

Estudio comparativo entre las tecnologías de escaneo laser terrestre.

Romero Guerrero Jorge Adan¹, Cuellar Vázquez José Luis.²

¹Centro de Tecnología Avanzada, Ciateq, Sede Cd. Sahagún, Hidalgo.

²Centro de Tecnología Avanzada, Ciateq, Sede Querétaro.

adan.romero@ciateq.mx

RESUMEN.

En este artículo se presenta los resultados obtenidos sobre la comparación entre la tecnología de tiempo de vuelo y cambio de fase del escaneo láser terrestre. Presentando el error de las mediciones obtenidas de la nube de puntos a diferentes distancias con la finalidad de conocer la precisión de cada tipo de tecnología, así mismo se exponen las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías con la finalidad de determinar en qué casos se recomienda usar cada una de ellas.

ABSTRACT.

In this article the results of the comparison between the flight time technology and shift phase of the terrestrial laser scanning occurs. Presenting the error of the measurements obtained from the point cloud at different distances in order to meet the precision of each type of technology, to show the advantages and disadvantages of each, to determine when you should use each one.

Palabras Claves: Escaneo Láser, Nube de puntos, Precisión.

1 INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, existe un sistema para obtener información tridimensional de objetos físicos llamado escáner láser terrestre, la principal compañía encargada de producir escáneres láser terrestre es la compañía *Leica Geosystems*. En general dichos sistemas capturan puntos en el espacio tridimensional que pueden ser usados para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales útiles en una gran variedad de aplicaciones tales como: reconstrucción de accidentes, túneles, minas, escenas de crimen; e inspección de daños materiales, ingeniería inversa, protección de patrimonios culturales, aplicaciones industriales, entre otras [1, 2]. Cada compañía ofrece las especificaciones relacionadas con la funcionalidad y limitaciones de su instrumento de acuerdo a experimentos hechos por ellos mismos sin especificar las condiciones bajo las cuales dichos experimentos fueron realizados, siendo esto una limitación para los usuarios [3].

Uno de los problemas que se presenta en este tipo de sistemas es: cómo garantizar la precisión de las mediciones arrojadas por dichos instrumentos. Es bien sabido que en instrumentos de medición es fundamental conocer el error en las mediciones, así como la tolerancia y la precisión [4].

En el caso del escáner láser, la precisión depende mucho de las variables del entorno tales como temperatura, velocidad del viento, la superficie del objeto, reflectividad del objeto, ángulo del objeto e intensidad del láser. Una superficie ideal para la medición con este tipo de instrumentos es aquella que es opaca, debido a que absorbe el haz de luz o dicho en otras palabras existe un mínimo de difracción. Los problemas que se presentan con frecuencia es con superficies muy oscuras, brillantes o superficies de fácil penetrado [5].

Existen estudios sobre el error de medición del escáner láser según los tipos de superficies y el ángulo del objeto escaneado [5]. Además, existe un estudio sobre error que se genera al unificar las nubes de puntos [6]. Sin embargo, no existe en la literatura un estudio comparativo entre las tecnologías de tiempo de vuelo y cambio de fase, donde se considere la medida del error y su relación que existe con la calidad de escaneado y la distancia del objeto, es aquí donde el presente artículo da una contribución original.

La organización del artículo es la siguiente: la Sección 2 presenta los fundamentos sobre el funcionamiento de ambas tecnologías, mientras que la Sección 3 se da el procedimiento bajo las cuales se realizaron los experimentos. Finalmente, las conclusiones sobre el trabajo se describen en la Sección 4.

2 FUNDAMENTOS SOBRE LOS SISTEMAS DE ESCANEEO LÁSER

Los sistemas de escaneo láser que se emplean en este artículo funcionan con movimientos oscilantes, además, cuentan con un sistema espejos para desviar el haz del láser desde el instrumento en ángulos variables. La coordenadas cartesianas en el espacio tridimensional están definidas por los ángulos de ubicación de los espejos al momento de ser emitido el haz del láser, dichos ángulos se muestran en la Figura 1, como se puede observar, una vez asignado un eje de referencia inercial fijo en el equipo con origen, O, dentro de la cabeza del escáner; los ángulos resultantes son los grados de libertad del sistema y representan la ubicación del punto de interés, P.

