

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO  
ANÁLOGAS Y DIGITALES**

Luis Sebastian Romero Corredor



Arquitectura, Facultad de Arquitectura

Universidad la gran Colombia

Bogotá D.C.

2022

**Evaluación técnica y económica de métodos de levantamiento arquitectónico análogos y digitales**

**Luis Sebastián Romero Corredor**

**Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Arquitecto**

**Docente: Yuber Alberto Nope Bernal**



**UNIVERSIDAD**  
**La Gran Colombia**

Vigilada MINEDUCACIÓN

**Arquitectura, Facultad de Arquitectura**

**Universidad la gran Colombia**

**Bogotá D.C.**

**2022**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>12</b>
<b>PLANTEAMIENTO PROBLEMA Y OPORTUNIDAD.....</b>	<b>14</b>
PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	15
<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>16</b>
<b>HIPÓTESIS DESCRIPTIVA .....</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
OBJETIVO GENERAL .....	18
OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<i>Objetivo 1 .....</i>	<i>18</i>
<i>Objetivo 2.....</i>	<i>18</i>
<i>Objetivo 3.....</i>	<i>18</i>
<i>Objetivo 4.....</i>	<i>18</i>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>19</b>
<b>ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>19</b>
DIRECTRICES DEL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO .....	19
DOCUMENTACIÓN PARA UN LEVAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....	21
SISTEMAS DE DOCUMENTACIÓN PLANIMÉTRICA .....	22
TOMA DE MEDIDAS PARA UN LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....	25
TRES DIMENSIONES DEL LEVANTAMIENTO .....	25
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>

PERCEPCIÓN DEL ESPACIO .....	26
ARQUITECTURA Y SU PROPORCIÓN .....	27
CONOCIMIENTO ESPACIAL Y SU DESARROLLO .....	28
PERSPECTIVA LINEAL .....	29
<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>30</b>
RAZONES TRIGONOMÉTRICAS .....	30
TRILATERACIÓN.....	31
ESCANEEO LASER .....	34
PRECISIÓN.....	38
EXACTITUD.....	39
TOLERANCIA.....	40
RENDIMIENTO .....	41
<b>MARCO HISTÓRICO .....</b>	<b>43</b>
MÉTODOS DE REPRESENTACIÓN.....	43
<i>Mano alzada</i> .....	43
<i>Digital</i> .....	45
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>46</b>
ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN .....	46
TIPO DE ESTUDIO.....	46
METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	46
<b>CAPÍTULO II CARACTERIZACIÓN MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTONICO .....</b>	<b>47</b>
MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO .....	47

RANGOS DE ALCANCE Y RENDIMIENTO SEGÚN CARACTERIZACIÓN DE CADA MÉTODO .....	49
COSTO ALQUILER MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO .....	52
<b>CAPITULO III EVALUACIÓN SEGÚN CASO DE ESTUDIO REPRESENTATIVO.....</b>	<b>53</b>
MUSEO DE LA INDEPENDENCIA - CASA DEL FLORERO .....	53
TOMA DE MEDIDAS DE UN MISMO ESPACIO.....	55
TOMA DE MEDIDAS EN MILÍMETROS SEGÚN MÉTODOS.....	55
FICHA REPRESENTATIVA DE TOMA ESPECIFICA .....	58
<b>CAPITULO IV COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO.....</b>	<b>61</b>
DIFERENCIA NUMÉRICA EN MILÍMETROS ENTRE MÉTODOS .....	61
EFFECTIVIDAD PARA CAPTURA DE DATOS .....	62
<b>CAPÍTULO V DESARROLLO SE HERRAMIENTA PARA IDENTIFICACIÓN DE MÉTODO PARA LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO. ....</b>	<b>65</b>
NIVEL DE DETALLE LEVANTAMIENTO ENTREGABLES .....	66
COMPARATIVA DE ENTREGA DE DETALLES SEGÚN MÉTODO DE LEVANTAMIENTO .....	66
MATRICES PARA IDENTIFICACIÓN DE TIPO DE LEVANTAMIENTO.....	68
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
IDENTIFICACIÓN DE TIPO DE LEVANTAMIENTO.....	72
FICHA FINAL IDENTIFICACIÓN LEVANTAMIENTOS .....	77
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>LISTA DE REFERENCIAS .....</b>	<b>79</b>

# EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQ.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> Herramientas para levantamiento arquitectónico. ....	21
<b>Figura 2</b> Sistemas de documentación planimétrica. ....	22
<b>Figura 3</b> Metodología de triangulación para determinar distancia específica .....	23
<b>Figura 4</b> Proceso trigonométrico hallar seno,.....	23
<b>Figura 5</b> Exactitud y precisión .....	24
<b>Figura 6</b> Proceso tomade medidas de espacio (ALMAGRO, 2004) .....	25
<b>Figura 7</b> Bocetos de pintores edad renacimiento.....	26
<b>Figura 8</b> Santa maría novella Florencia imagen <a href="http://ww1.arteydibujo.com/">http://ww1.arteydibujo.com/</a> .....	28
<b>Figura 9</b> Posición relativa de objetos según la perspectiva .....	29
<b>Figura 10</b> Formación de triángulos rectángulos a partir de datos suministrados. Imagen elaboración propia.....	30
<b>Figura 11</b> Triangulo rectángulo. Imagen elaboración propia.....	31
<b>Figura 12</b> Configuración de polígonos .....	32
<b>Figura 13</b> Trilateración aplicada al proyecto.....	33
<b>Figura 14</b> Escáner laser Faro Focus, Imagen tomada de Faro andina.....	35
<b>Figura 15</b> Partes del equipo FARO FOCUS .....	36
<b>Figura 16</b> Proceso escaneo Faro Focus .....	37
<b>Figura 17</b> Concepto de exactitud.....	38
<b>Figura 18</b> Concepto de exactitud.....	39
<b>Figura 19</b> Tolerancia.....	40
<b>Figura 20</b> Rendimiento.....	41
<b>Figura 21</b> Michael Graves, San Pietro in Montorio. Roma. 1961. Pen and ink on paper. ....	43
<b>Figura 22</b> Louis Kahn. La Acrópolis desde el Olympieion. Atenas. 1951.....	44

<b>Figura 23</b> Modelado de estructuras metálicas a partir de nube de puntos .....	45
<b>Figura 24</b> Toma de datos de tipos de levantamiento arquitectónico.....	48
<b>Figura 25</b> Rango o alcance según caso hipotético, elaboración propia.....	49
<b>Figura 26</b> Error de rango según caso hipotético, elaboración propia .....	49
<b>Figura 27</b> Tiempo de medición según caso hipotético, elaboración propia.....	50
<b>Figura 28</b> Transcripción de información según caso hipotético, elaboración propia.....	51
<b>Figura 29</b> Transcripción de información según caso hipotético, elaboración propia.....	51
<b>Figura 30</b> Porcentaje de costo alquiler día métodos de levantamiento arquitectónico. ....	52
<b>Figura 31</b> Proceso de tomada de medidas, caso de estudio. ....	53
<b>Figura 32</b> Museo de la independencia casa del florero, planta arquitectónica elaboración propia .....	54
<b>Figura 33</b> Toma de medida con método laser. ....	58
<b>Figura 34</b> .....	59
<b>Figura 35</b> Toma de medida con método tradicional.....	60
<b>Figura 36</b> Diferencia numérica en milímetros .....	61
<b>Figura 37</b> Porcentaje efectividad en precisión según caso de estudio, elaboración propia. ....	63
<b>Figura 38</b> Porcentaje efectividad en precisión método tradicional según caso de estudio, elaboración propia.....	63
<b>Figura 39</b> Porcentaje efectividad en precisión método Dispositivos móviles según caso de estudio, elaboración propia.....	64
<b>Figura 40</b> Porcentaje efectividad en precisión método Escáner laser LIDAR según caso de estudio, elaboración propia.....	64
<b>Figura 41</b> Alzado costado sur hacia calle 11 .....	65
<b>Figura 42</b> Paso 1 Consulta y adjunto de datos.....	72
<b>Figura 43</b> Base de datos, Nivel de detalle.....	73

**Figura 44** Resultados y recomendación método levantamiento Arq. .... 73

**Figura 45** Métodos para levantamiento Arq..... 74

**Figura 46** Tiempos de escaneo..... 74

**Figura 47** Costo por horas métodos..... 75

**Figura 48** Características globales de métodos ..... 76

**Figura 49** Plantilla consulta para levantamientos..... 76

**Figura 50** *Ficha final identificación levantamientos Arq.*..... 77

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1</b> Métodos de levantamiento arquitectónico, tradicional, dispositivos móvil y escáner laser LIDAR .....	47
<b>Tabla 2</b> Costo alquiler día de métodos de levantamiento arquitectónico. ....	52
<b>Tabla 3</b> En la siguiente tabla se evidencia la diferencia de 107 mm de los dispositivos móviles frente a LIDAR y frente al tradicional de 98 mm. ....	55
<b>Tabla 4</b> Toma de medidas en milímetros según método .....	56
<b>Tabla 5</b> Tabla de diferenciación numérica .....	57
<b>Tabla 6</b> Cuadro efectividad de captura de datos .....	62
<b>Tabla 7</b> Nivel de detalle levantamiento entregables .....	66
<b>Tabla 8</b> Tabla comparativa de entrega de detalle según método de levantamiento.....	67
<b>Tabla 9</b> Matriz para identificación de método para levantamientos arquitectónico.....	68
<b>Tabla 10</b> Tabla de tiempo en minutos y nivel de detalle según .....	69
<b>Tabla 11</b> Tabla de tiempo de escaneo en segundos. ....	70
<b>Tabla 12</b> Parámetros de categoría de datos .....	71

### Resumen

Los levantamientos arquitectónicos son indispensables para reconocer o actualizar la geometría de una edificación y/o espacio urbano. Hoy en día las metodologías empleadas para este proceso se caracterizan por métodos tradicionales y tecnológicos, los cuales presentan un contraste a nivel de precisión, rendimiento y costo. El objetivo de esta investigación es evaluar distintas metodologías de levantamiento arquitectónico análogos y digitales, comparando atributos técnicos y económicos, en un caso de estudio representativo. Para esto se caracterizaron procedimientos manuales y tecnológicos como medidor manual con flexómetro, a su vez dispositivos móviles y laser scanner LIDAR; luego, sobre el caso de estudio se realizan mediciones con los métodos mencionados anteriormente, estableciendo rendimientos, precisión, y costo finalizando con la entrega de documentos CAD en el postproceso de digitalización 2D y 3D. Este estudio permitió establecer, que el método con mejor rendimiento y precisión para un escaneo del espacio, es el escáner laser LIDAR con un 99 % seguido del método análogo tradicional con un 85 % y por ultimo los dispositivos móviles con el 76 %, a su vez, en cuanto a costos, las tecnologías LIDAR de laser scanner presentan costos cercanos al 600% más respecto a aparatos móviles, y del 900% frente a métodos tradicionales.

*Palabras claves:* LIDAR, Levantamiento, Rendimiento y costo

### **Abstract**

Architectural surveys are indispensable to recognize or update the geometry of a building and/or urban space. Nowadays, the methodologies used for this process are characterized by traditional and technological methods, which present a contrast in terms of accuracy, performance and cost. The objective of this research is to evaluate different analog and digital architectural surveying methodologies, comparing technical and economic attributes, in a representative case study. For this purpose, manual and technological procedures were characterized, such as manual meter with flex metro, mobile devices and LIDAR laser scanner; then, on the case study, measurements were performed with the methods mentioned above, establishing performance, accuracy, and cost, ending with the delivery of CAD documents in the post-process of 2D and 3D digitizing. This study allowed to establish that the method with the best performance and accuracy for space scanning is the LIDAR laser scanner with 99% followed by the traditional analog method with 85% and finally the mobile devices with 76%, in turn, in terms of costs, the LIDAR laser scanner technologies have costs close to 600% more compared to mobile devices, and 900% compared to traditional methods.

