. The various TLS systems were tested by mounting each to the tripod and scanning the space**

106) were set on the face of columns at distances of approximately 19, 26, 20, and 11 m (62, 85, 66, and 36 ft) from the scanner setup location, respectively (Fig. 2).

Each manufacturer’s representative set the parameters to the required settings and conducted three scans using their company’s instrument. The data from each instrument were collected, analyzed by the USIBD, and presented in a normalized comparison. The results were published in a comprehensive report and made available to the public along with the collected data sets.<sup>7</sup> Table 1 shows the point spacing on each target from each scanner and each of three resolution settings.

### Resolution on targets

The data set that a laser scanner generates is called a point cloud. A point cloud is a discrete set of data points in space. Each point has its own XYZ coordinates in space corresponding with the instrument setup coordinate. The density or resolution of the point cloud determines how much data the user can extract from the raw scan data. Although the density or resolution of

the point cloud can be increased by registering multiple scans with increased overlaps, and a least square regression is able to analyze the “best fit” from raw scan data with less density or resolution, the authors compared the resolution of the single scan raw data from the USIBD scanner shoot-out event to provide users the basic information for evaluation.

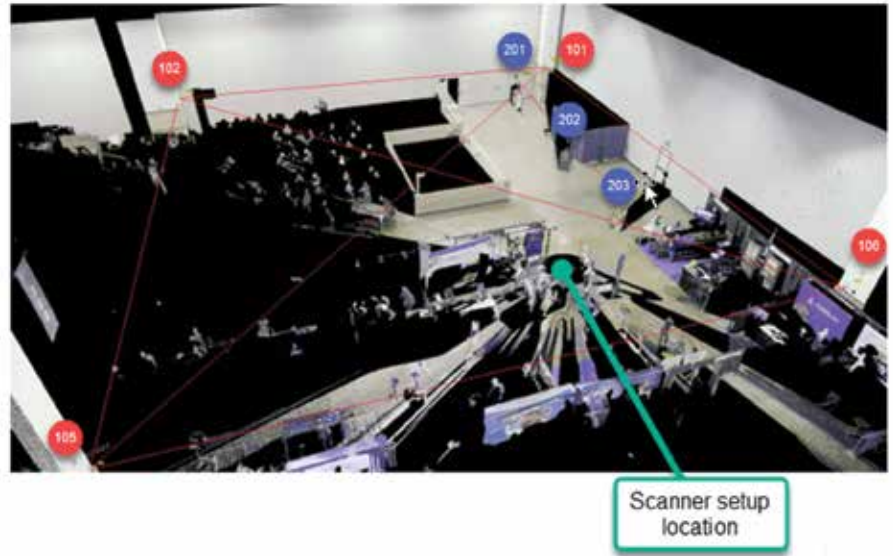


Fig. 2: Locations of targets in relation to laser scanner. Black and white (B/W) plate targets are marked in blue and paper targets are marked in red

**Table 1:**  
Point spacing on targets from scanners at three resolution settings

Laser scanner	Resolution	Point spacing on 6 in. B/W targets					
		Target at 5 m		Target at 10 m		Target at 20 m	
		in.	mm	in.	mm	in.	mm
Leica RTC360	High	0.054	1.372	0.122	3.099	0.226	5.740
	Medium	0.123	3.124	0.244	6.198	0.483	12.268
	Low	0.224	5.690	0.486	12.344	1.003	25.476
Z+F Imager 5016	High <sup>*</sup>	0.061	1.549	0.123	3.124	0.235	5.969
	Medium	0.117	2.972	0.272	6.909	0.469	11.913
	Low	0.251	6.375	0.501	12.725	1.001	25.425
Faro Focus Premium	High	0.054	1.372	0.122	3.099	0.231	5.867
	Medium	0.122	3.099	0.243	6.172	0.481	12.217
	Low	0.250	6.350	0.454	11.532	0.980	24.892
Leica BLKG2	High	0.117	2.972	0.231	5.867	0.483	12.268
	Medium	0.231	5.867	0.481	12.217	1.001	25.425
	Low	0.945	24.003	1.868	47.447	NA	NA
Leica P50	Medium <sup>†</sup>	0.119	3.023	0.251	6.375	0.500	12.700

<sup>\*</sup>Z+F Imager 5016 high-resolution scanner on target at 5 m was partially blocked by a moving object at time of scan

<sup>†</sup>Leica P50 scanner performed medium setting only due to time limitation

Note: 1 in. = 25.4 mm; 1 m = 3.3 ft

The point cloud resolution on a target at a 10 m (33 ft) range per medium setting scan was 6.198, 6.909, 6.172, 6.375, and 12.217 mm (0.244, 0.272, 0.243, 0.251, and 0.481 in.), for Leica RTC360, Z+F Imager 5016, FARO Focus Premium, Leica P50, and Leica BLK G2, respectively. They seem to match the manufacturer’s specification sheets. Leica BLK G2 medium setting resolution seems to be doubled but its high-resolution setting on the target at 10 m was 5.867 mm

(0.231 in.). A certain count of points on a B/W target is required by some point cloud processing software to extract the center of the target. Table 2 lists the point count on each target from each scanner and each resolution setting.

We recommend that users consider the range and resolution when using laser scanning to verify concrete tolerance. For example, ACI 117-10, Section 4.2.1,<sup>8</sup> specifies a ±1/2 in. (13 mm) tolerance on the edge location of all openings; thus,

a scan accuracy should be no more than one-third of the tolerance, which is just between 1/8 and 3/16 in. (3 and 5 mm). Without taking scan registration error into consideration, a user should choose a proper laser scanner at a proper resolution setting to perform the verification, and the user should not use a scanner with a medium resolution to scan a slab opening positioned 20 m (65 ft) away from the setup location, because most of the manufacturers do not achieve a resolution of less than 3/16 in. in that condition. However, adequate resolution can be achieved by performing multiple scans with increased overlap. A thorough registration technique and quality control procedure will be needed in that case, which is not a topic of this article.

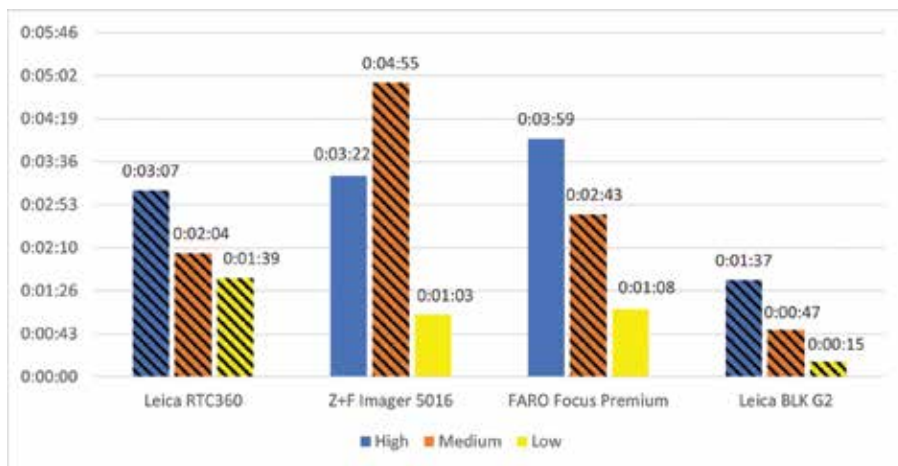
**Table 2:**  
**Point counts on targets from scanners at three resolution settings**