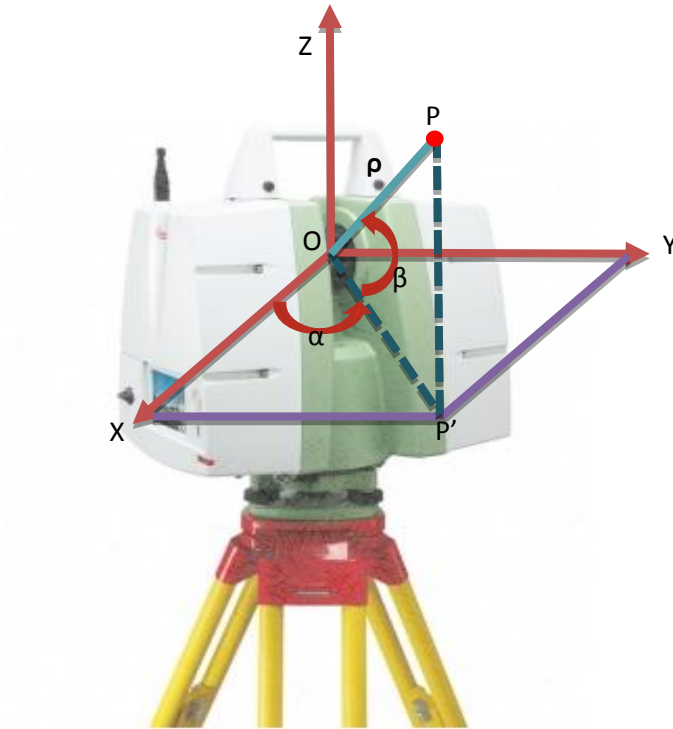


Figura 1. Asignación de un eje de referencia inercial fijo. Donde: α representa el ángulo radial y β el ángulo axial del punto de interés, P y ρ es la distancia que existe entre el origen, O y el punto P.

Las coordenadas cartesianas (X, Y, Z) están dadas por:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \rho * \cos\alpha * \cos\beta \\ \rho * \operatorname{sen}\alpha * \cos\beta \\ \rho * \operatorname{sen}\beta \end{bmatrix} \quad (1)$$

En este artículo solo se emplean dos tipos diferentes de escáneres que básicamente se diferencian por el tipo de método empleado para la obtención de la distancia. A continuación se describen el funcionamiento de cada uno de ellos.

2.1 Escáneres basados en tiempo de vuelo.

El funcionamiento del escáner de medición basado en tiempo de vuelo emplea como principio la velocidad de la luz a potencia constante. Es decir, se emite un pulso de luz láser desde el instrumento y se mide el tiempo que tarda en regresar, el equipo está dotado de un detector de luz que registra el impulso de retorno, como se muestra en la Figura 2. La distancia, ρ se calcula utilizando la velocidad de la luz, c y el tiempo de viaje, t como:

$$\rho = \frac{1}{2} c * t \quad (2)$$

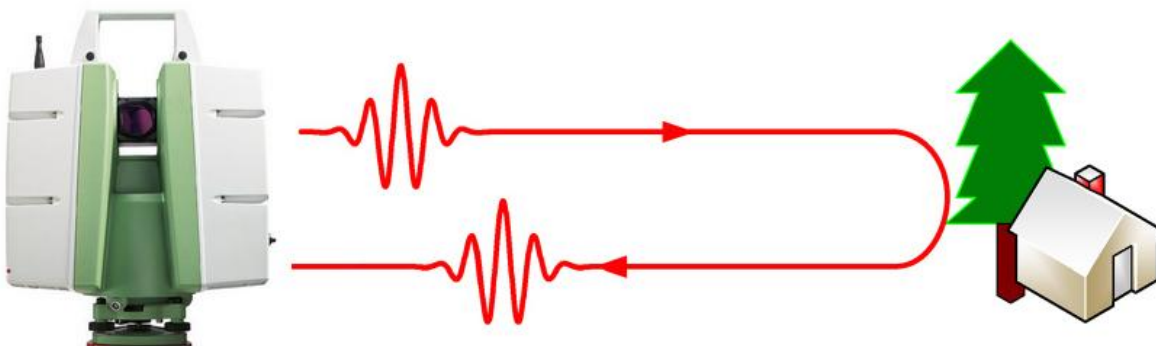


Figura 2.-Principio de un escáner láser basado en el tiempo de vuelo.