*Keywords:* LIDAR, Survey, Performance and cost.

### Introducción

El levantamiento arquitectónico es el proceso de medición espacial de un lugar. A menudo, esta tarea se ve afectada por los planos irregulares, más aún si el lugar es declarado bien de interés Cultural, ya que por lo general estos presentan un serio problema en la ortogonalidad de la estructura, por lo que es muy común encontrar planos irregulares y curvilíneos, los cuales se complican a la hora de dimensionar el espacio si no se realiza de manera adecuada, a causa de esto se disminuye la efectividad, en términos de rendimiento precisión y costos, en los procesos de escaneo del lugar y entrega de archivos digitales 2d y 3d.

Por ende, se realizaron unos procesos de análisis, caracterización y evaluación de cada uno de los métodos existentes para la toma de medidas de un espacio, lo que permitió establecer porcentajes de efectividad según el caso de estudio. Estos resultados se compararon según el tipo de levantamiento destinado para un determinado tipo de proyecto y según este elegir cual es el mejor método.

Ahora bien, en la actualidad los levantamientos arquitectónicos modernos y tradicionales presentan un contraste a nivel de precisión y costo. Por lo general los métodos tradicionales son los que se ven más afectados por las variables como irregularidades geométricas, anomalías estáticas del piso u otras características atípicas de la edificación, lo que lo hace rudimentario y poco preciso en comparación con la tecnología implementada en los métodos modernos, todo esto a causa de que el levantamiento tradicional depende mucho de la habilidad del mismo usuario para realizar un croquis adecuado a medida que avanza la toma de medidas del espacio.

Se debe realizar una investigación de campo adecuada para recopilar datos adecuados. Esta información a menudo está incompleta o desactualizada y debe verificarse con el tiempo. Esto requiere claridad sobre el propósito general del estudio, las especificidades del área cubierta, las herramientas y técnicas de medición utilizadas y la gestión de los datos.

A esto sumado que si se realiza de manera individual disminuye aún más este proceso, necesitando de otras dos personas por lo menos para así efectuar el ejercicio de manera correcta en poco tiempo.

Aun así, logrando un levantamiento de todo el perímetro del espacio no se cuenta con la certeza de que los planos a los cuales se le tomaron medidas estén debidamente ortogonales por lo que conviene acudir a la trilateración, este método es lo más idóneo para ser lo más preciso posible.

Por lo que en el presente artículo encontrará una evaluación que le permitirá enfocar su línea de trabajo según el tipo de levantamiento arquitectónico a realizar.

### Planteamiento Problema y oportunidad

En la actualidad los levantamientos arquitectónicos modernos y tradicionales presentan un contraste a nivel de rendimiento, precisión y costo. Por lo general los métodos tradicionales son los que se ven más afectados por las variables como irregularidades geométricas del piso u otras características atípicas de la edificación, como bien se expresa también Pulido (2017) en su artículo indicando que lo hace rudimentario y poco preciso en comparación con la tecnología implementada en los métodos modernos, todo esto a causa de que el levantamiento tradicional depende mucho de la habilidad del mismo usuario para realizar un croquis adecuado a medida que avanza la toma de medidas del espacio.

Para ejecutar un buen levantamiento este tiene que ser riguroso, según Buil (2007). sin embargo, la información entregada por el cliente esta desactualizada, a esto sumado que si se realiza de manera individual disminuye aún más este proceso, necesitando de otras dos personas por lo menos para así efectuar el ejercicio de manera correcta en poco tiempo.

Aun así, logrando un levantamiento de todo el perímetro del espacio no se cuenta con la certeza de que los planos a los cuales se le tomaron medidas estén debidamente ortogonales por lo que conviene acudir a la trilateración, este método es lo más idóneo para ser lo más preciso posible.

Hoy en día disponer de planimetría en archivos digitales es indispensable para la modificación de información en poco tiempo asistido por ordenador, por lo general estos son archivos “CAD (Computer-Aided Design)” son transcritos a partir de información de un croquis a un archivo CAD, esto es dispendioso y poco preciso si no se cuenta con la información necesaria. Por ende, Almagro(2004). En su libro nos indica que acudir a los métodos modernos es lo más seguro, sin embargo, no es lo más económico ya que muchos de los profesionales en el ámbito no cuentan con los recursos económicos para adquirir estos métodos modernos por el elevado costo. Ocasionando que se utilicen métodos tradicionales.

Ahora bien, teniendo en cuenta lo que dice Cabrera (2007), qué los levantamientos arquitectónicos tienen dos procesos los cuáles son el escaneo del espacio y el post procesado, estos dos tienden a confundirlos con el mismo proceso, sin embargo los métodos para levantamiento arquitectónico se comportan de una manera diferente en cada uno de los procesos, teniendo unos mejor rendimiento y efectividad a la hora de dicho proceso; un ejemplo de esto es que el levantamiento con escáner líder es el que mejor rendimiento tiene a la hora de hacer un escaneo, sin embargo para el post procesado y entrega de modelado 3D, no es muy efectivo.

**Preguntas de investigación**

¿El método de ejecución de un levantamiento arquitectónico influye en el rendimiento y el costo del mismo?

### Justificación

Las diferentes metodologías de levantamientos arquitectónicos a un bajo costo carecen de precisión, como dice a su vez Buil (2007). por lo que resulta es indispensable y conveniente realizar una evaluación meticulosa de cada uno de los métodos para levantamientos arquitectónicos haciendo énfasis en el tema de rendimiento y sus respectivas características físicas y entregables para la comprensión métrica de un espacio; Resultando útil a la hora de mejorar los rendimientos en trabajo de campo.

De esta manera los principales beneficiados de esta investigación son los profesionales de la construcción, como bien lo indica en su artículo Pulido (2017), al acoplar las herramientas modernas y tradicionales usando las características más relevantes de cada una, es el propósito de este nuevo proyecto, el cual hará participe en el área de la tecnología a los softwares AutoCAD y Excel, permitiendo la creación y edición de archivos CAD (Computer-Aided Design) incorporado a las tablas de datos dinámicos en un archivo "XML". según lo anterior para los profesionales de la construcción traerá muchos beneficios ya que, según su proyecto, con este estudio encontrarán la mejor solución para su ejecución.

La resolución de problemas en esta área es el pan del día, uno de los cuales son los resultados. Por lo tanto, el propósito de este estudio es analizar los errores existentes en los dibujos producidos para tener una idea de la magnitud final del error que ofrece cada método. Para ello, se estudiará lo dicho por Mellado (2012) y asu vez se compara un diseño generado mediante métodos tradicionales con un diseño obtenido a partir de una parte de la nube de puntos procesada mediante el archivo de dibujo. El proceso utilizado en la historia de la arquitectura es indiscutible. Hoy, sin embargo, existe una demanda de mayor precisión y rendimiento de imagen. La precisión es aceptable y algunos niveles pueden dar mejores resultados. Dado que muchas veces es difícil obtener planos de calidad, ya que los originales pueden estar perdidos, inexistentes o erróneos, este estudio espera llenar este vacío en el

conocimiento sobre los métodos de levantamiento arquitectónico. Los procesos de alta precisión emergen con el desarrollo de la tecnología actual.

Con esta información se podrán generalizar los resultados a principios más altos. Comparado con otros métodos, ya que la etapa de recolección de datos por escáner láser y el método tradicional es muy útil en vista que se podrá conocer la mejor manera según las variables y su relación entre ellas sobre todo para determinar de forma más rápida y eficiente cuál es el más eficiente. Con respecto a este procesamiento de datos en comparación con otros métodos, puede tardar más tiempo debido al proceso de limpieza. Los errores de posición durante el escaneo son aleatorios, es decir, no ocurren fuente identificable del error. Por lo tanto, la reparación no es posible.

Se deja abierta la posibilidad de un estudio acerca del desarrollo de un método económico y preciso, más precisamente una estación móvil, la cual realizará un escaneo 2D, desde un punto fijo. a su vez este escaneo se evidenciará en un software (Arduino), el cual almacenará dicha información para así transmitirla a un archivo CAD.

### Hipótesis descriptiva

El rendimiento de un levantamiento arquitectónico está sujeto al precio de las herramientas seleccionadas para ejecutar el mismo, por lo que a mayor costo, mayor será la precisión.

### Objetivos

#### Objetivo General

Evaluar distintas metodologías de levantamiento arquitectónico análogas y digitales, comparando atributos técnicos y económicos, en un caso de estudio representativo.

#### Objetivos Específicos

##### Objetivo 1

**Caracterizar** los métodos actuales para levantamientos arquitectónicos, estableciendo ventajas y desventajas de cada uno.

##### Objetivo 2

**Evaluar** según caso de estudio los métodos actuales para levantamientos arquitectónicos, estableciendo ventajas y desventajas de cada uno.

##### Objetivo 3

**Comparar** según caso de estudio (vivienda de patrimonio) para identificar rendimientos, costos, precisión, ventajas y desventajas brindadas por cada método

##### Objetivo 4

**Desarrollar** una herramienta para identificar el método de levantamiento arquitectónico según un caso específico.

## Capítulo I

En la profesión de la construcción (maestros, ingenieros y hasta arquitectos) hoy en día hacen a un lado los levantamientos arquitectónicos, ya que no le dan la importancia debida, puesto que se limitan a realizar un levantamiento rápido e impreciso para pasar a la siguiente etapa del proyecto. En la ejecución del mismo se dice que cuando el proyecto es de mayor cuantía se contrata a un tercero, bien sea topógrafo o una empresa especializada en levantamientos arquitectónicos que manejen métodos de escáner laser en 3D, por lo cual remitirse a los antecedentes es de suma importancia para entender la ejecución de un proyecto.

### Estado del arte

#### Directrices del levantamiento arquitectónico

Según Almagro Gorbea el levantamiento arquitectónico empieza tomado medidas del proyecto para en forma de bocetos. Este proceso puede llegar a ser complicado, ya que los apuntes se realizan de forma inmediata a medida que se lleva a cabo la sesión de toma de medidas del espacio. La precisión del plano depende de la habilidad de la persona a cargo del levantamiento. Por ende, para aumentar la precisión del levantamiento es necesario reconocer las herramientas más utilizadas y disponibles en los levantamientos arquitectónicos, que son:

**Mesa auxiliar o tabla de apoyo:** Importante tener esta superficie, nos permite estar cómodos en situaciones incomodidad para un obtener un mejor boceto.

**Papel blanco - cuadrado - milímetro:** Cada uno de estos papeles es adecuado para esbozar y anotar. El formato recomendado es alfabético o formal porque hace fácil la operación. Trabajar con formatos grandes puede llevar mucho tiempo y no es práctico. Es importante optimizar la hoja.

**Lápiz:** Se usa para las notas en una reseña, se debe usar tinta ya que esto brinda más seguridad al artista, cuando se prefiere no hacer bocetos.

Cinta métrica: Se entiende como una herramienta para la toma medidas que tiene un alcance de hasta 10 metros. Este proceso también se puede hacer con un medidor digital o un metro laser con múltiples ventajas en precisión y velocidad, el cual almacena datos y realiza operaciones básicas. Esta herramienta no es fácil de conseguir debido a su alto costo.