Laser scanner	Resolution	Point counts on 6 in. B/W targets (each)		
		Target at 5 m	Target at 10 m	Target at 20 m
Leica RTC360	High	7415	1809	418
	Medium	1788	434	89
	Low	379	94	16
Z+F Imager 5016	High†	6203	1808	530
	Medium	1749	472	137
	Low	446	115	27
Faro Focus Premium	High	7132	1681	318
	Medium	1560	308	6
	Low	389	50	0
Leica BLKG2	High	2064	516	102
	Medium	509	115	18
	Low	17	6	0
Leica P50	Medium‡	1783	419	93

†Z+F Imager 5016 high-resolution scanner on target at 5 m was partially blocked by a moving object at time of scan

‡Leica P50 scanner performed medium setting only due to time limitation

Note: 1 in. = 25.4 mm; 1 m = 3.3 ft



**Fig. 3: Scan duration (shaded bars represent scans with photos) in minutes and seconds. Leica P50 scanner with medium setting took approximately 30 minutes due to target acquisition and photo**

### Scan speed

Time is often very tight on a construction jobsite, especially when performing a quality assurance as-built laser scan on a fast-track schedule. Some users consider the speed and mobility of a laser scanner as critical factors. Figure 3 shows the duration of the scans performed by each scanner at each resolution setting. One single scan can take from less than 20 seconds to minutes, depending on the setting and unit being used. Nowadays, more and more laser scanner manufacturers and software vendors are providing on-site processing and aiming at a fast deliverable turnover; however, office processing is still recommended when it comes to concrete tolerance verification. In addition, sometimes the field scan capture can be less than 10 scans, but in some cases, it can take up to hundreds or even thousands, and office registration and quality assurance/quality control (QA/QC) processing cannot start until field scans are completed. Thus, the

speed of a scanner is critical to some users.

The following example provides users, especially concrete contractors, a better idea of the field operation time they can expect. Assume that you must conduct a quality assurance study of an 18,000 ft<sup>2</sup> (1672 m<sup>2</sup>) typical elevated concrete slab, and that will require a scan every 30 ft (9 m) between symmetrical column bays. This means that you will have about 20 scans. Take the following items into consideration: the operator must move from one setup to the next, avoiding objects, dealing with a wireless connection, naming scans, and making notes. Let's say those items add 3 minutes extra time for each scan. Further, you could expect that survey control acquisition (assuming the survey controls are available on the slab) will take 30 minutes. Using these additions and the times shown in Fig. 3, it's apparent that the total field capture time can vary from 1 hour 45 minutes to 3 hours. If the site has multiple obstructions and the scans include photos, the field capture time can even fill an 8-hour day. However, the required time can be reduced by scanning without photos in some scenarios.

### Point-to-point measurement

Centers of the targets (refer to Fig. 2) were extracted from each individual scan, and point-to-point distances were measured from target centers to centers. A third-party total station survey was performed prior to the event and relative local coordinates and north direction were established. Each target was measured from the total station and relative point-to-point distance measurements from the total station were set as the base for comparison. Table 3 shows the

point-to-point distances from each scanner at each resolution setting, and Table 4 shows the distance measurement variations between scanners and the total station. Some of the scans were not able to extract centers of targets accurately due to the lack of data captured on the target surface, especially when scanners were set to low-resolution settings.

Leica RTC360 high- and medium-resolution scanners, Z+F Imager 5016 high-resolution scanner, FARO Focus Premium high-resolution scanner, and Leica P50 medium-resolution scanner were able to extract all seven targets. Leica BLK G2 low-resolution scanner was not able to extract any of the seven targets. The average measurement variations between each laser scanner and the total station were within 1/4 in. (6 mm), with the range within 1/2 in. Targets 202 and 203 were both within 30 ft from the scanner setup location and were both able to be extracted by all scans except Leica BLKG2 low-resolution setting. Target 202 to 203 distance measurement variation mean was 1/8 in. from each scan. We recommend extracting data no more than 30 ft from the scanner to achieve 1/8 in. accuracy when one single scan is performed.

In addition, the scanner shoot-out was a live data collection event in a busy conference exhibit hall, so there were many moving objects around the testing area, which was very similar to an active jobsite. It is hard to avoid some critical data being blocked in this condition, so in many real-world cases, users would have to perform multiple scans and register scans through different types of registration techniques. However, these additional steps were outside the scope of the scanner shoot-out event.

**Table 3:**  
Point-to-point distances from laser scanners

Instrument	Resolution	Point-to-point distance, ft							
		201 to 202	202 to 203	101 to 102	102 to 105	105 to 106	106 to 101	101 to 105	102 to 106
Total station	NA	33.860	21.250	82.746	87.393	83.759	85.080	119.338	120.375
Leica RTC360	High	33.870	21.245	82.760	87.360	83.738	85.088	119.345	120.347
	Medium	33.864	21.240	82.760	87.368	83.744	85.122	119.347	120.379
	Low	—	21.234	—	—	83.742	85.092	119.334	—
Z+F Imager 5016	High	33.865	21.248	82.754	87.381	83.751	85.102	119.355	120.366
	Medium	33.873	21.246	—	—	83.754	85.113	119.344	—
	Low	—	21.245	—	—	—	—	—	—
Faro Focus Premium	High	33.877	21.248	82.741	87.361	83.745	85.105	119.329	120.367
	Medium	33.874	21.243	—	—	83.745	85.103	119.320	—
	Low	—	21.244	—	—	—	—	—	—
Leica BLKG2	High	33.886	21.230	—	—	—	—	119.344	—
	Medium	—	21.235	—	—	—	—	119.309	—
	Low	—	—	—	—	—	—	—	—
Leica P50	Medium	33.871	21.237	82.731	87.368	83.738	85.086	119.326	120.350

Note: 1 ft = 0.3 m

**Table 4:**  
Distance measurement variation between laser scanner and total station

Laser scanner	Resolution	Distance measurement variation between laser scanner and total station, ft							
		201 to 202	202 to 203	101 to 102	102 to 105	105 to 106	106 to 102	101 to 105	102 to 106
Leica RTC360	High	0.01	0.005	0.014	0.033	0.021	0.008	0.007	0.028
	Medium	0.004	0.01	0.014	0.025	0.015	0.042	0.009	0.004
	Low	—	0.016	—	—	0.017	0.012	0.004	—
Z+F Imager 5016	High	0.005	0.002	0.008	0.012	0.008	0.022	0.017	0.009
	Medium	0.013	0.004	—	—	0.005	0.033	0.006	—
	Low	—	0.005	—	—	—	—	—	—
Faro Focus Premium	High	0.017	0.002	0.005	0.032	0.014	0.025	0.009	0.008
	Medium	0.014	0.007	—	—	0.014	0.023	0.018	—
	Low	—	0.006	—	—	—	—	—	—
Leica BLKG2	High	0.026	0.02	—	—	—	—	0.006	—
	Medium	—	0.015	—	—	—	—	0.029	—
	Low	—	—	—	—	—	—	—	—
Leica P50	Medium	0.011	0.013	0.015	0.025	0.021	0.006	0.012	0.025
Mean		0.013	0.009	0.011	0.025	0.014	0.021	0.012	0.015
Standard deviation		0.007	0.006	0.004	0.007	0.005	0.012	0.007	0.010
Maximum		0.026	0.020	0.015	0.033	0.021	0.042	0.029	0.028
Minimum		0.004	0.002	0.005	0.012	0.005	0.006	0.004	0.004
Range		0.022	0.018	0.010	0.021	0.016	0.036	0.025	0.024