La velocidad de la luz en el vacío es 299,792,458Km/s. Si la luz viaja por el aire, se debe aplicar un factor de corrección igual al índice de refracción (en función de la densidad del aire). La velocidad de la luz en el aire tiene un retraso de 3,108 km/s aproximadamente, por lo que tarda 3.33 nanosegundos en recorrer un metro. Por tanto, para alcanzar una precisión de 1mm, se necesita medir intervalos de tiempo de alrededor de 3.33 picosegundos. Los escáneres por tiempo de vuelo no suelen usar un haz continuo en el tiempo, sino pulsos de láser. Un láser escáner típico basado en el tiempo de vuelo puede capturar de 2,000 a 50,000 puntos por segundo.

El escáner láser basado en el tiempo de vuelo que se emplea para la parte experimental es el modelo C10 de *Leica Geosystems*.

2.2 Escáneres basados en cambio de fase

Los escáneres basados en cambio de fase típicos emplean un modulador, cuya señal moduladora es básicamente una señal periódica, esto permite que el equipo cuente con un espectro amplio en la potencia del láser lo cual lo hace diferente al método de tiempo de vuelo. En el caso de una señal sinusoidal como moduladora, ésta es reflejada al chocar con el objeto físico, lo cual permite encontrar el ángulo de desfaseamiento, φ como se muestra en la Figura 3.

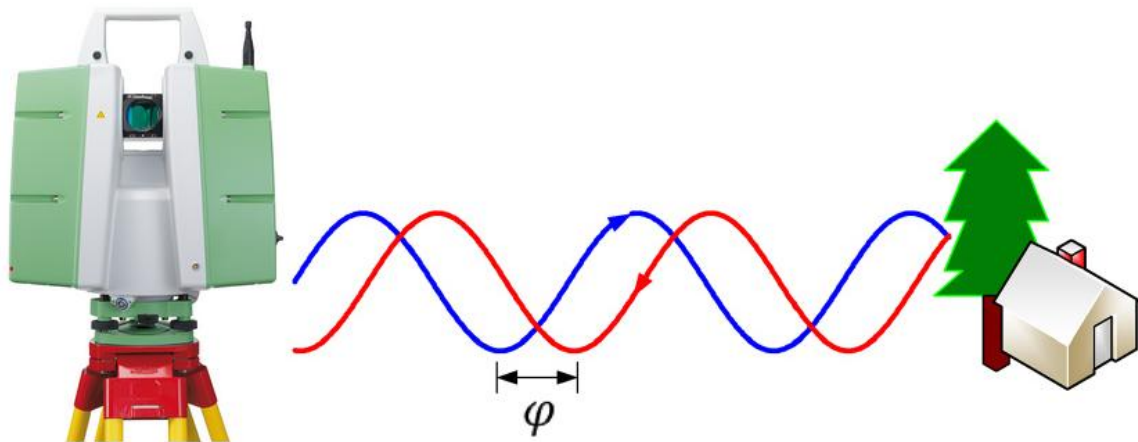


Figura 3.-Principio de un escáner láser basado en cambio de fase.

La relación entre el desfaseamiento, φ la frecuencia modulada, f_m y el tiempo de regreso, t está dada por:

$$t = \frac{\varphi}{2\pi * f_m} \quad (3)$$

Dado que el escáner láser emplea un haz de luz, es posible calcular la distancia empleando (2) y (3), la distancia al objeto se calcula por:

$$\rho = \frac{1}{2} c * t = \frac{c}{4\pi} * \frac{\varphi}{f_m} \quad (4)$$

Un láser escáner típico basado en cambio de fase puede capturar de 50,000 a 1,000,000 puntos por segundo.