Cámara: Este recurso permite expresar todas las escenas del espacio al instante y proporciona mayor seguridad al examinar cualquier dato dudoso. Pulido (2017),

Para cualquier tipo de levantamiento, es preciso tener al menos dos miembros. Ya que la distribución de tareas es más efectiva y más cuando hay tres personas, ya que dos de ellos están en los extremos de los muros y la tercera tomando. El trabajo debe tener un buen lienzo y legibilidad en el texto. Las medidas se toman de elementos que incluyan los ejes X, Y, y Z: Alto por Ancho por Profundo, esto garantizando el levantamiento 3D respectivamente. Los planos de planta deben incluir: Fachadas, Plantas y algunos Cortes para incluir dimensiones de longitud y altura. Es importante el tamaño, que funciona con (metro), para este cambio de nivel, que es para predios con formas dinámicas o irregulares, se recomienda usar el método de triangulación trigonométrica "trilateración". Almagro (2004).

El levantamiento arquitectónico es el procedimiento de toma de medidas de un espacio. Por lo general, esto hay que ejecutarlo para proyectos ya construidos que necesitan actualizaciones de planimetría. Estas medidas se procesan para obtener una visión general arquitectónica. Los planos impresos y digitales reflejan el estado actual del inmueble en construcción. La descripción general de la arquitectura está disponible en formato AutoCAD y PDF para mayor referencia. Esta información es útil para todos los que necesitan saber específicamente sobre la condición actual de una propiedad para una expansión, renovación, nueva construcción, arreglo, venta o alquiler. Almagro(2004).

**Figura 1**

*Herramientas para levantamiento arquitectónico.*



Tomada de “Técnicas para levantamiento arquitectónico” por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf> )

### **Documentación para un levamiento arquitectónico**

Para el presente proyecto se pretende evaluar cada uno de los métodos para levantamientos arquitectónicos enfocados en el ámbito de rendimiento y características que dan apertura a temas tanto económicos como precisos, para documentar adecuadamente un proyecto según las alternativas disponibles. Para ello inicialmente precisemos el significado de un levantamiento arquitectónico, Cabrera (2007).

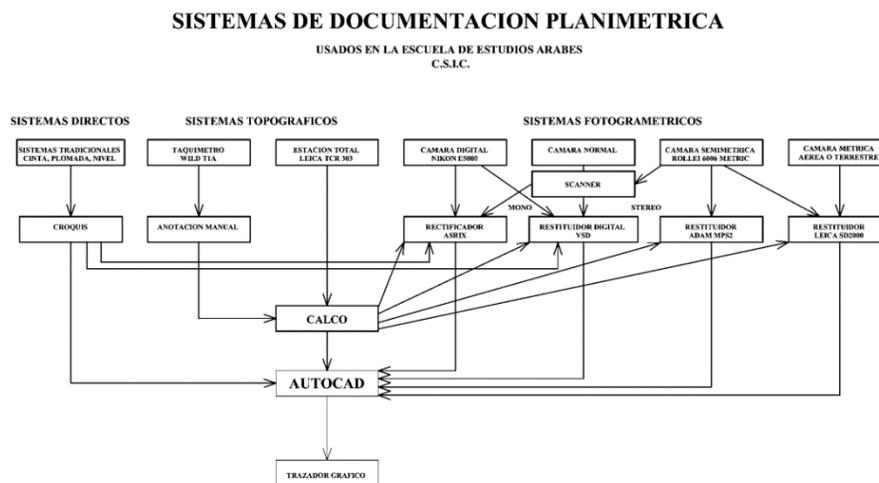
La irrupción de las nuevas tecnologías de levantamiento arquitectónico ha sentado un cambio, ya que la utilización de técnicas modernas de representación gráfica por ordenador ha tomado más fuerza, y la aplicación de nuevos procedimientos topográficos implementados a los levantamientos. En

este último caso, el más convincente y novedoso es, sin duda, el escaneo láser, que puede recoger una gran cantidad de datos métricos en un menor tiempo. Al mismo tiempo, de una manera más silenciosa, se ha desarrollado la fotogrametría multi imagen que, a diferencia de la fotogrametría tradicional, utiliza un conjunto confluyente de fotos, simplemente identificando digitalmente puntos de homología en diferentes fotos. Algunos se refieren a esta técnica de medición como liviana para enfatizar esta característica del instrumento en comparación con las máquinas de escaneo a granel y las estaciones totales.

### Sistemas de documentación planimétrica

Figura 2

*Sistemas de documentación planimétrica.*



Tomada de “Técnicas para levantamiento arquitectónico” por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf>)

El levantamiento arquitectónico tiene como finalidad esencial el reconocimiento espacial de una edificación, no sólo en su materialidad física, sino también todo acerca de su historia y su significado. En su libro “EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO” de, Almagro (2004), habla sobre cómo hacer dibujos precisos, casi como una radiografía del edificio, aplicando métodos tradicionales con el objetivo de conocer la morfología de la edificación (dimensiones y forma) y Constructivamente; Sin embargo, Pulido (2017), define que a la hora de ejecutar un levantamiento es normal encontrar esquinas no

perpendiculares dificultando el rendimiento y la medición de ángulos agudos (menores a 90°) o ángulos obtusos (mayores a 90°).

Tomada de “Técnicas para levantamiento arquitectónico” por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf> )

Ahora bien, Marambio (2006), presenta otra manera de iniciar un reconociendo espacial de un

### Figura 3

Metodología de triangulación para determinar distancia específica

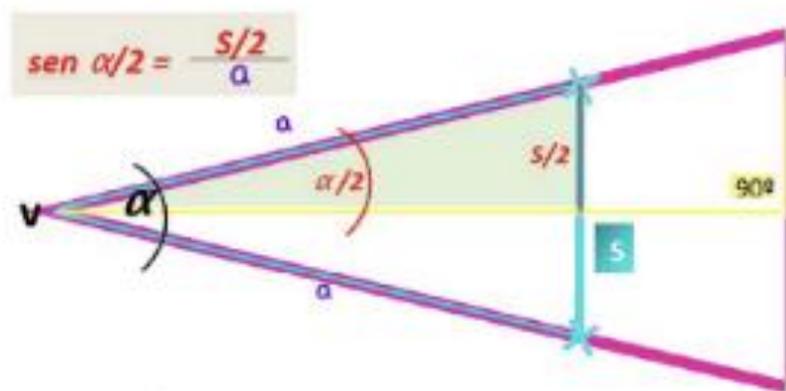


Tomada de “Técnicas para levantamiento arquitectónico”, por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf> )

edificio existente es el escaneo laser ya sea con dispositivos móviles o con el escáner laser LIDAR, los

### Figura 4

Proceso trigonométrico hallar seno,



cuales realizan un escaneo que culmina en una nube de puntos obteniendo un modelado tridimensional.

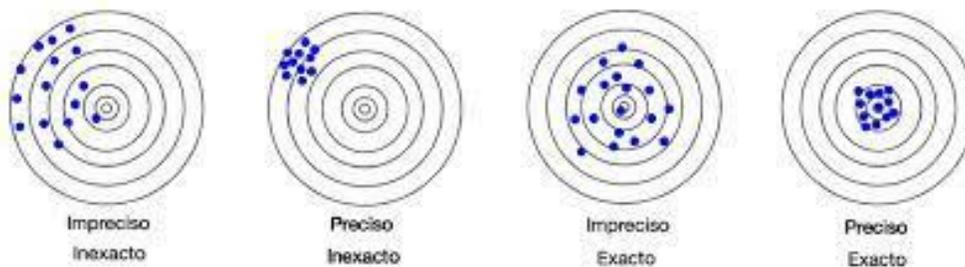
Con esto se logra una vista tridimensional exacta.

Un estudio mencionado por, Mellado (2012), revela que los métodos de levantamiento arquitectónico, presentan una diferencia a nivel de costo y precisión, sin embargo, la correcta combinación de estos concluye en una creación de archivos desde bocetos lineales hasta modelado 3D texturizado y logre estos llegue a resultados en cuanto a costos financieros o laborales mínimos.

Por otro lado, con cualquiera de los métodos se puede llegar a una buena precisión, no están exentos de errores, ya sea por un error accidental o sistemático, por lo que no hay que confundir el concepto entre exactitud y precisión, así que la exactitud es que tan cerca se está del valor verdadero, y la precisión es la consistencia en el resultado que se obtiene, Buil (2007).

**Figura 5**

*Exactitud y precisión*



Tomada de "Exactitud y precisión" por Días, 2007.

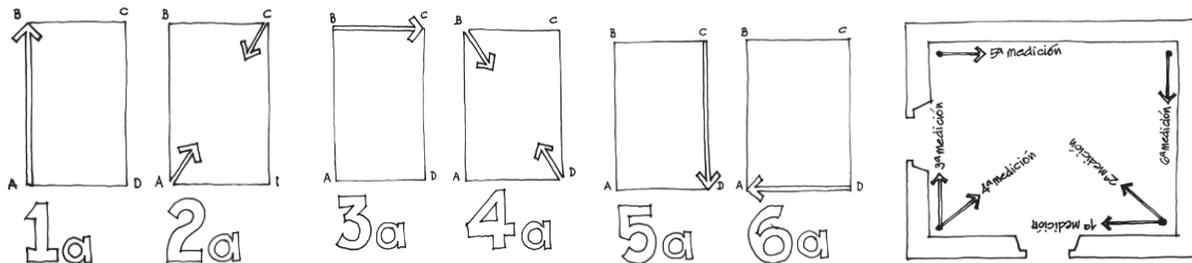
([https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod\\_resource/content/1/exactitud\\_y\\_precisin.html](https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html) )

Estos conceptos son más claros cuando nos enfrentamos a propiedades catalogados como patrimonio arquitectónico, envista de su complejidad constructiva a causa de su antigüedad, materiales y geometrías irregulares, gracias a los métodos actuales que generan nube de puntos se pueden observar detalles que un levantamiento tradicional pasamos por alto, redundando en el rendimiento y la eficacia del levantamiento, Gisbert (2002).

### Toma de medidas para un levantamiento arquitectónico.

**Figura 6**

*Proceso tomade medidas de espacio (ALMAGRO, 2004)*



Tomada de "EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO Una aproximación metodológica" por Salamanca, 2012. ([http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento\\_arquitectonico.pdf](http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento_arquitectonico.pdf))

Por ende para verificar cuales son los métodos más eficientes hay que realizar una comparación entre ellos como lo hace, López (2015) en su artículo métodos de documentación acopia cada uno de los métodos para así tener en cuenta los trazos y ejecutar una comparación con los proyectos realizados, así mismo, tomaremos como eje Un estudio comparativo que realizo Losavio (2010), donde según su favorabilidad y efectividad realizada según unos requisitos iniciales, identifica cual es el método más idóneo para determinada situación.

### Tres dimensiones del levantamiento

Por otro lado, Lárrede (2014), señala que se pueden agrupar las técnicas de los métodos de levantamiento, las cuales serían

tres grandes bloques: el bloque bidimensional y el tridimensional. Asumiendo distintas técnicas, el bloque bidimensional es aquel que reúne aquellos métodos en los que se proporciona información en dos dimensiones del artefacto arquitectónico analizado. Documentos planimétricos como plantas, alzados o secciones son representativos, así como los croquis de acotación. En el bloque tridimensional se recogen los métodos que aportan información en tres dimensiones acerca del elemento arquitectónico (Lárrede, 2014, p. 5).

### Marco teórico

En este apartado, en primer lugar, se introduce la teoría del arte del dibujo y como este lenguaje grafico es participe en el reconocimiento espacial; más adelante se continúa con un análisis del proceso de trabajo para la ejecución de trabajos de levantamiento; por último, se realiza una breve descripción acerca de los medios actuales para la toma de medidas.

### Percepción del espacio

El papel de los dibujos arquitectónicos es la transmisión de esa información constructiva a archivos tangibles, sin embargo, a la hora de plasmar las ideas hay un problema, ya que no es lo mismo un dibujo de un arquitecto, quien ya sabe lo que es necesario para un buen reconocimiento espacial, por el contrario de un pintor, albañil, escultor o cualquier otra persona ya que no están acostumbrados a esa forma de comunicación Sainz, (1990).