Note: 1 ft = 0.3 m

**Table 5:**  
Distance measurement variation between laser scanner and total station per manufacturer

Target sets	Laser scanner												
	Leica RTC360, ft			Z+F Imager 5016, ft			Faro Focus Premium, ft			Leica BLKG2, ft			Leica P50, ft
	High	Medium	Low	High	Medium	Low	High	Medium	Low	High	Medium	Low	Medium
201 to 202	0.010	0.004	—	0.005	0.013	—	0.017	0.014	—	0.026	—	—	0.011
202 to 203	0.005	0.010	0.016	0.002	0.004	0.005	0.002	0.007	0.006	0.020	0.015	—	0.013
101 to 102	0.014	0.014	—	0.008	—	—	0.005	—	—	—	—	—	0.015
102 to 105	0.033	0.025	—	0.012	—	—	0.032	—	—	—	—	—	0.025
105 to 106	0.021	0.015	0.017	0.008	0.005	—	0.014	0.014	—	—	—	—	0.021
106 to 102	0.008	0.042	0.012	0.022	0.033	—	0.025	0.023	—	—	—	—	0.006
101 to 105	0.007	0.009	0.004	0.017	0.006	—	0.009	0.018	—	0.006	0.029	—	0.012
102 to 106	0.028	0.004	—	0.009	—	—	0.008	—	—	—	—	—	0.025
Mean	0.016	0.015	—	0.010	0.012	—	0.014	0.015	—	0.017	0.022	—	0.016
St. dev.	0.010	0.012	—	0.006	0.011	—	0.010	0.005	—	0.008	0.007	—	0.007
Maximum	0.033	0.042	—	0.022	0.033	—	0.032	0.023	—	0.026	0.029	—	0.025
Minimum	0.005	0.004	—	0.002	0.004	—	0.002	0.007	—	0.006	0.015	—	0.006
Range	0.028	0.038	—	0.020	0.029	—	0.030	0.016	—	0.020	0.014	—	0.019

Note: 1 ft = 0.3 m

Table 5 shows the distance measurement variation between laser scanners and total station per manufacturer. The low-resolution setting data were not compared due to the lack of data. In general, each manufacturer and each model show similar results, with the mean value of approximately 1/4 in. and the range within 1/2 in. We suggest that more tests should be performed to provide more data for a thorough statistical analysis.

## Summary

Currently, laser scanning is drawing more attention from users, especially concrete contractors, due to its ability to provide a bigger picture of a construction site during different phases of a project. LiDAR's high speed and accuracy offer concrete contractors the opportunity to perform in-time QA/QC and more comprehensive as-built surveys. The growing number of manufacturers and scanner models without standardized specification sheets, however, results in challenges for users trying to select the right tool for the job. The USIBD scanner spec sheets were introduced to help with this. To achieve the accuracy of verifying concrete tolerance, we recommend that you start by defining your intent. Subcommittee 117-L, within Joint ACI-ASCC Committee 117, is working on a document to provide scanner users with the information needed to understand the use of laser scanning and its outcome in terms of concrete tolerance verification.

The USIBD is planning a future SLAM scanner event to give users an in-depth comparison of the fast-growing mobile laser scanning technology. In addition, the USIBD and National Institute of Standards and Technology (NIST) are exploring a collaboration to further develop the USIBD scanner spec sheets.

We are advocating additional research on the use of laser scanners in the concrete industry. This work will enhance users' understanding of fundamental information on laser scanning, including both hardware and software aspects, and it will encourage more consistent application of this tool.

## Project credits

U.S. Institute of Building Documentation (USIBD); Christopher Kercheval, TopKerv Consulting; Andrew Seward, PrecisionPoint, Inc.; Dustin Manning, Luxpoint; Ken VanBree, e-Builds; Josh DeStefano, DPR Construction; and Cole Pooler, Architectural Resource Consultants.

## References

1. ASTM E3125-17, "Standard Test Method for Evaluating the Point-to-Point Distance Measurement Performance of Spherical Coordinate 3D Imaging Systems in the Medium Range," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 38 pp.
2. ACI Committee 117, "Guide for Tolerance Compatibility in Concrete Construction (ACI 117.1R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 47 pp.
3. Paul, W.; Klinger, J.; and Suprenant, B.A., "ASCC 3-D Laser Scanning Study," *Concrete International*, V. 41, No. 1, Jan. 2019, pp. 22-29.

4. Paul, W.; Klinger, J., and Suprenant, B.A., "ASCC 3-D Laser Scanning Study," *Concrete International*, V. 42, No. 2, Feb. 2020, pp. 30-36.
5. Zhang, L.; Klinger, J.; and Suprenant, B.A., "F-numbers and Textured Concrete Surface Finishes," *Concrete International*, V. 44, No. 5, May 2022, pp. 33-41.
6. Zhang, L.; Klinger, J.; and Suprenant, B.A., "Presenting Laser Scan Results for Slabs-on-Ground," *Concrete International*, V. 44, No. 9, Sept. 2022, pp. 43-51.
7. "Scanner Shootout Report," U.S. Institute of Building Documentation, Tustin, CA, 2023.
8. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.

Selected for reader interest by the editors.



ACI member **Lingfeng (Leo) Zhang** is a Virtual Construction Manager at The Conco Companies, San Francisco, CA, USA. He is Chair of ACI Subcommittee 117-L, Laser Scanning. Zhang is also a member of ACI Committee 131, Building Information Modeling of Concrete Structures, and Joint ACI-ASCC Committee 117, Tolerances. He received his BS in material physics from Dalian University of Technology, Dalian, China, and his MS in construction management from the University of Florida, Gainesville, FL, USA.



**John M. Russo** is an Architect and the Founder of Architectural Resource Consultants (ARC), a firm specializing in professional building documentation services for the architectural, engineering, construction, and owner/operator communities. In 2011, he established the U.S. Institute of Building Documentation (USIBD), a nonprofit membership organization dedicated

to advancing excellence in building documentation, where he currently serves as the President and a member of the Board of Directors. In 2012, he received the 2012 SPAR Star Award. In addition, Russo delivers keynote addresses and serves as a featured speaker at industry shows and conferences and contributes as an author for LiDAR News and GeoDataPoint. He received his BA in business administration from California State University, Fullerton, CA, USA, and his associate's degree in architecture from Orange Coast College, Costa Mesa, CA. He is a licensed architect in California.