El escáner láser basado en cambio de fase que se emplea para la parte experimental es el modelo P20 de *Leica Geosystems*.

3 PROCEDIMIENTO

En CIATEQ se cuenta con dos escáneres laser Leica, el P20 que utiliza el método cambio de fase y el C10 que emplea el método tiempo de vuelo, para el cálculo de la distancia. El procedimiento empleado para la calibración los instrumentos se usa normalmente un bloque patrón ,con la finalidad de comparar la medida a ser efectuada con dicho bloque patrón. El objetivo es realizar diferentes mediciones al bloque patrón con los dos escáner, en este caso el bloque patrón mide 36 pulgadas (914.4 mm), como se muestra en la Figura 4.



Figura 4.- Bloque patrón y target con el que se realizaron las mediciones.

Para el procedimiento de la calibración del escáner láser se coloca el bloque patrón en 5 distancias diferentes: 7.5 m, 25 m, 50 m, 75 m y 100 m, como se muestra en la Figura 5, para esto se hace una serie de combinaciones con diferentes calidades de escaneo que nos ofrece el fabricante del equipo, con la finalidad de obtener las precisiones de las medidas. En la Figura 6 se muestran las nubes de puntos donde inciden el láser sobre el objeto, donde cada punto tiene una coordenada en el espacio tridimensional.

En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos para los dos tipos de escáneres.

Tabla 1. Resultados de las mediciones a diferentes distancias

Escáner P20						Escáner C10					
Distancia ρ (m)	Error E (mm)	Calidad de escaneo	Distancia ρ (m)	Error E(mm)	Calidad de escaneo	Distancia ρ (m)	Error E(mm)	Calidad de escaneo	Distancia ρ (m)	Error E(mm)	Calidad de escaneo
7.5	0.6	.08mm/10 m	50	17.4	.08mm/10m	7.5	1.0	Media	25	0.1	Media
7.5	1.4	6.3 mm/10m	50	2.6	6.3 mm/10m	7.5	0.6	Alta	50	0.0	Alta
7.5	1.4	50 mm/10m	50	28.4	50 mm/10m	7.5	0.0	Súper Alta	50	1.1	Súper Alta
7.5	5.4	.08mm/10 m	75	1.4	.08mm/10m	7.5	3.7	Media	50	0.4	Media
7.5	1.4	6.3 mm/10m	75	7.4	6.3 mm/10m	7.5	0.1	Alta	50	0.4	Alta
7.5	4.44	50 mm/10m	75	4.4	50 mm/10m	7.5	0.3	Súper Alta	50	1.1	Súper Alta
25	5.4	.08mm/10 m	75	15.4	.08mm/10m	7.5	3.7	Media	50	0.4	Media
25	1.4	6.3 mm/10m	75	51.4	6.3 mm/10m	7.5	0.1	Alta	50	0.4	Alta
25	6.4	50 mm/10m	75	27.4	50 mm/10m	7.5	0.0	Súper Alta	75	0.3	Súper Alta
25	20.4	.08mm/10 m	100	2.4	.08mm/10m	25	4.8	Media	75	9.4	Media

25	21.4	6.3 mm/10m	100	6.4	6.3 mm/10m	25	1.2	Alta	75	1.0	Alta
25	7.4	50 mm/10m	100	12.4	50 mm/10m	25	0.0	Súper Alta	75	9.4	Súper Alta
50	0.6	.08mm/10 m	100	52.4	50 mm/10m	25	0.1	Media	75	1.0	Alta
50	0.6	6.3 mm/10m	100	113.4	50 mm/10m	25	1.0	Alta	100	1.3	Súper Alta
50	1.4	50 mm/10m				25	1.0	Súper Alta			

El error de medición, E se calcula como la diferencia entre la medición obtenida por el escáner y la medida de longitud del bloque patrón. Es importante mencionar que el cálculo del error está en función de la calidad del escaneado que el fabricante del equipo proporciona. Para el caso del P20 se proporciona un dato numérico mientras que para el C10 da un valor lingüístico.