#### Figura 7

*Bocetos de pintores edad renacimiento.*



Tomada de "El dibujo de arquitectura: teoría e historia" por Sainz, 1990.  
(<https://yolahugo.com/2014/09/23/villa-capra-la-rotonda-andrea-palladio-vicenza/> )

Por ejemplo, los pintores antes de realizar una obra, hacen un boceto, por otro lado, los escultores hacen bosquejos o esbozos antes iniciar con una escultura; Esta teoría nos ayuda a entender como las herramientas graficas no son utilizadas de la misma forma para cualquier persona, la manera de utilizarlas radica en la capacidad de cada uno. Por ende, en el caso de los levantamientos arquitectónicos se presentan inconvenientes a la hora de ejecutarlo ya que en el transcurso del mismo la persona va esbozando en un papel lo que percibe antes de tomar medidas, esto tiene muchos inconvenientes ya que muchas veces no tenemos en cuenta la proporción y esto puede derivar en mal levantamiento.

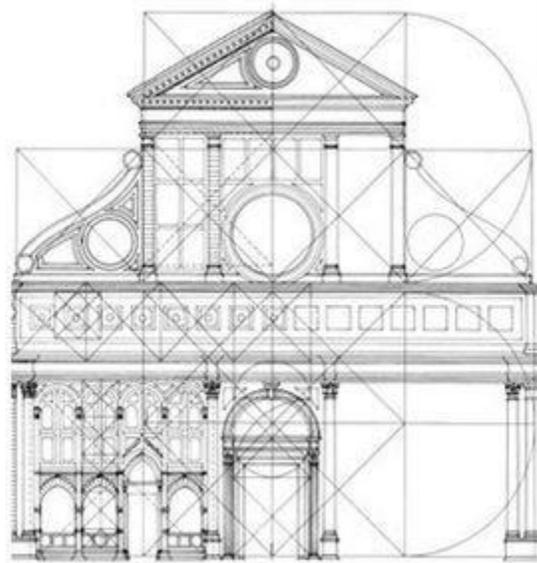
### **Arquitectura y su proporción**

León Battista Alberti en (1404-1472) Imitando al Vitruvio y de forma muy organizada expone la importancia de la proporción para construir de forma bella esto es una noción que hace Alberti estudiando en arte clásico decir la fórmula de alcanzar la belleza a través de la proporción y la simetría; En cuanto a sus ideas básicas piensa que la belleza es la armonía entre las partes y el todo y de ellos debe resultar un equilibrio perfecto es un concepto de belleza Un ejemplo de esto es a la construcción de una fachada para una iglesia que era de factura gótica se le encarga Alberti la culminación de esta obra Pues carecía de fachada así que la diseña funcionando las formas pacíficas ya existentes con una base matemática y en torno a la proporción áurea la estructura del alfa consiste en dos cuadrados en el primer piso y un tercer cuadrado en el segundo piso con el que cubre la diferencia de altitud del área central o nave para rematar las naves posteriores diseña unos alerones que tratan suavizar el ángulo que surge de estos cuadrados utiliza el blanco y el negro grisáceo en sintonía con el gusto florentino y las columnas que son fundamentalmente ornamentales para terminar un frontón triangular en la parte superior para el remate perfecto para esta obra el resultado final es una proeza de fusión entre los

principios clásicos la racionalidad matemática y las exigencias de la obra que ya estaba construida así que está fachada se convierten con todo ello en una de las mejores obras del renacimiento.

**Figura 8**

*Santa maría novella Florencia imagen <http://ww1.arteydibujo.com/>*



Tomada de "Researchgate "por López, 2008. (Santa maría novella Florencia imagen ([https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Relaciones-proporcionales-de-la-fachada-de-Sta-Maria-de-Novella-Florencia\\_fig4\\_277260342](https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Relaciones-proporcionales-de-la-fachada-de-Sta-Maria-de-Novella-Florencia_fig4_277260342) )

Esta teoría aporta a la construcción de esta tesis ya que Alberti utiliza las proporciones para entender una edificación y como con operaciones matemáticas sin ayuda de dispositivos digitales logra diseñar una fachada perfecta para su época.

**Conocimiento espacial y su desarrollo**

Piaget en este artículo ofrece una visión general de las teorías del conocimiento espacial de Piaget y sus colaboradores. En primera instancia se determinan las principales determinantes de la teoría llevándolo a un concepto cognitivo. A continuación, presenta una serie de experimentos para

estudiar espacios topológicos, proyectivos y euclidianos. Concluyó enfatizando que el trabajo de Piaget es relevante para estudios posteriores de percepción espacial (Ochaíta, 1983).

### Perspectiva lineal

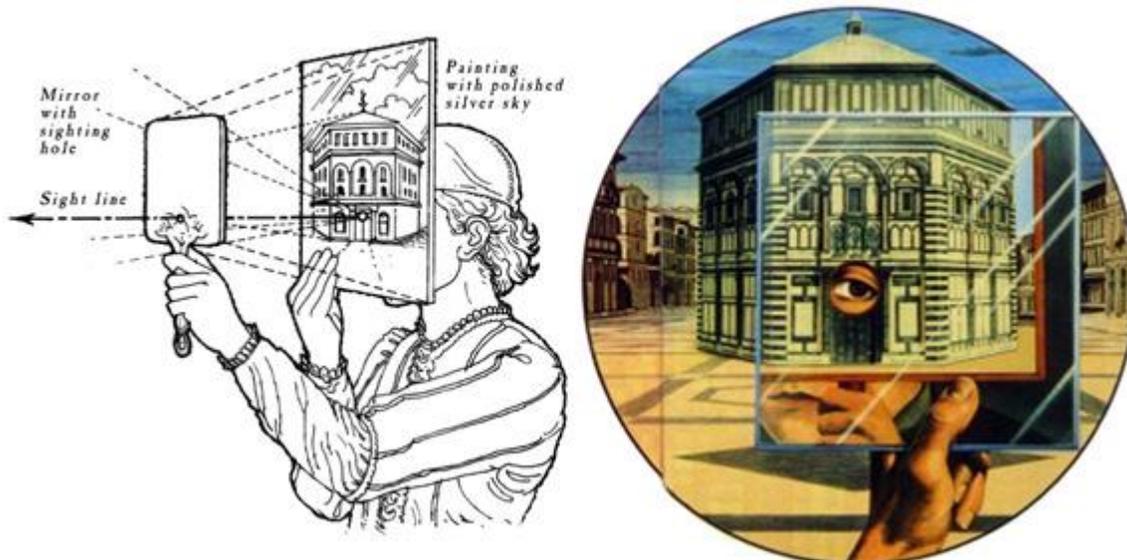
Filippo Brunelleschi Fue la persona que inicio con las bases del método que ayudaría a los artistas para reproducir figuras y objetos y como los percibe el ojo humano de una manera tridimensionalmente dándole a los diseñadores y pintores una técnica y herramienta para representar la realidad. Ahora bien, con Alberti formularon la teoría de la pirámide visual y los Principios teóricos se formularon a base de tres leyes muy importantes

- trazado alzado y planta.
- Tener en cuenta la proporción.
- Detalles en modelado sencillo.

Todo esto sin tener en cuenta la decoración del lugar.

### Figura 9

*Posición relativa de objetos según la perspectiva*



Tomada de "La perspectiva "por Ruthfontelles, 2016. (<https://arquipopblog.wordpress.com/2016/01/25/la-perspectiva/> )

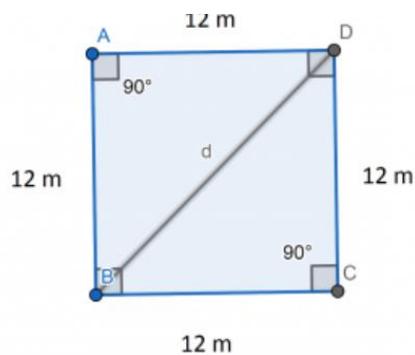
### Marco Conceptual

#### Razones trigonométricas

Identificar primero que es un triángulo rectángulo cuyo ángulo interior es de  $90^\circ$ . La característica principal de un triángulo es que, como lo expandiremos más adelante, tiene un lado más largo (llamado hipotenusa) y otros dos lados, llamados catetos, que se unen para formar ángulos rectos. Otro detalle a tener en cuenta es que cualquier cuadrado que sea dividido en dos partes por una de sus diagonales será dividido en 2 unidades de rectángulos triángulos (como se evidencia en la figura 10 de abajo). (Baldor, 1941)

**Figura 10**

Formación de triángulos rectángulos a partir de datos suministrados. Imagen elaboración propia.



Elaboración propia

De acuerdo con la siguiente figura, el triángulo rectángulo se forma de la siguiente manera:

**Verticales:** A, B, C.

**Lados:** A B, B C, AC, donde A B y B C son aquellos catetos y A C es el lado más largo llamado hipotenusa

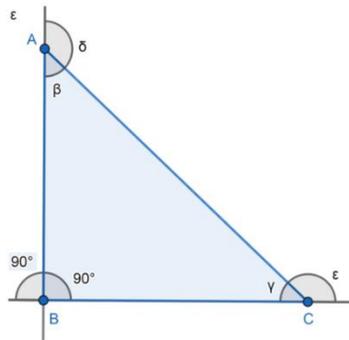
**Ángulos interiores:**  $90^\circ$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ . La suma de estos tres valores debe ser  $180^\circ$ .

**Ángulos exteriores:**  $90^\circ$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ .

Formula:  $90^\circ + \beta = 180^\circ$ ,  $\beta + 90^\circ + \delta = 180^\circ$

**Figura 11**

*Triángulo rectángulo. Imagen elaboración propia.*



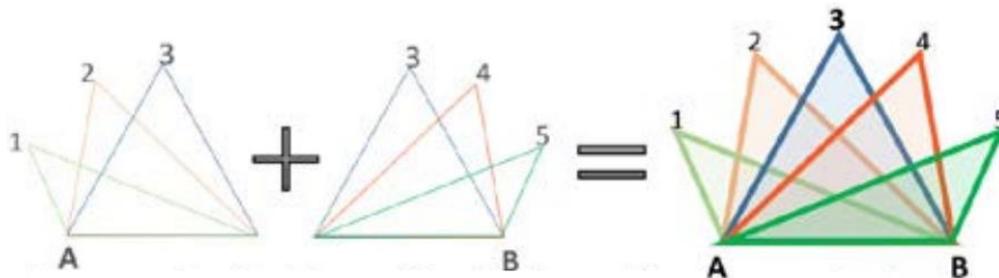
Elaboración propia.