# Conceptos básicos del escaneado láser para la verificación de tolerancias en el concreto

*Varios instrumentos fueron comparados durante un evento en directo*

*Por Lingfeng (Leo) Zhang y John M. Russo.*

Escaneo láser, también conocido como LiDAR (light detection and ranging), ha experimentado una acogida y un crecimiento significativo en las dos últimas décadas. Los principales avances han sido la miniaturización de los sensores LiDAR, la integración de láseres de estado sólido y la incorporación de la captura de imágenes fotográficas en color. Estos avances han permitido desarrollar instrumentos más compactos, ligeros y rentables, así como aplicaciones de software especializadas que hacen posible la adquisición y análisis de datos más precisos y detallados. Como resultado, el LiDAR está teniendo una mayor aceptación en la industria de la arquitectura, la ingeniería y la construcción (AEC).

La industria del concreto tiene ahora acceso a numerosas aplicaciones LiDAR a lo largo del ciclo de vida del proyecto. Por ejemplo, una obra puede escanearse con láser durante la fase de planificación y la fase previa a la construcción para evaluar la puesta en escena, la seguridad y la ruta de los camiones. También puede utilizarse como herramienta de control de calidad para verificar el tamaño y la ubicación de la armadura, así como la ubicación de encofrados, bordes de losa, aberturas, elevaciones de los voladizos o elementos empotrados. Algunos contratistas utilizan el escaneo láser para mejorar la calidad de las operaciones de acabado de las losas y verificar el cumplimiento de los límites de tolerancia. Además, los resultados del escaneo láser a tiempo pueden utilizarse para la coordinación del modelado de información de construcción (BIM) por parte de los gremios de mecánica, electricidad, piping (MEP) y carpintería.

## Problemas con las especificaciones no estandarizadas de los escáneres láser

Quien haya leído las hojas de especificaciones elaboradas por los fabricantes de escáneres láser, probablemente se habrá dado cuenta de que parecen más una combinación cuidadosamente elaborada entre un artículo de marketing y una hoja de datos técnicos. Si uno se aventura a comparar las hojas de especificaciones, es probable que descubra que cada fabricante tiene un formato distinto y presenta métricas que otros no. Esto puede resultar muy engorroso para quienes intentan hacer una simple comparación entre dos instrumentos. De hecho, investigar las diferencias y llegar a una comparación normalizada puede llevar mucho tiempo.

El U.S. Institute of Building Documentation (USIBD) reconoció este reto y se propuso ofrecer una solución a sus miembros y a otros profesionales del sector. Inspirándose en los adhesivos de los coches nuevos (la etiqueta Monroney), el comité de escaneo láser del USIBD se propuso desarrollar una especificación con un formato estandarizado para ayudar a normalizar la comparación entre los instrumentos más populares del mercado. El objetivo era un formato fácil de leer y uniforme para presentar la información de las hojas de especificaciones de los fabricantes. En 2023, la USIBD publicó su primer conjunto de hojas de especificaciones de escáneres láser. Las mismas pueden descargarse gratuitamente en el sitio web de la USIBD: <https://usibd.org/>.



Entre los factores que afectan la precisión del escaneo láser para la verificación de la tolerancia del concreto se encuentran la precisión del instrumento, la operación de captura sobre el terreno, los puntos y líneas de referencia, la técnica de registro o la interpretación/representación/reconstrucción/muestreo de los datos de escaneo. Entre esos factores, el fundamental, es la precisión del instrumento. Sin embargo, la falta de hojas de especificaciones estandarizadas del escáner láser limita el nivel de confianza de los usuarios a la hora de verificar tolerancias concretas. Por ejemplo, algunos proveedores de escáneres láser especifican su precisión de alcance en milímetros más partes por millón (ppm) en diferentes alcances, mientras que otros no especifican las ppm. Algunos proveedores especifican el alcance y la reflectividad con la misma métrica, mientras que otros no lo hacen. Algunos proveedores proporcionan sus propios términos técnicos que no se aplican a otros. Además, existen múltiples tipos de escáneres láser, como el escáner láser terrestre (TLS), el escáner láser aerotransportado, el escáner láser portátil de localización y cartografía simultáneas (SLAM) y otros tipos de soluciones cartográficas móviles. La norma ASTM E3125-17<sup>1</sup> especifica el método de ensayo estándar para evaluar las prestaciones de medición de distancias punto a punto de los sistemas de formación de imágenes tridimensionales (3D) por coordenadas esféricas en el rango medio. Sin embargo, las pruebas de laboratorio no son fáciles de realizar para la mayoría de los usuarios cuando deciden elegir el escáner láser. Uno de los autores, John Russo, presidente del Subcomité de Nivel de Precisión (LOA) de la USIBD, nos recuerda que "la intención define el proceso". En otras palabras, una vez definida claramente la intención, puede determinarse el proceso adecuado. Para la verificación de la tolerancia del concreto, los usuarios deben asegurarse que el método y el aparato de medición utilizados para verificar una tolerancia son capaces de medir con confiabilidad hasta un tercio del valor de la tolerancia especificada o menos (ACI 117.1R-14, Sección 3.4.1<sup>2</sup>). Por lo tanto, el propósito de este artículo es proporcionar a los usuarios una revisión en profundidad de la comparación de datos durante un evento de escaneo láser en vivo y ayudar a los usuarios a seleccionar el escáner láser adecuado para la verificación de la tolerancia del concreto, centrándose en el TLS estacionario.

## Estudios de escáner láser anteriores y en curso

La American Society of Concrete Contractors (ASCC) ha patrocinado un estudio de escaneo láser para comparar mediciones y números F (distancia focal) de datos de referencia en octubre de 2018<sup>3,4</sup>, y dos talleres de escaneo láser (22 de enero de 2018 y 21 de enero de 2019<sup>5</sup>).

En diciembre de 2021, la ASCC patrocinó e inició otro estudio sobre los entregables del escaneo láser para la construcción de losas sobre el terreno. El estudio se llevó a cabo en la zona donde se realizan los encofrados de The Conco Companies, un miembro de ASCC en Concord, CA, EE. UU. Los autores del estudio recomendaron que los entregables se adaptaran a la perspectiva del usuario e incluyeran la información necesaria<sup>6</sup>. Pero ¿cómo pueden los usuarios confiar en los datos? Especialmente en lo que respecta a los fundamentos, ¿hasta qué punto confían los usuarios en los datos de los distintos tipos de unidades? El Subcomité 117-L, Escaneo Láser, dentro del Comité Conjunto ACI-ASCC, 117, Tolerancias, está trabajando en un documento para proporcionar a los usuarios la información necesaria sobre el escaneo láser para la verificación de tolerancias del concreto.