Figura 5.- Escaneando el bloque patrón a una distancia de 50 metros.

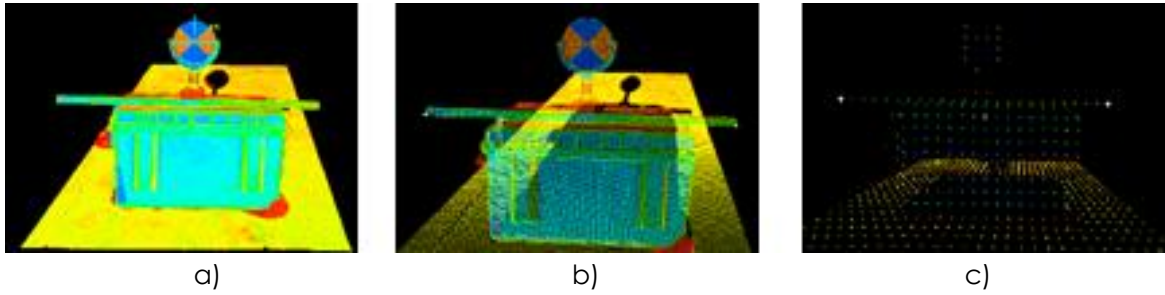


Figura 6.- Nube de puntos del bloque patrón a diferentes calidad de escaneado y diferentes distancias (a) 7.5m, (b) 50m y (c) 100m.