### Trilateración

Para un levantamiento arquitectónico donde el predio presente irregularidades en los muros es indispensable realizar una triangulación para determinar la correcta inclinación de los planos, en este caso los muros de un de acuerdo con el artículo Técnicas para un Levantamiento (Pulido, 2017) se explica cómo realizar una correcta toma de medidas en edificaciones irregulares y como enfrentarse a ellas en dado caso de no toparse con planos regulares o más bien ortogonales a los que habitualmente encontramos en nuestro contexto inmediato, ya que por lo general se comete el error de dar por sentado que las edificaciones son perfectamente regulares a simple vista. Un ejemplo de ello son las edificaciones de Patrimonio Histórico que cuentan en su mayoría con muros irregulares, lo que dificulta el levantamiento arquitectónico para la actualización de planimetría o la adecuación, modificación o remodelación de un lugar. Con esto en mente, se ambiciona investigar ¿Cómo evolucionar las metodologías tradicionales para levantamientos arquitectónicos, sin elevar el costo tecnológico? Es decir, se quiere lograr un método basado en trilateración para estos planos irregulares. Pero ¿qué es la trilateración? “En la triangulación, cada medida lineal tomada debe corresponder a un lado del triángulo, y los tres lados se miden necesariamente.” (Pulido, 2017, p. 22) para lograrlo este artículo nos desglosa desde cómo realizar una medición de curvas por trilateración, medición de ángulos en esquinas

no perpendiculares, hasta la ampliación de razones trigonométricas como lo son la ley de seno y del coseno, esto con el fin de relacionar las longitudes de los segmentos del triángulo a definir. Como se aprecia a continuación:

**Figura 12**  
*Configuración de polígonos*



Tomada de "Técnicas para levantamiento arquitectónico" por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf>)

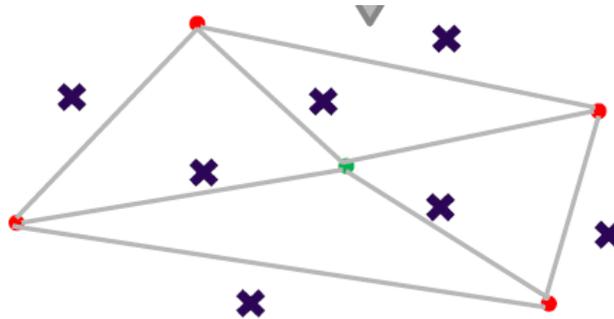
En la figura anterior se puede ver la formación de polígonos (triángulos) al conectar tres puntos. Las pautas iniciales son los puntos A Y B, con puntos unidos por segmentos del 1 al 5.

Este método complementará perfectamente el proyecto en vista que este usa un punto de referencia el cual se ubica en un punto "X" y "Y" y del cual se despliegan unos segmentos para cada uno con su respectivo ángulo entre sí, con el fin de dibujar a partir de un punto la medida real de una edificación. Como se aprecia en la Figura.

Ahora bien, se inicia con los segmentos o puntos (A - B), que, se combinan, para dar como resultado el primer segmento de línea Triángulo. estos segmentos deben estar separados de la curva para identificar la medida. Se recomienda utilizar el tamaño aproximado de 50 cm. Hay varios puntos de referencia para construir triángulos sobre curvas. Un segmento de tiene que estar en centro de la geometría o del arco en sí, este momento se ilustra por medio del número 3, donde hay dos puntos extra en cada segmento hacia a la derecha que son los segmentos 1 y 2, y a la derecha segmentos 3 y 4 Pulido, (2017).

**Figura 13**

Trilateración aplicada al proyecto



Tomada de “Técnicas para levantamiento arquitectónico” por Pulido, 2017. (<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf> )

A partir de un punto en el espacio se pueden segmentar líneas con determinadas distancias generando entre ellas ángulos, que aplicando la ley de seno y de coseno se pueden hallar los segmentos resultantes.

Así mismo nos indican que para determinar las dimensiones de un proyecto es indispensable la ejecución de un levantamiento arquitectónico, y saber cómo realizarlo es imperativo por lo que en el presente artículo nos desglosaran el procedimiento sugerido para un correcto levantamiento arquitectónico desde las herramientas desprovistas hasta como utilizarlas, todo esto con solo métodos tradicionales. , por ende, el reconocimiento del mismo es indispensable ya sea para la modificación o actualización de datos. Por lo que establecer las diferentes tipologías de levantamientos ayuda a definir el nicho al que se quiere llegar como se menciona en el artículo, ya que todas llegan a un mismo fin, sin embargo, la diferencia entre ellas son sus características físicas, donde entra en juego el tema económico y morfológico de cada tipológica, como alcances (dependiendo del terreno) y rendimientos (ventajas y desventajas de cada uno). Según lo anterior las tipologías ya analizadas y direccionando el nicho al cual se quiere llegar según las características analizadas, es preciso definir cuales áreas abarcan

los levantamientos arquitectónicos, los cuales son, Actualizaciones Planimétricas o de Intervención de Edificios para Remodelación, Modificación, Ampliación y Adecuación.

Medir ángulos en ángulos no perpendiculares en los estudios de arquitectura, puede ocasionar que las paredes o el revestimiento creen espacios con ángulos agudos (menos de  $90^\circ$ ) u obtusos (mayores de  $90^\circ$ ). Quizás, al inspeccionar el diseño, no sea difícil medir la longitud de estas paredes. Sin embargo, definir un ángulo superior a  $90^\circ$  en el espacio dimensionado no permite el uso de un transportador de campo básico que define un proceso sensato que puede determinar con precisión el ángulo formado. Así, en base a las conclusiones extraídas, se conseguirá fácilmente la digitalización del espacio estudiado. Para hacer esto, primero se debe determinar si el ángulo medido forma una perpendicular entre las paredes de la bisagra.

### **Escaneo laser**

Los sistemas de medición láser se han utilizado en diversas industrias durante décadas, con los primeros dispositivos patentados de la década de 1980. Sistemas integrados para escaneo 3D y, desde entonces, el desarrollo de la industria es rápido y profundo. Los primeros usuarios ven valor en sus aplicaciones de plantas industriales para adaptarse a las condiciones existentes, donde la documentación y equipos complejos dificultan la modificación y el mantenimiento. Desde entonces, la velocidad y la calidad han aumentado considerablemente, lo que refleja un aumento en la velocidad de almacenamiento y procesamiento durante el mismo período. De hecho, estos desarrollos han influido directamente en el desarrollo de la tecnología de escaneo 3D, haciendo que el pos -procesamiento sea más rápido y eficiente.

Hoy en día todavía es utilizado para el levantamiento arquitectónico el método tradicional que se puede hacer con una cinta métrica o bien sea un metro láser, decámetro etc., todo este es un

proceso manual con el fin de llegar a un boceto que nos va a permitir hacer un plano para una representación física de la realidad al adoptar las soluciones de escaneo láser.

**Figura 14**

*Escáner laser Faro Focus, Imagen tomada de Faro andina.*



Tomada de “faro focos andina” por FARO FOCUS. (<https://www.faroandina.com/soluciones/focus-3d.html> )

Con este método enriquecemos el proceso de medir, ya que medimos con más precisión por medio de equipos, estamos hablando que estos equipos tienen la capacidad de tomar hasta dos millones de puntos por segundo y procesan esta información con softwares y así se introduce una nube de puntos que y millones de coordenadas georreferenciadas (x y z) que nos va a permitir manipular información en ambientes CAD como lo es AutoCAD, Revit, entre otros, también nos permiten modelar de manera intuitiva tuberías, estructuras y perfiles de acero. Se pueden usar para el análisis de superficies, topografía y detección de interferencias.

**Figura 15***Partes del equipo FARO FOCUS***Escáner Láser** →**Trípode** →

Tomada de "Leica ScanStation C10" por Instop, 2010. (<https://www.instop.es/instop/contacto.php> )

¿Cómo funciona un equipo escáner láser? es un equipo electrónico autónomo, ya que gira sobre su propio eje en 360° y por medio de la ayuda de un haz de láser se va capturando la información del ambiente, esto nos permite capturar de manera óptima por una matriz líneas horizontales, líneas verticales y demás información.

Al escanear se le tienen que especificar al dispositivo los parámetros que vayan a ser usados para definir el área de escaneo, el dispositivo usa la resolución correcta y empieza el filtrado inicial y el proceso de escaneado, el cual es totalmente automático. Se tienen que poner puntos de referencia que pueden ser artificiales o naturales y se deben etiquetar y medir con mucha precisión. Hay dos fases en el proceso, que son:

1. Escaneo inicial de las Dianas.
2. Escaneo de los demás objetos para evitar cualquier movimiento.

Una vez ya se sepan las posiciones aproximadas de las dianas o puntos de referencia escaneados con una resolución muy alta, y la cual tiene una exploración de líneas, que se basa en un espejo poligonal multifacético de rotación rápida que proporciona líneas de exploración totalmente lineales, unidireccionales y paralelas, los datos de las medidas son arrojadas en tiempo real y trabaja con una nube de puntos que los une y son medidos con escenas independientes en el mismo sistema de coordenadas, es importante comprobar dos veces que el escaneado está completo cuando ya haya

terminado, luego se analizan los datos y se comparan con un croquis de campo y las respectivas notas, al final se pueden obtener las características geométricas del modelo a partir de la nube, la parte más difícil es unir los datos obtenidos de una manera limpia que se registren en las diferentes posiciones adoptadas, esto logra cuando se forma el modelo 3D del objeto.

La aplicación de estos dispositivos es muy amplia, ya que cuentan con gran rapidez y agilidad en su sistema, estos equipos se usan en casos con problemas de accesibilidad y cuando las geometrías requieren un grado de complejidad que implica tener dificultades con topografía convencional; otro beneficio es que también puede trabajar en oscuridad. Se pueden encontrar escáner láser en obras de topografía, arquitectura, geomorfología, minería, arqueología e industria de la construcción, en general se puede hacer el levantamiento general de un área o puede enfocarse en un solo objeto.

La precisión de este dispositivo debe garantizar mediciones de alta precisión, el escáner láser tiene un margen de error milimétrico de más o menos 2 mm y cuenta con certificado de calibración, es muy preciso, ya que cuenta con cámaras fotográficas que registran la información en rango visible, y puede recibir una cantidad masiva de datos de todo lo que existe en la realidad. Esto se ve representado por puntos tridimensionales, captura de geometría y color de cualquier objeto o entorno cercano.

### Figura 16

*Proceso escaneo Faro Focus*

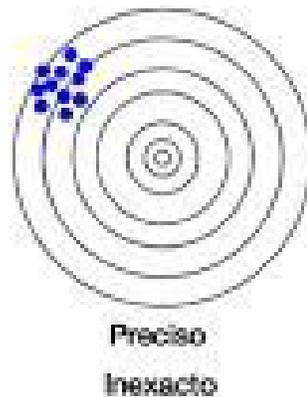


Tomada de "faro focos andina" por FARO FOCUS, 2008. (<https://www.faroandina.com/soluciones/focus-3d.html>)

## Precisión

Para entender mejor iniciaremos con el concepto de que la proximidad entre los valores o indicaciones medidos obtenidos mediante mediciones repetidas de uno o más objetos similares bajo condiciones especificadas la idea de precisión en un instrumento de medida refleja la capacidad de dar valores o indicaciones próximos entre sí al efectuar una serie de mediciones repetidas una medición o el resultado de una medición es más preciso si el error es más pequeño es decir cuánto menor es el grado de dispersión de los resultados obtenidos. Un ejemplo de esto el juego tiro al blanco deporte que requiere gran destreza para atinar en el centro del tablero, ahora bien, acá entra en concepto de precisión cuantas veces el lanzador acerté en el un punto específico no importa si no da en blanco, esto se le denomina precisión.

**Figura 17**  
*Concepto de exactitud.*



Tomada de "Exactitud y precisión" por Días, 2007.  
([https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod\\_resource/content/1/exactitud\\_y\\_precisin.html](https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html) )

Entonces la precisión es la serie de mediciones repetidas para una misma magnitud y con las mismas condiciones de medición podemos encontrar que la precisión es la capacidad de un instrumento de medición para poder repetir una misma magnitud respecto de un de valor físico.

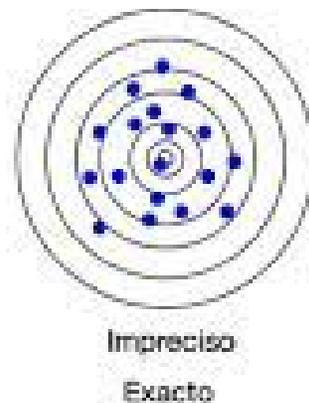
## Exactitud

Con el concepto de exactitud qué es exactitud según el vocabulario internacional de metrología es la proximidad entre un valor medido y el valor convencionalmente verdadero un valor o el resultado de una medición es más exacto cuando el error es más pequeño es decir cuánta menor diferencia hay entre el valor obtenido y el valor convencionalmente verdadero

Entonces concepto de exactitud es la capacidad de un instrumento para medir un valor cercano a la magnitud real nominal o verdadera así se puede comparar la media aritmética de las diversas mediciones y la magnitud real de la dimensión física medida

### Figura 18

*Concepto de exactitud*



Tomada de "Exactitud y precisión" por Días, 2007.