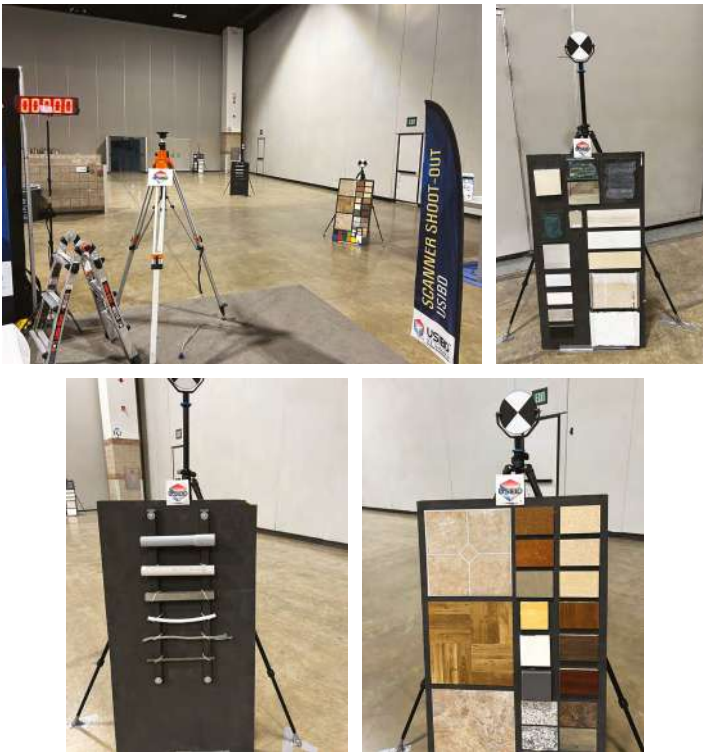
En febrero de 2023, el Comité de Escaneo Láser de USIBD organizó un encuentro de escáneres en vivo en la conferencia Geo Week 2023 en Denver, CO, EE.UU., para comparar unidades TLS de múltiples fabricantes y múltiples modelos. Aunque la USIBD ya había realizado anteriormente pruebas de escáneres, ésta era la primera vez que se realizaban en directo en un evento público. Este artículo presenta los resultados y recomendaciones de dicho evento.

## Encuentro de escáneres en la Geo Week 2023

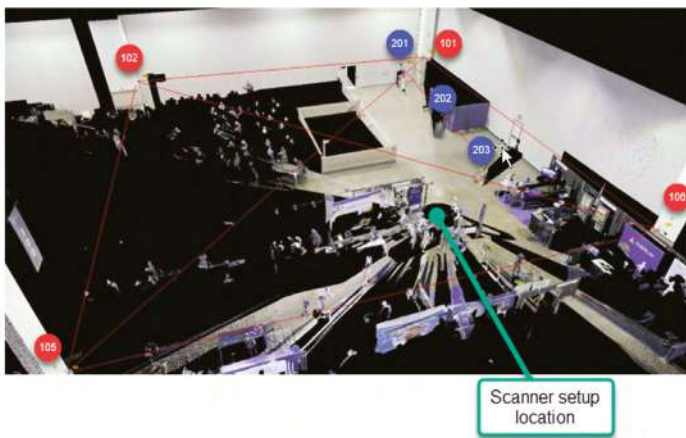
¿Qué es exactamente la competición de escáneres? Uno de los objetivos del Comité de Escaneado Láser de USIBD es normalizar la comparación de datos de varios escáneres láser. No es demasiado difícil obtener un conjunto de datos de un escáner láser; sin embargo, es mucho más difícil comparar datos de varios escáneres. A menudo, los conjuntos de datos obtenidos con distintos instrumentos no corresponden a la misma escena, por lo que puede resultar difícil realizar una comparación exhaustiva.

El concurso de escáneres de la USIBD pretendía superar este reto reuniendo a los fabricantes de TLS en un único evento en el que pudieran mostrar una variedad de sus instrumentos. Se invitó a los participantes a colocar sus escáneres en un trípode fijo para realizar una serie de escaneados según las especificaciones de la USIBD. A una distancia determinada del trípode se colocaron tableros de materiales que contenían elementos habituales en la documentación de edificios (Fig. 1). Se colocaron tres objetivos de placa en blanco y negro (B/N) de 152 mm (6 pulgadas) (203, 202 y 201) sobre trípodes a 5, 10 y 20 m (16, 33 y 66 pies) de la ubicación de instalación del escáner, respectivamente (Fig. 2). Además, se colocaron cuatro blancos de papel de 15 cm (101, 102, 105, y 106) se colocaron en la cara de los pilares a distancias de aproximadamente 19, 26, 20 y 11 m (62, 85, 66 y 36 pies) de la ubicación de instalación del escáner, respectivamente (Fig. 2).

El representante de cada fabricante ajustó los parámetros a la configuración requerida y realizó tres escaneados utilizando el instrumento de su compañía. Los datos de cada instrumento fueron recogidos, analizados por el USIBD y presentados en una comparación normalizada. Los resultados se publicaron en un informe exhaustivo y se pusieron a disposición del público junto con los conjuntos de datos recogidos<sup>7</sup>. La tabla 1 muestra el espaciado de puntos en cada objetivo de cada escáner y cada uno de los tres ajustes de resolución.



**Fig. 1:** Se colocaron a distancias fijas de un trípode, objetivos y tableros que contenían elementos habituales en la documentación de edificios. Los distintos sistemas TLS se probaron montándolos en el trípode y escaneando el espacio.



**Fig. 2:** Ubicación de los objetivos en relación con el escáner láser. Los blancos de las placas en blanco y negro (B/N) están marcados en azul y los blancos de papel están marcados en rojo.

Escáner láser	Resolución	Espacio entre puntos en objetivos de 6" B/N*					
		Objetivo a 5 m		Objetivo a 10 m		Objetivo a 20 m	
		in	mm	in	mm	in	mm
Leica RTC360	Alta	0.054	1.372	0.122	3.099	0.226	5.740
	Media	0.123	3.124	0.244	6.198	0.483	12.268
	Baja	0.224	5.690	0.486	12.344	1.003	25.476
Z+F Imager 5016	Alta*	0.061	1.549	0.123	3.124	0.235	5.969
	Media	0.117	2.972	0.272	6.909	0.469	11.913
	Baja	0.251	6.375	0.501	12.725	1.001	25.425
Faro Focus Premium	Alta	0.054	1.372	0.122	3.099	0.231	5.867
	Media	0.122	3.099	0.243	6.172	0.481	12.217
	Baja	0.250	6.350	0.454	11.532	0.980	24.892
Leica BLKG2	Alta	0.117	2.972	0.231	5.867	0.483	12.268
	Media	0.231	5.867	0.481	12.217	1.001	25.425
	Baja	0.945	24.003	1.868	47.447	NA	NA
Leica P50	Media'	0.119	3.023	0.251	6.375	0.500	12.700

**Tabla 1: Espaciado de puntos en los objetivos de los escáneres con tres ajustes de resolución.**

\*El escáner de alta resolución Z+F Imager 5016 sobre el objetivo a 5 m estaba parcialmente bloqueado por un objeto en movimiento en el momento de la exploración.

†El escáner Leica P50 sólo realizó el ajuste medio debido a la limitación de tiempo.

Nota: 1 pulg. = 25.4 mm; 1 m = 3.3 pies.