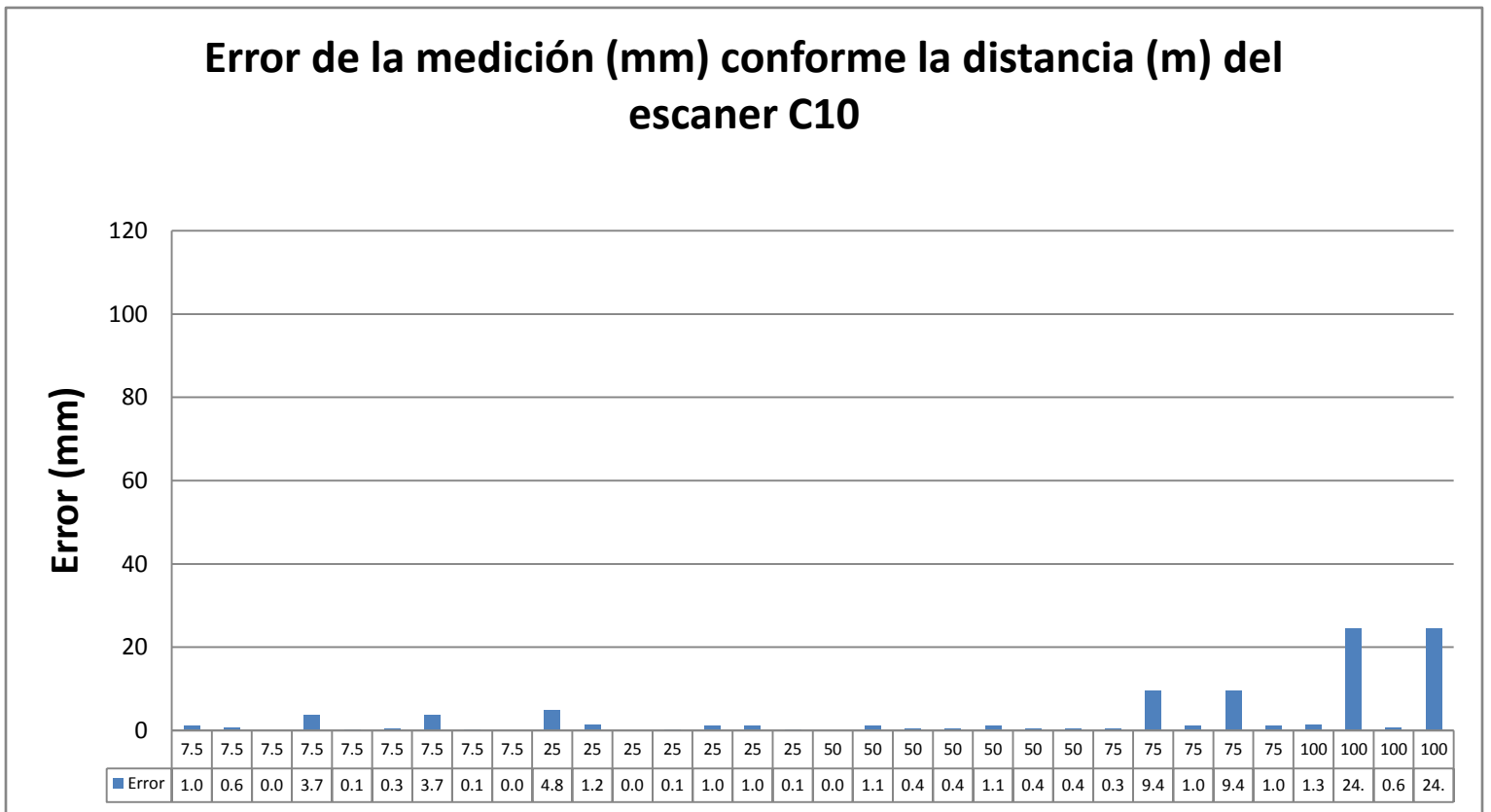


Figura 7.- Comparación Distancia (m) y error (mm) con el escáner C10.

Podemos observar en las gráficas en distancias cortas la precisión de ambas tecnologías es similar, sin embargo en la tecnología de cambio de fase (P20) el error de las mediciones es proporcional a la distancia con la que se realizan las

tomas, su principal ventaja es la rapidez de las tomas y el total de información que captura, que es de 1 millón de puntos por segundo.

En la tecnología de tiempo de vuelo (C10) el error conforme la distancia se mantiene uniforme, siendo más confiable este equipo en distancias largas pero su desventaja es la cantidad de puntos que obtiene que es de 50.000 por segundo y el tiempo en su toma.