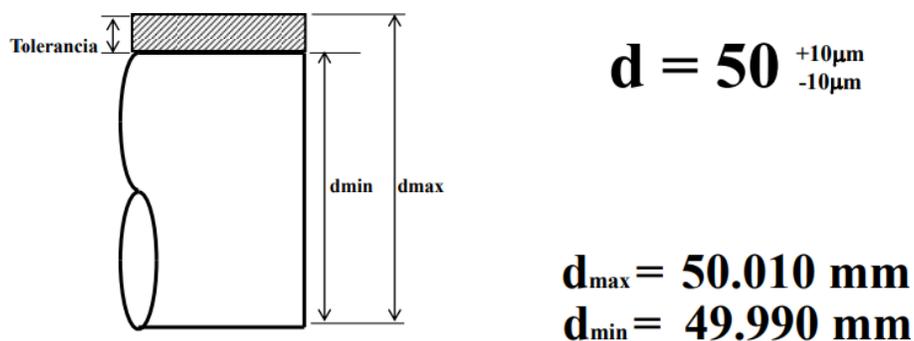
([https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod\\_resource/content/1/exactitud\\_y\\_precisin.html](https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html) )

En conclusión, la exactitud indica qué tan cerca están tus valores experimentales de un valor real o valor referencial o muchos de ustedes lo conocen como valor teórico valor estándar qué tan cerca están tus resultados de ese valor entonces necesitamos tener un valor real que en este caso sería el punto medio del tablero

## Tolerancia

Hablando acerca de la tolerancia en realidad jamás vamos a poder construir una pieza con el valor exacto de la cota, y llegada de la casualidad de que así lo logremos jamás podríamos medir dicha cota con semejante exactitud pero esto porque suceden bueno siempre vamos a tener la presencia de errores tanto errores en la fabricación como el control dentro de los errores en la fabricación tenemos factores que influyen como por ejemplo el error humano es decir el operario los errores de proceso de máquinas de herramientas de dispositivos de materiales e incluso de las condiciones ambientales con las que se fabrican y en cuanto a los errores en el control vamos a tener de vuelta al operario al instrumento en sí a las condiciones ambientales al proceso o método mejor dicho que utilizamos para controlar dichas dimensiones en fin siempre vamos a tener la presencia de errores en men podemos asegurarle que es imposible fabricar una pieza con sus dimensiones sin errores y por otro lado es imposible controlar dichas dimensiones sin errores por lo tanto el punto está en cuanto error vamos a aceptar para cada dimensión de cada pieza.

**Figura 19**  
Tolerancia



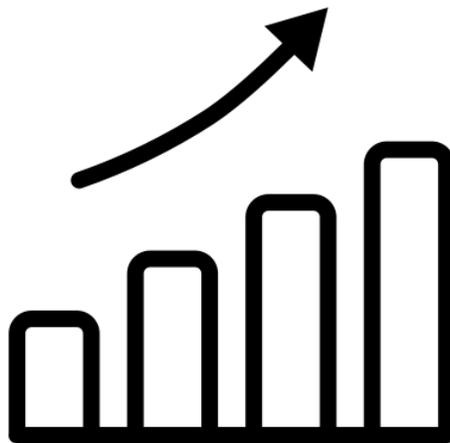
$$\text{Tolerancia} = 0.020 \text{ mm} = 20 \mu\text{m}$$

Tomada de "Salamarkesa" por Días, 2007. (<https://www.salamarkesa.com/metrologia-tolerancias/>)

## Rendimiento

La idea de la Rendimiento se refiere a la conexión entre los medios utilizados para lograr un fin determinado y el resultado logrado. El rendimiento también se refiere a los beneficios o beneficios que algo o alguien proporciona. Cabe señalar que el concepto de proceso también está relacionado con el concepto de eficacia o eficiencia. La eficiencia es la capacidad de lograr resultados utilizando la menor cantidad de recursos posible, y la eficiencia está directamente relacionada con la capacidad de lograr los resultados deseados. Si alguien quiere transcribir (es decir, copiar) una novela de 400 páginas y hacerlo palabra por palabra, tendrá éxito porque tarde o temprano lo más probable es que obtenga el libro copiado. Sin embargo, no será tan productivo ya que dedicará menos tiempo a hacer copias o usar cualquier sistema de escaneo. De esta manera puedes mejorar el rendimiento.

**Figura 20**  
*Rendimiento*



Tomada de "Flaticon" por Ware, 2016. ([https://www.flaticon.es/icono-gratis/rendimiento\\_6000254](https://www.flaticon.es/icono-gratis/rendimiento_6000254) )

### Marco normativo

El siguiente marco normativo pone en evidencia la importancia de un levantamiento arquitectónico, ya que para iniciar algún proyecto la norma solicita unos requisitos para el reconocimiento de vivienda o construcción. Como lo menciona el Decreto 1333 (2020)

“trámite para el reconocimiento y Requisitos para el reconocimiento.

Plano de levantamiento arquitectónico de .la construcción existente, firmado por un arquitecto quien se hará responsable legalmente de la veracidad de la información contenida en este” (Dec. 1333, art. 2.2.6.4.2.2, 2020).

Ahora bien, según el

“Apoyo técnico para el reconocimiento de las viviendas en asentamientos legalizados. Las oficinas de planeación municipal o distrital, o la entidad que haga sus veces, deberán apoyar técnicamente a los interesados en adelantar el reconocimiento de las viviendas de interés social que se ubiquen en asentamientos que hayan sido objeto de legalización urbanística, en especial en lo relacionado con el levantamiento arquitectónico de la construcción y el peritaje técnico, por tratarse de documentos exigidos para iniciar el trámite del reconocimiento”. (Dec. 1333, art. 2.2.6.4.3.2, 2020).

## Marco histórico

### Métodos de representación

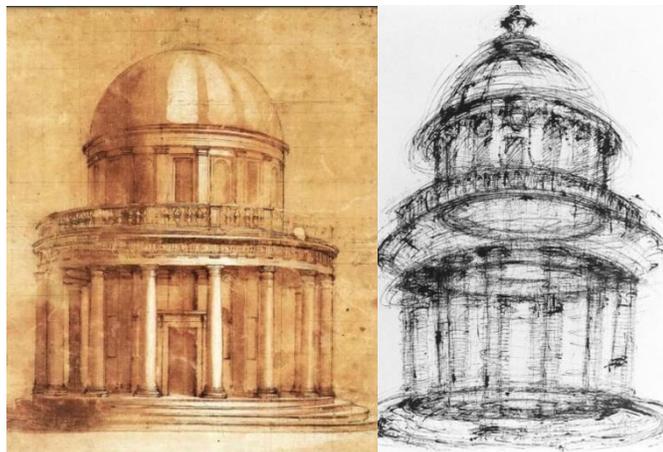
#### Mano alzada

La mano alzada y la carrera de arquitectura son dos maneras completamente disyuntivas: una es, a través de la percepción, donde se crean dibujos de lo que ya existe, estableciendo diferentes relaciones entre ambas realidades, y alternativamente, sumergirse en el dibujo usándolo como forma.

El segundo método tiene lugar durante la creación de la arquitectura, el trabajo real de un arquitecto, mientras que el primero no es nominalmente como un ejercicio en una profesión particular. Las figuras 12 y 13 ilustran los dos enfoques del realismo arquitectónico mencionados anteriormente: arquitecto y dibujante. En el primero de estos dos cuadros, el arquitecto Bramante pinta su arquitectura Tempito sobre un dibujo en el que se ha definido la realidad arquitectónica futura, pero aún no es realista. En el segundo cuadro, el dibujante Michael Graves está dibujando el Pabellón.

#### Figura 21

*Michael Graves, San Pietro in Montorio. Roma. 1961. Pen and ink on paper.*



Tomada de "El dibujo como pensamiento de la arquitectura: bocetos" por Toledo, 2005.  
(<https://core.ac.uk/download/pdf/51401749.pdf>)

El dibujante de arquitectura extranjero utiliza la visión en el dibujo con profundidad, porque con sus ojos ve, selecciona y afina aquellas partes formales presentes en la realidad arquitectónica, siendo la Arquitectura su guía a la hora de diseñar sus dibujos. El mismo delineante descubre la aparición del contexto arquitectónico en el momento determinado, en unas condiciones que aún no han llegado. Pero su propia percepción también cambia porque, aunque pasa por el canal visual, cambia dependiendo de muchas otras circunstancias inherentes a su personalidad o, si se prefiere, con el estado de ánimo de su mente personal. Entonces estas son lecturas, interpretaciones y procesos analíticos similares a todo lo que concierne a un dibujo. repetido a su manera, cada uno interesado en ciertos aspectos del proyecto. Lo que tienen en común las figuras es que representan una resiliencia con el contexto.

**Figura 22**

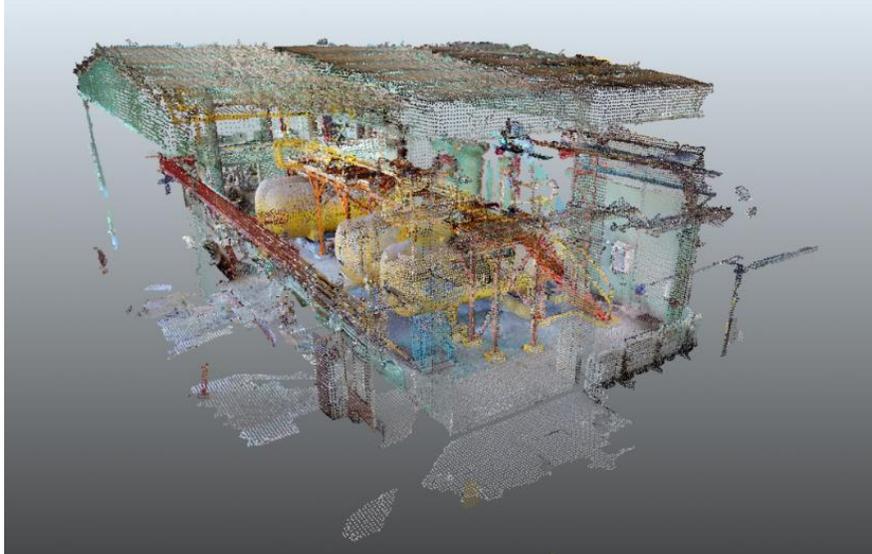
*Louis Kahn. La Acrópolis desde el Olympieion. Atenas. 1951*



Tomada de "El dibujo como pensamiento de la arquitectura: bocetos" por Toledo, 2005.  
(<https://core.ac.uk/download/pdf/51401749.pdf>)

**Digital****Figura 23**

*Modelado de estructuras metálicas a partir de nube de puntos*



Tomada de “Modelado de estructuras metálicas a partir de nube de puntos” por Editeca, 2006.  
(<https://editeca.com/modelado-de-estructuras-metalicas-a-partir-de-nube-de-puntos/>)

¿Que son los escáneres laser LIDAR? es el acrónimo de la detección en branding que se podría traducir como medición y detección mediante el uso en pocas palabras es un sistema que nos permite medir a qué distancia se encuentran los objetos para hacerlo el sistema consta de un emisor láser que emite luz en forma de pulsos o frases la distancia al objeto se determina midiendo el tiempo que cada fotón tarda en ir del sensor a la superficie del objeto y volver al sensor de esta forma el sistema es capaz de recolectar gran cantidad de datos que son analizados por diferentes algoritmos para obtener un mapa en 3D de alta resolución del entorno que rodea a la edad por ejemplo así es como un coche autónomo gracias a este sistema que le permite una visión en 360 grados de su entorno.