## Resolución de los objetivos de escaneo

El conjunto de datos que genera un escáner láser se denomina nube de puntos. Una nube de puntos es un conjunto discreto de puntos de datos en el espacio. Cada punto tiene sus propias coordenadas XYZ en el espacio que corresponden con la coordenada de configuración del instrumento. La densidad o resolución de la nube de puntos determina la cantidad de datos que el usuario puede extraer de los datos en bruto del escáner. Aunque la densidad o resolución de la nube de puntos puede aumentarse registrando múltiples escaneos con mayores solapamientos, y una regresión por mínimos cuadrados es capaz de analizar el "mejor ajuste" a partir de datos de escaneo en bruto con menor densidad o resolución, los autores compararon la resolución de los datos en bruto de un solo escaneo del evento de disparo del escáner USIBD para proporcionar a los usuarios la información básica para la evaluación.

La resolución de la nube de puntos en un objetivo a una distancia de 10 m (33 pies) por escaneo de ajuste medio fue de 6,198, 6,909, 6,172, 6,375 y 12,217 mm (0,244, 0,272, 0,243, 0,251 y 0,481 pulg.), para Leica RTC360, Z+F Imager 5016, FARO Focus Premium, Leica P50 y Leica BLK G2, respectivamente. Parecen coincidir con las hojas de especificaciones del fabricante. La resolución del ajuste medio del Leica BLK G2 parece ser el doble, pero su ajuste de alta resolución en el objetivo a 10 m fue de 5,867 mm (0,231 pulg.). Algunos programas de procesamiento de nubes de puntos requieren un cierto número de puntos en un blanco B/N para extraer el centro del blanco. La Tabla 2 muestra el número de puntos en cada objetivo de cada escáner y cada ajuste de resolución.

Escáner láser	Resolución	Espacio entre puntos en objetivos de 6" B/N*		
		Objetivo a 5 m	Objetivo a 10 m	Objetivo a 20 m
Leica RTC360	Alta	7415	1809	418
	Media	1788	434	89
	Baja	379	94	16
Z+F Imager 5016	Alta*	6203	1808	530
	Media	1749	472	137
	Baja	446	115	27
Faro Focus Premium	Alta	7132	1681	318
	Media	1560	308	6
	Baja	389	50	0
Leica BLKG2	Alta	2064	516	102
	Media	509	115	18
	Baja	17	6	0
Leica P50	Media'	1783	419	93

**Tabla 2: Recuento de puntos en los objetivos de los escáneres con tres ajustes de resolución.**

\*El escáner de alta resolución Z+F Imager 5016 sobre el objetivo a 5 m estaba parcialmente bloqueado por un objeto en movimiento en el momento de la exploración.

†El escáner Leica P50 sólo realizó el ajuste medio debido a la limitación de tiempo.

Nota: 1 pulg. = 25.4 mm; 1 m = 3.3 pies.

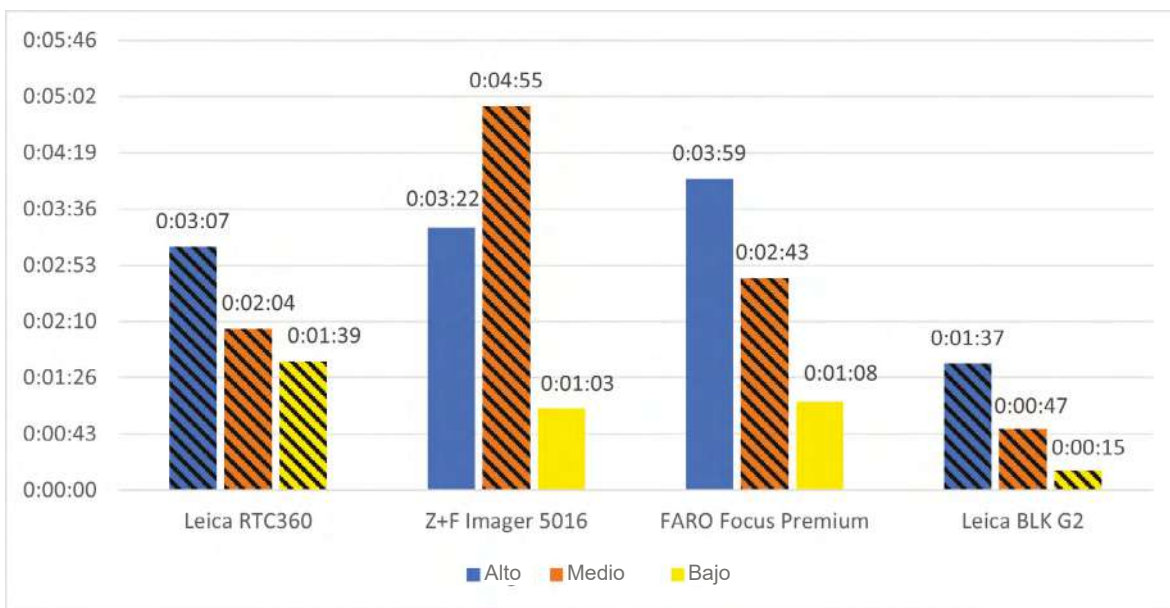
Recomendamos a los usuarios que tengan en cuenta el alcance y la resolución cuando utilicen el escaneo láser para verificar la tolerancia del concreto. Por ejemplo, ACI 117-10, Sección 4.2.1<sup>8</sup>, especifica una tolerancia de  $\pm 1/2$  pulg. (13 mm) en la ubicación del borde de todas las aberturas; por lo tanto, la precisión del escaneo no debe ser superior a un tercio de la tolerancia, es decir entre  $1/8$  y  $3/16$  pulg. (3 y 5 mm). Sin tener en cuenta el error de registro del escaneo, el usuario debe elegir un escáner láser adecuado con un ajuste de resolución adecuado para realizar la verificación, y no debe utilizar un escáner con una resolución media para escanear una abertura de la losa situada a 20 m (65 pies) de la ubicación de configuración, porque la mayoría de los fabricantes no consiguen una resolución inferior a  $3/16$  pulg. en esas condiciones. Sin embargo, se puede conseguir una resolución adecuada realizando múltiples escaneos con un mayor solapamiento. En ese caso, se necesitará una técnica de registro minuciosa y un procedimiento de control de calidad, que está fuera del alcance de este artículo.

## Velocidad de escaneo

El tiempo suele ser muy ajustado en una obra de construcción, especialmente cuando se realiza un escaneo láser para un avance de obra en un calendario acelerado. Algunos usuarios consideran que la velocidad y la movilidad de un escáner láser son factores críticos. La Figura 3 muestra la duración de los escaneos realizados por cada escáner en cada ajuste de resolución. Un solo escaneo puede durar desde menos de 20 segundos hasta minutos, según el ajuste y la unidad que se utilice. En la actualidad, cada vez son más los fabricantes de escáneres láser y proveedores de software que ofrecen procesamiento in situ y tienen como objetivo una rápida entrega; sin embargo, el procesamiento en oficina sigue siendo recomendable cuando se trata de la verificación de tolerancias en el concreto.

Además, a veces la captura de escaneos de campo puede ser inferior a 10 escaneos, pero en algunos casos, puede llevar hasta cientos o incluso miles, y el registro en oficina y el procesamiento de garantía de calidad/control de calidad (QA/QC) no pueden comenzar hasta que se hayan completado los escaneos de campo. Por lo tanto, la velocidad de un escáner es fundamental para algunos usuarios.