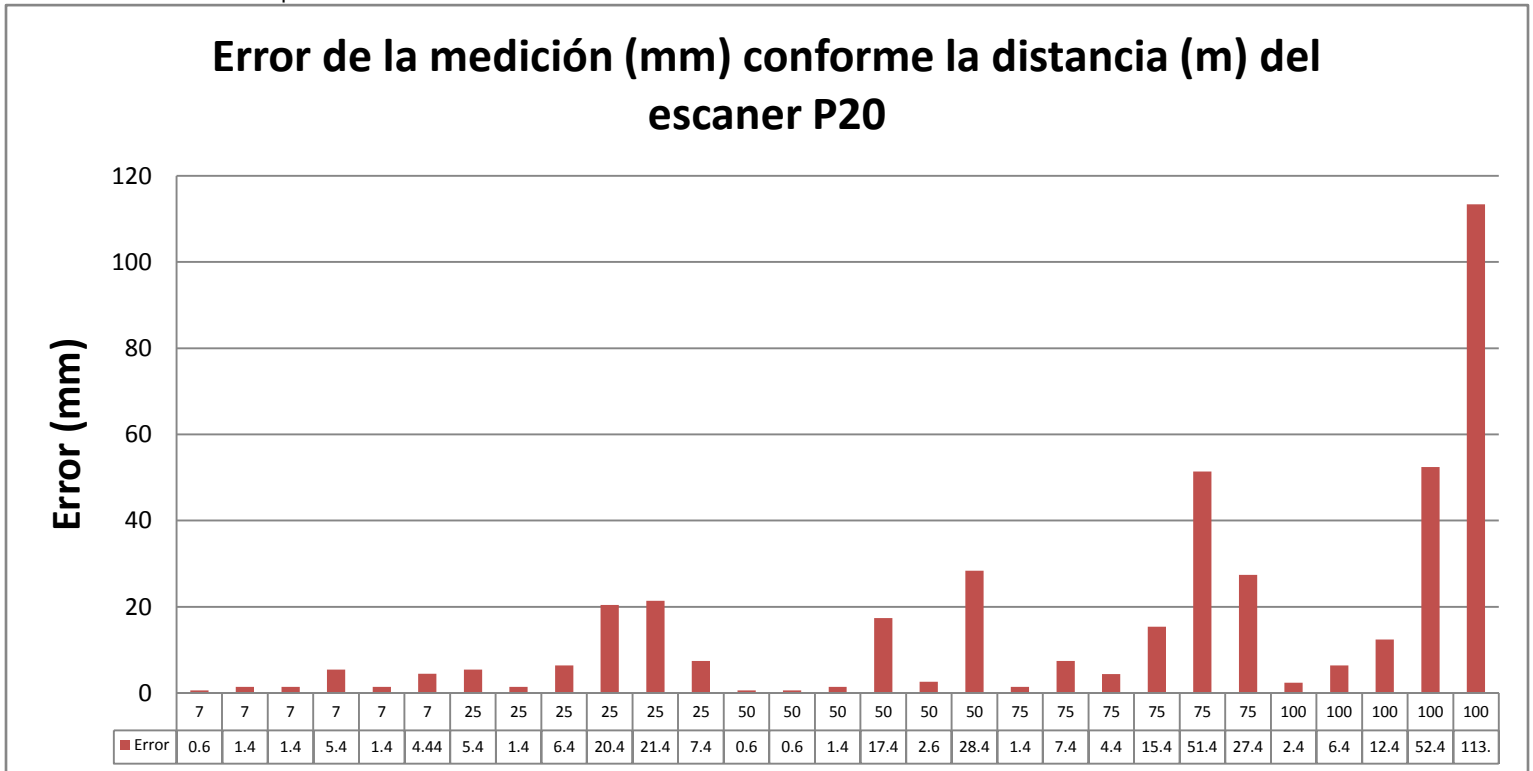


Figura 8.- Comparación Distancia (m) y error (mm) con el escáner P20.

4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Los experimentos y resultados presentados en las dos gráficas representan un esfuerzo exitoso para entender mejor los instrumentos de escaneo láser. Los resultados de estas pruebas se utilizan para comparar las dos tecnologías de escaneo: tiempo de vuelo y cambio de fase.

Por lo que podemos concluir que para instalaciones donde se tengan que realizar muchas tomas a distancias cortas el escáner con tecnología de cambio de fase es la ideal y cuando se tenga que realizar escaneos largos en instalaciones abiertas la mejor opción es la tecnología de tiempo de vuelo.

Como trabajo futuro se tiene planeado realizar un modelo digital tridimensional inteligente basado en la norma NRF-107-PEMEX-2013.

REFERENCIAS

[1] BJORN VAN GENECHTEN. Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre. [En línea].Universidad de Ciencias Aplicadas St. Lieven (Bélgica). [Ref. de 15 de febrero de 2015]. Disponible en Web:jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf>

[2] El Láser-Escáner 3D aplicado al patrimonio arquitectónico de Priego de Córdoba: la Torre del Homenaje. Universidad de Córdoba. ANTIQVITAS – 2012 nº24 (pp. 277-302) ISSN: 1139-6609

[3]SEAN PLENNER. "Development And Application Of A SimpleTerrestrial Laser Scanner". Director: Professor William E. Eichinger . Universidad de Iowa. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Junio 2014.

[4] HERNANDEZ-VALLE,R. Clough Andrew, Mohd H. Rosli, And Dutton Ben. "Scanning laser techniques for characterisation ofdifferent surface breaking defect geometries". 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April, Durban, South Africa

[5] ROMSEK Brian TERRESTRIAL "Laser Scanning: Comparison Of Time-Of-Flight And Phase Based Measuring Systems" Director: James S. Bethel, Universidad Purdue, Departamento de Ingeniería, 6 Septiembre 1991

[6] PEJIC Marko "A simplified procedure of metrological testing of the terrestrial laserscanners" Director: BrankoMilovanovic, Universidad de Belgrade Serbia Facultad de Ingeniería Julio 2014