## Metodología

### Enfoque de la investigación

Para determinar las dimensiones del espacio, es fundamental realizar una encuesta. Por lo tanto, este proyecto se centrará en la investigación cuantitativa para determinar las variables de cada método de levantamiento de edificios, asegurando que la mayoría de los proyectos de construcción y las técnicas de construcción convencionales utilizan geometrías ortogonales y de ángulo recto en su diseño e implementación. Esta característica facilita un poco el proceso de elevación.

### Tipo de estudio

El objetivo de este proyecto será centrarse en un análisis mayor de todas las características de los métodos de levantamiento arquitectónico actuales para determinar la viabilidad técnica y económica según necesidades las necesidades del proyecto.

### Metodología del Proyecto

Para esto se caracterizaron procedimientos manuales y tecnológicos como medidor manual con flexómetro, a su vez dispositivos móviles y laser scanner LIDAR; luego, sobre el caso de estudio se realizan mediciones con los métodos mencionados anteriormente, estableciendo rendimientos, precisión, y costo finalizando con la entrega de documentos CAD en el postproceso de digitalización 2D y 3D.

**Capítulo II Caracterización métodos de levantamiento arquitectónico.**

A continuación, se expondrán los resultados de los diferentes procedimientos ejecutados con los distintos instrumentos para un estudio de levantamiento arquitectónico realizado en un plano ortogonal (cuadrado de 10 m x 10 m) para un total de 100 m<sup>2</sup>, con grosor de muros de 0.15 m y aberturas como puerta acceso y dos ventanas; En este caso de estudio ortogonal se puede evidenciar todas y cada una de las características que brinda cada uno de los métodos mencionados anteriormente por lo que se realizó una comparación entre cada uno de ellos según su eficacia en cuanto a rendimiento y características brindadas, los parámetros son:(Rango o alcance, Error de rango, Tiempos de medición según se geometría, Transcripción a archivos CAD, Número de personas, Costo)

**Métodos de levantamiento arquitectónico**

**Tabla 1**

*Métodos de levantamiento arquitectónico, tradicional, dispositivos móvil y escáner laser LIDAR*

OBJETIVO 1 CARACTERIZACIÓN MÉTODOS DE LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO				
				
METODO TRADICIONAL	METODO TRADICIONAL	METODO TRADICIONAL	METODO DISPOSITIVOS MOVIL	METODO ESCANER LASER
LAPIZ PAPEL REGLA FLEXOMETRO	LAPIZ PAPEL REGLA FLEXOMETRO MEDIDOR LA	FLEXOMETRO MEDIDOR LA LAPTOP		
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Elaboración propia.

Figura 24

Toma de datos de tipos de levantamiento arquitectónico

	TECNOLOGIA/ CARACTERISTICAS	Rango o Alcance	Error de rango	Tiempo de medición 100 m2 regulares	Peso y tamaño	Transcripción a archivos CAD	# Personas
1	TRADICIONAL * Flexómetro * Decámetro * Tabla apoyo * lapicero)	1 - 12 m flexo. 1 - 50 m deca.	PANDEO +/- 20 mm	16 puntos perimen. En 120 seg	0.5 kg flexo. 0.3 kg tabla. 1.2 kg deca.	2.25 min	1-3
2	TRADICIONAL * Flexómetro * Metro laser * Tabla apoyo * lapicero)	1 - 12 m flexo. 1 - 50 m deca. 1 - 40 m laser	PANDEO +/- 20 mm  LASER +/- 0.02 mm	16 puntos perimetral En 90 seg	0.5 kg flexo. 0.3 kg tabla. 0.7 kg mt laser	2.25 min	1-3
3	TRADICIONAL * Flexómetro * Metro laser * Computador * lapicero)	1 - 12 m flexo. 1 - 50 m deca. 1 - 40 m laser	PANDEO +/- 0.02 mm	16 puntos perimetral En 90 seg	0.5 kg flexo. 0.3 kg tabla. 1.2 kg mt laser 5 kg computador	Inmediata	1-3
4	DISPOSITIVO MOVIL * smartphones * tabletas	1 - 12 m flexo. Desde punto fijo	Movimiento de escaneo +/- 30 mm	16 puntos perimetral En 60 seg	1.4 smartphone 1.6 tablet	Inmediata efectuando el pago en un archivo OBJ. o 1.48 min de plano a autocad	1
5	ESCANEAO LASER * FARO FocusS 350 * Artec Ray * 3D Leica RTC360	0.6 - 350m	± 1mm	hasta 976,000 puntos/ segundo	4,2 kg	1.32 minutos exportando nuebe de puntos a software.	1

Elaboración propia.

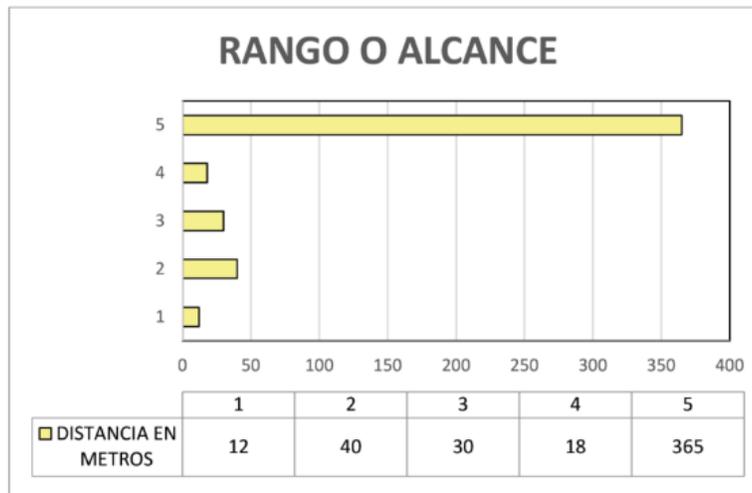
En la figura No 21 encontrara los tres métodos para levantamientos arquitectónico, donde el tradicional tiene tres opciones de toma de datos por su versatilidad en campo, estos a su vez se compararon en términos de rendimiento y efectividad, dando como resultado unas graficas en las que se evidencia cual es el más efectivo según el estudio requerido.

Estas fueron las conclusiones:

## Rangos de alcance y rendimiento según caracterización de cada método

Figura 25

Rango o alcance según caso hipotético, elaboración propia

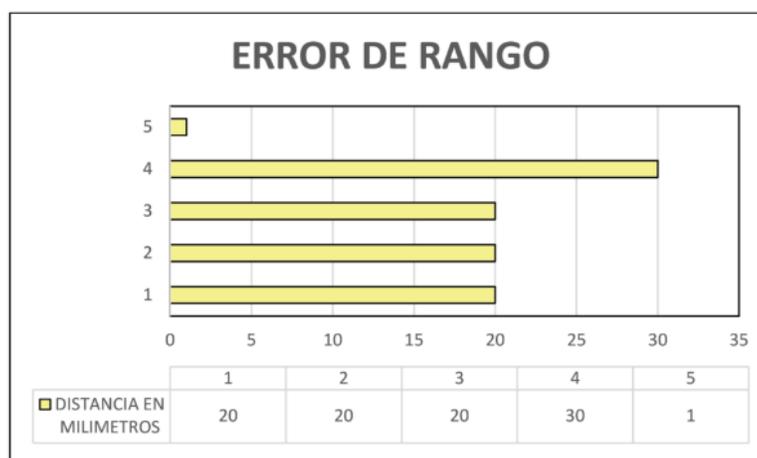


Elaboración propia

El método con mayor alcance es el escáner laser con un rango de hasta 350 metros de alcance con un rango de escaneo con puntos infrarrojos con un rango de 360 grados, con lo que los otros métodos no cuentan. Así mismo se evidencia que el método con menor alcance es el tradicional con un alcance máximo de 12 metros, esto sin tener en cuenta que el máximo de extensión de flexómetro para una sola persona es de 2.5 metros como máximo con un rango en un plano únicamente en 2D.

Figura 26

Error de rango según caso hipotético, elaboración propia

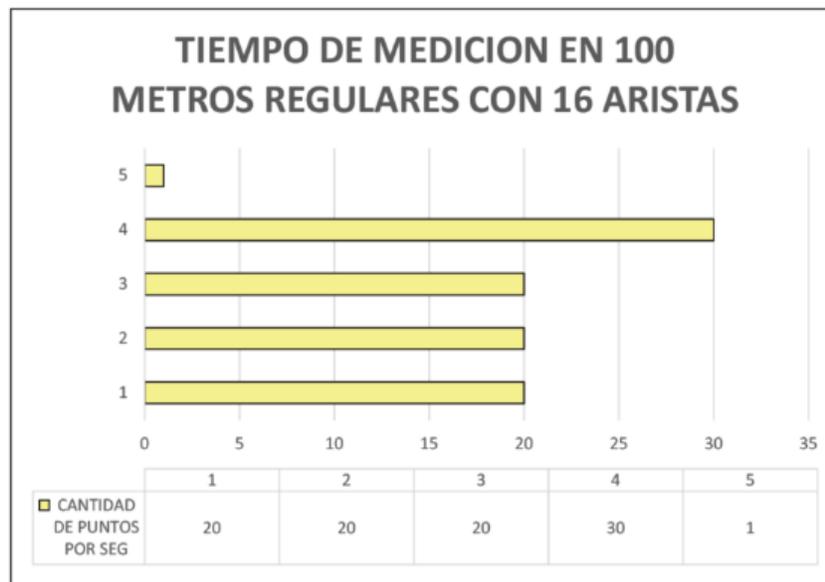


Elaboración propia

En este caso en la figura 26 el error de rango se encuentra entre 0.002 mm a 30 mm encontrando tres métodos en igualdad con error de rango de 20 mm, la diferencia se encuentra en método de dispositivo móvil con el mayor error de rango el cual es de 30 mm y el método de escaneo laser con un error de rango de 0.02 mm

### Figura 27

*Tiempo de medición según caso hipotético, elaboración propia*



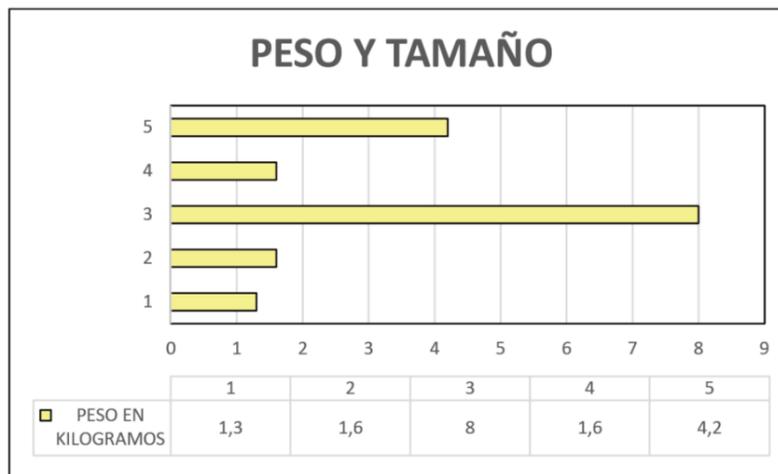
Elaboración propia.

El método en la figura 27 con mayor efectividad en tiempos de ejecución es el dispositivo móvil frente a los métodos tradicionales y escaneo laser, en vista que este es el único que lo realiza de forma inmediata a medida que el levantamiento avanza.

Elaboración propia.