El siguiente ejemplo proporciona a los usuarios, especialmente a los contratistas de concreto, una mejor idea de los tiempos de operación en campo esperados. Supongamos que se debe realizar un estudio de control de calidad de una losa de concreto elevada típica de 1,672 m<sup>2</sup> (18,000 pies<sup>2</sup>), y que necesitará un escaneado cada 9 m (30 pies) entre los tramos de pilares simétricos. Esto significa que tendrá unos 20 escaneos. Tenga en cuenta los siguientes elementos: el operador debe moverse de una configuración a otra, evitando objetos, lidiando con una conexión inalámbrica, nombrando escaneos y tomando notas. Digamos que esos elementos añaden 3 minutos de tiempo extra por cada escaneo. Además, se podría esperar que la adquisición de los controles topográficos (suponiendo que los controles topográficos estén disponibles en la losa) lleve 30 minutos. Utilizando estas adiciones y los tiempos mostrados en la Fig. 3, es evidente que el tiempo total de captura de campo puede variar de 1.5 a 3 horas. Si el lugar tiene múltiples obstrucciones y las exploraciones incluyen fotos, el tiempo de captura sobre el terreno puede incluso llenar una jornada de 8 horas. Sin embargo, el tiempo necesario puede reducirse escaneando sin fotos en algunos casos.



**Fig. 3: Duración del escaneado (las barras sombreadas representan los escaneados con fotos) en minutos y segundos. El escáner Leica P50 con ajuste medio tardó aproximadamente 30 minutos debido a la adquisición del objetivo y la foto.**

## Medición punto a punto

Se extrajeron los centros de los objetivos (véase la Fig. 2) de cada exploración individual y se midieron las distancias punto a punto de centro a centro en los objetivos. Antes de la prueba, se realizó un estudio con una estación total externa y se establecieron las coordenadas locales relativas y la dirección norte. Cada objetivo se midió desde la estación total y las mediciones relativas de distancia punto a punto desde la estación total se establecieron como base para la comparación. La Tabla 3 muestra las distancias punto a punto de cada escáner en cada ajuste de resolución, y la Tabla 4 muestra las variaciones de medición de distancia entre los escáneres y la estación total. Algunos de los escáneres no pudieron extraer con precisión los centros de los objetivos debido a la falta de datos capturados en la superficie del objetivo, especialmente cuando los escáneres se ajustaron a configuraciones de baja resolución.

Los escáneres de alta y media resolución Leica RTC360, el escáner de alta resolución Z+F Imager 5016, el escáner de alta resolución FARO Focus Premium y el escáner de media resolución Leica P50 pudieron extraer los siete objetivos. El escáner de baja resolución Leica BLK G2 no pudo extraer ninguno de los siete objetivos. Las variaciones medias de medición entre cada escáner láser y la estación total fueron de 1/4 pulg. (los objetivos 202 y 203 se encontraban ambos a menos de 30 pies de la ubicación de instalación del escáner y pudieron ser extraídos por todos los escáneres excepto por el Leica BLKG2 de baja resolución). La media de variación de la medición de distancia del objetivo 202 a 203 fue de 1/8 pulg. en cada escaneo. Recomendamos extraer los datos a no más de 30 pies del escáner para lograr una precisión de 1/8 pulg. cuando se realiza un solo escaneo.

Además, el rodaje del escáner fue un evento de recopilación de datos en vivo en una sala de exposiciones de una conferencia muy concurrida, por lo que había muchos objetos en movimiento alrededor de la zona de pruebas, que era muy similar a un lugar de trabajo activo. Es difícil evitar que algunos datos críticos se bloqueen en estas condiciones, por lo que, en muchos casos del mundo real, los usuarios tendrían que realizar múltiples escaneos y registrar los escaneos mediante diferentes tipos de técnicas de registro. Sin embargo, estos pasos adicionales quedaron fuera del alcance de la prueba.

Instrumento	Resolución	Distancia punto a punto, ft							
		201 a 202	202 a 203	101 a 102	102 a 105	105 a 106	106 a 101	101 a 105	102 a 106
Estación Total	N/A	33.860	21.250	82.746	87.393	83.759	85.080	119.338	120.375
Leica RTC360	Alta	33.870	21.245	82.760	87.360	83.738	85.088	119.345	120.347
	Media	33.864	21.240	82.760	87.368	83.744	85.122	119.347	120.379
	Baja	—	21.234	—	—	83.742	85.092	119.334	—
Z+F Imager 5016	Alta	33.865	21.248	82.754	87.381	83.751	85.102	119.355	120.366
	Media	33.873	21.246	—	—	83.754	85.113	119.344	—
	Baja	—	21.245	—	—	—	—	—	—
Faro Focus Premium	Alta	33.877	21.248	82.741	87.361	83.745	85.105	119.329	120.367
	Media	33.874	21.243	—	—	83.745	85.103	119.320	—
	Baja	—	21.244	—	—	—	—	—	—
Leica BLKG2	Alta	33.886	21.230	—	—	—	—	119.344	—
	Media	—	21.235	—	—	—	—	119.309	—
	Baja	—	—	—	—	—	—	—	—
Leica P50	Media	33.871	21.237	82.731	87.368	83.738	85.086	119.326	120.350

**Tabla 3: Distancias punto a punto de los escáneres láser.**  
**Nota: 1 ft = 0.3 m**

Escáner Láser	Resolución	Variaciones de medición de distancia entre el escáner láser y la estación total, ft							
		201 a 202	202 a 203	101 a 102	102 a 105	105 a 106	106 a 101	101 a 105	102 a 106
Leica RTC360	Alta	0.01	0.005	0.014	0.033	0.021	0.008	0.007	0.028
	Media	0.004	0.01	0.014	0.025	0.015	0.042	0.009	0.004
	Baja	—	0.016	—	—	0.017	0.012	0.004	—
Z+F Imager 5016	Alta	0.005	0.002	0.008	0.012	0.008	0.022	0.017	0.009
	Media	0.013	0.004	—	—	0.005	0.033	0.006	—
	Baja	—	0.005	—	—	—	—	—	—
Faro Focus Premium	Alta	0.017	0.002	0.005	0.032	0.014	0.025	0.009	0.008
	Media	0.014	0.007	—	—	0.014	0.023	0.018	—
	Baja	—	0.006	—	—	—	—	—	—
Leica BLKG2	Alta	0.026	0.02	—	—	—	—	0.006	—
	Media	—	0.015	—	—	—	—	0.029	—
	Baja	—	—	—	—	—	—	—	—
Leica P50	Media	0.011	0.013	0.015	0.025	0.021	0.006	0.012	0.025
Media		0.013	0.009	0.011	0.025	0.014	0.021	0.012	0.015
Desviación Estándar		0.007	0.006	0.004	0.007	0.005	0.012	0.007	0.010
Máximo		0.026	0.020	0.015	0.033	0.021	0.042	0.029	0.028
Mínimo		0.004	0.002	0.005	0.012	0.005	0.006	0.004	0.004
Rango		0.022	0.018	0.010	0.021	0.016	0.036	0.025	0.024

**Tabla 4: Variación de la medida de distancia entre el escaner láser y la estación total, ft.**  
Nota: 1 ft = 0.3 m

## Resumen

En la actualidad, el escaneo láser está atrayendo cada vez más la atención de los usuarios, especialmente de los contratistas de concreto, debido a su capacidad para proporcionar una imagen más amplia del avance en una obra durante las distintas fases de un proyecto. La alta velocidad y precisión de LiDAR ofrece a los contratistas de concreto la oportunidad de realizar en tiempo QA/QC y estudios de finalización de las obras más completos. Sin embargo, el creciente número de fabricantes y modelos de escáneres sin hojas de especificaciones estandarizadas supone un reto para los usuarios que intentan seleccionar la herramienta más adecuada para el trabajo. Las hojas de especificaciones de los escáneres USIBD se introdujeron para ayudar en esta tarea. Para lograr la precisión en la verificación de la tolerancia del concreto, recomendamos que se empiece por definir su intención. El Subcomité 117-L, dentro del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, está trabajando en un documento para proporcionar a los usuarios de escáneres la información necesaria para comprender el uso del escaneo láser y su resultado en términos de verificación de la tolerancia del concreto.

El USIBD está planeando un futuro evento sobre escáneres SLAM para ofrecer a los usuarios una comparación en profundidad de la tecnología de escaneo láser móvil, que está experimentando un rápido crecimiento. Además, el USIBD y el Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST) están estudiando una colaboración para seguir desarrollando las hojas de especificaciones de los escáneres del USIBD.

Grupo de Objetivos	Escáner Láser												
	Leica RTC360, ft			Z+F Imager 5016, ft			Faro Focus Premium, ft			Leica BLKG2, ft			Leica P50, ft
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja	Media
201 a 202	0.010	0.004	—	0.005	0.013	—	0.017	0.014	—	0.026	0.014	—	0.011
202 a 203	0.005	0.010	0.016	0.002	0.004	0.005	0.002	0.007	0.006	0.020	0.007	0.006	0.013
101 a 102	0.014	0.014	—	0.008	—	—	0.005	—	—	—	—	—	0.015
102 a 105	0.033	0.025	—	0.012	—	—	0.032	—	—	—	—	—	0.025
105 a 106	0.021	0.015	0.017	0.008	0.005	—	0.014	0.014	—	—	—	—	0.021
106 a 102	0.008	0.042	0.012	0.022	0.033	—	0.025	0.023	—	—	—	—	0.006
101 a 105	0.007	0.009	0.004	0.017	0.006	—	0.009	0.018	—	0.006	0.029	—	0.012
102 a 106	0.028	0.004	—	0.009	—	—	0.008	—	—	—	—	—	0.025
Media	0.016	0.015	—	0.010	0.012	—	0.014	0.015	—	0.017	0.022	—	0.016
Desv. Est.	0.010	0.012	—	0.006	0.011	—	0.010	0.005	—	0.008	0.007	—	0.007
Máximo	0.033	0.042	—	0.022	0.033	—	0.032	0.023	—	0.026	0.029	—	0.025
Mínimo	0.005	0.004	—	0.002	0.004	—	0.002	0.007	—	0.006	0.015	—	0.006
Rango	0.028	0.038	—	0.020	0.029	—	0.030	0.016	—	0.020	0.014	—	0.019

**Tabla 5: Variación de la medición de distancia entre el escáner láser y la estación total por fabricante**  
 Nota: 1 ft = 0.3 m

Abogamos por una investigación adicional sobre el uso de escáneres láser en la industria del concreto. Este trabajo mejorará la comprensión por parte de los usuarios de la información fundamental sobre el escaneo láser, incluidos los aspectos de hardware y software, y fomentará una aplicación más coherente de esta herramienta.

## Créditos del Proyecto

U.S. Institute of Building Documentation (USIBD); Christopher Kercheval, TopKerv Consulting; Andrew Seward, PrecisionPoint, Inc.; Dustin Manning, Luxpoint; Ken VanBree, e-Builds; Josh DeStefano, DPR Construction; y Cole Pooler, Architectural Resource Consultants.



## Referencias

1. ASTM E3125-17, "Standard Test Method for Evaluating the Point-to-Point Distance Measurement Performance of Spherical Coordinate 3D Imaging Systems in the Medium Range," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, 38 pp.
2. Comité 117 del ACI, "Guía para la compatibilidad de tolerancias en la construcción de concreto (ACI 117.1R-14)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2014, 47 pp.
3. Paul, W.; Klinger, J.; y Suprenant, B.A., "ASCC 3-D Laser Scanning Study," Concrete International, V. 41, No. 1, Jan. 2019, pp. 22-29.
4. Paul, W.; Klinger, J., y Suprenant, B.A., "ASCC 3-D Laser Scanning Study," Concrete International, V. 42, No. 2, Feb. 2020, pp. 30-36.
5. Zhang, L.; Klinger, J.; y Suprenant, B.A., "F-numbers and Textured Concrete Surface Finishes," Concrete International, V. 44, No. 5, May 2022, pp. 33-41.
6. Zhang, L.; Klinger, J.; y Suprenant, B.A., "Presenting Laser Scan Results for Slabs-on-Ground," Concrete International, V. 44, No. 9, Sept. 2022, pp. 43-51.
7. "Scanner Shootout Report," U.S. Institute of Building Documentation, Tustin, CA, 2023.
8. ACI Committee 117, "Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials (ACI 117-10) and Commentary (Reapproved 2015)," American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2010, 76 pp.

Seleccionado para el interés del lector por los editores.



**Lingfeng (Leo) Zhang**, miembro de ACI, es director de Construcción Virtual en The Conco Companies, San Francisco, CA, EE.UU. Es presidente del Subcomité 117-L de ACI, Escaneado Láser. Zhang también es miembro del Comité 131 del ACI, Building Information Modeling of Concrete Structures, y del Comité Conjunto ACI-ASCC 117, Tolerancias. Zhang es licenciado en Física de Materiales por la Universidad Tecnológica de Dalian (China) y en Gestión de la Construcción por la Universidad de Florida (Gainesville, EE.UU.).



**M. Russo** es arquitecto y fundador de Architectural Resource Consultants (ARC), una empresa especializada en servicios profesionales de documentación de edificios para las comunidades de arquitectos, ingenieros, constructores y propietarios/operadores. En 2011, fundó el Instituto Estadounidense de Documentación de Edificios (USIBD), una organización sin ánimo de lucro dedicada a promover la excelencia en la documentación de edificios, donde actualmente es presidente y miembro del Consejo de Administración. En 2012, recibió el premio "SPAR Star Award 2012". Además, Russo pronuncia discursos de apertura y actúa como ponente destacado en ferias y conferencias del sector y colabora como autor para LiDAR News y GeoDataPoint. Se licenció en Administración de Empresas por la Universidad Estatal de California, Fullerton, CA, EE.UU., y obtuvo el título de arquitecto por el Orange Coast College, Costa Mesa, CA. Es arquitecto colegiado en California.

**La traducción de este artículo correspondió al Capítulo Argentina**

*Título: Conceptos básicos del escaneado láser para la verificación de tolerancias en el concreto*



**Traductor:**  
*Guido Ebbro Conti*



**Revisión Técnica:**  
*Ing. Juan Ignacio Belleri*