**Figura 28**

Transcripción de información según caso hipotético, elaboración propia

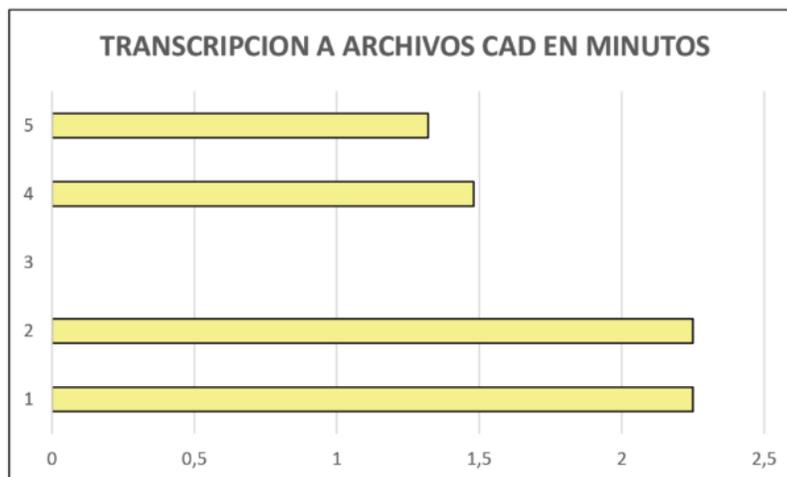


Elaboración propia.

En este caso el método tradicional con herramienta de computador para alzado es el que más peso tiene en vista que a medida que avanza el levantamiento este hay que realizarlo con un computador portátil para que el levantamiento se ejecute simultáneamente

**Figura 29**

Transcripción de información según caso hipotético, elaboración propia



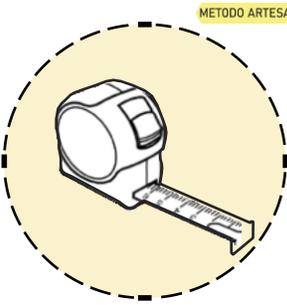
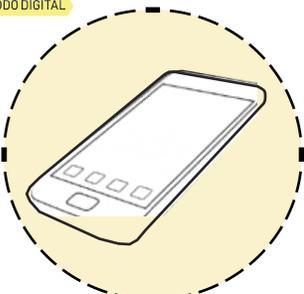
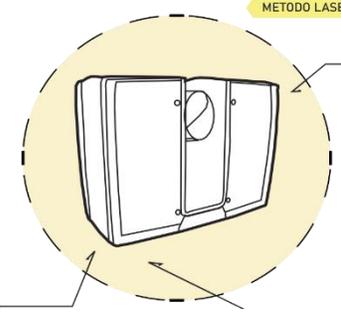
Elaboración propia.

El método con mayor efectividad a la hora de transcripción es el tradicional con computador en vista que es al instante, esto con respecto a al escaneo laser y tradicional a mano alzada ya que

cualquiera de los dos necesita un post procesado el láser a una nube de puntos y el otro la transcripción a archivos CAD.

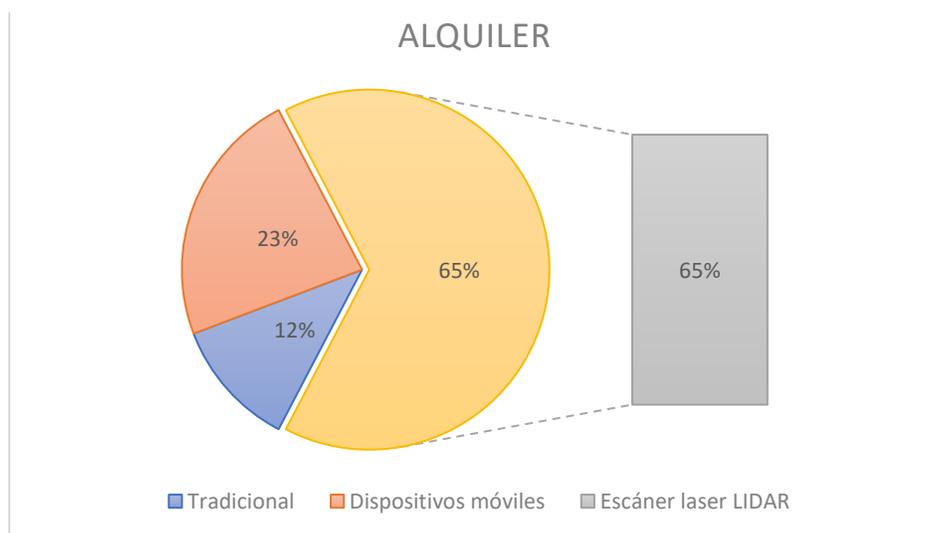
**Costo alquiler métodos de levantamiento arquitectónico**

**Tabla 2**  
Costo alquiler día de métodos de levantamiento arquitectónico.

PRECIO DIA ALQUILER MÉTODOS LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO (pesos Col)		
Tradicional	Dispositivos móviles	Escáner laser LIDAR Focus X 330 HDR
		
<p><b>Día = 250.000 pesos Col</b> Este método se puede ejecutar sin necesidad de alquiler</p>	<p><b>Día = 500.000 pesos Col</b></p>	<p><b>Día = 1.413.090,92 pesos Col</b> <a href="https://ingeocar.com/alquiler/">https://ingeocar.com/alquiler/</a></p>

Elaboración propia.

**Figura 30**  
Porcentaje de costo alquiler día métodos de levantamiento arquitectónico.



Elaboración propia.

### Capítulo III Evaluación según Caso de estudio representativo

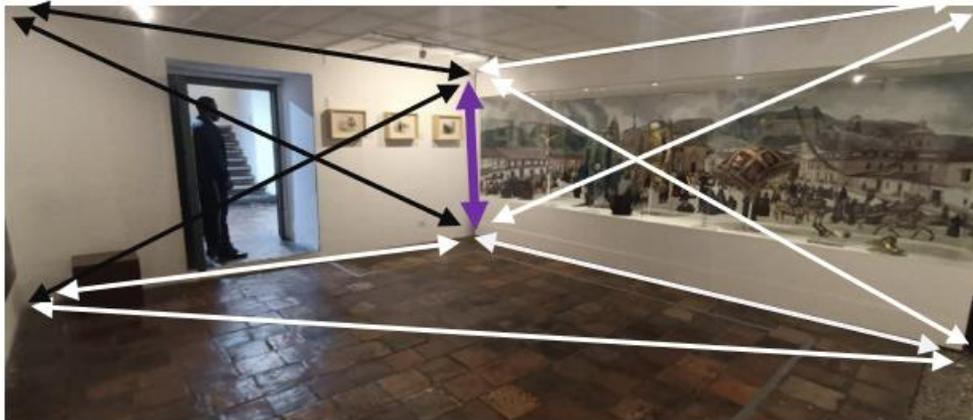
#### Museo de la Independencia - Casa del Florero

El caso de estudio es el Museo de la Independencia - Casa del Florero, es un museo de Bogotá, que se ubica en carrera séptima con calle 11, en la esquina noreste de la Plaza de Bolívar, Colombia construido a mediados de siglo XVI, Durante este período se siguieron construyendo casas con una combinación de bahareque, tierra, ladrillo y piedra, con techos de madera cubiertos de paja o tejas, aunque algunas se construyeron íntegramente con paredes de ladrillo y roca. Sin embargo, la falta de parámetros para construcción en esta época, ocasionó que muchas de estos inmuebles que quedaron en pie, hoy en día carezcan de planos regulares por lo que, a la hora de realizar una exploración o reconocimiento del predio, sea un trabajo arduo, poco preciso y cotoso dependiendo el método. Por lo que poner a prueba los métodos de levantamiento arquitectónico en este predio es de suma importancia y por ende se realizaron estudios con cada uno de ellos.

Ubicación espacial.

#### Figura 31

*Proceso de tomada de medidas, caso de estudio.*

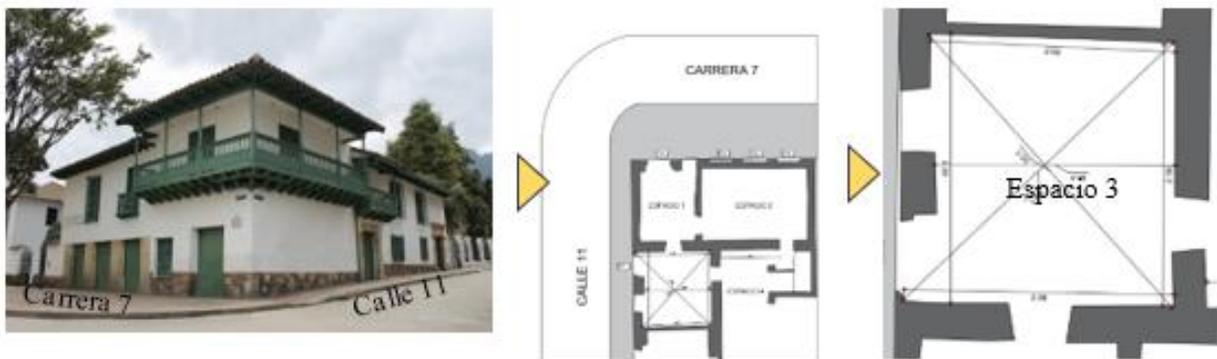


Elaboración propia.

Para realizar la comparación de cada uno de los métodos se realizaron 20 tomas de medias, tanto internas como externas; en las internas se tomaron medidas como escuadras con medidor laser, alturas, longitudes de muros y dimensión de detalles de mobiliario; hacia la fachada se tomaron medidas de longitud de muros y alturas. En todas las medidas se evidencio un error de rango de los dispositivos móviles de 20 a 107 mm promedio, frente a los métodos tradicionales con un error de rango de 0 a 75 mm promedio.

**Figura 32**

*Museo de la independencia casa del florero, planta arquitectónica elaboración propia*



Elaboración propia.

Ahora bien, en la tabla No 3 se encuentra la comparación de los tres métodos según la longitud obtenida de de cada uno, esto re ejecuto en la misma distancia para cada uno, este proceso se realizó 34 veces como se refleja en la tabla No 4.

Toma de medidas de un mismo espacio.

**Tabla 3**

En la siguiente tabla se evidencia la diferencia de 107 mm de los dispositivos móviles frente a LIDAR y frente al tradicional de 98 mm.

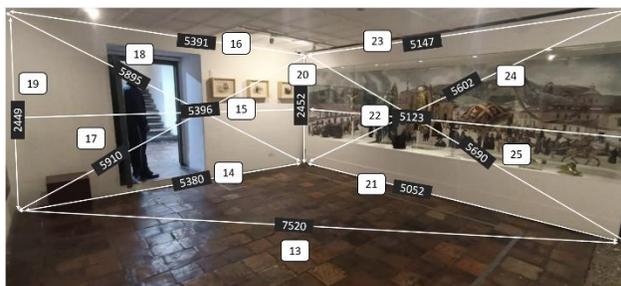
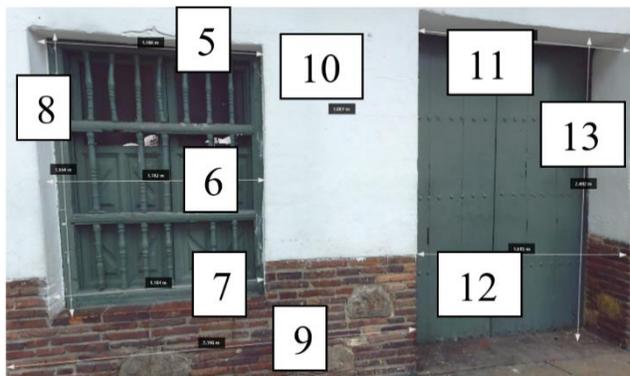
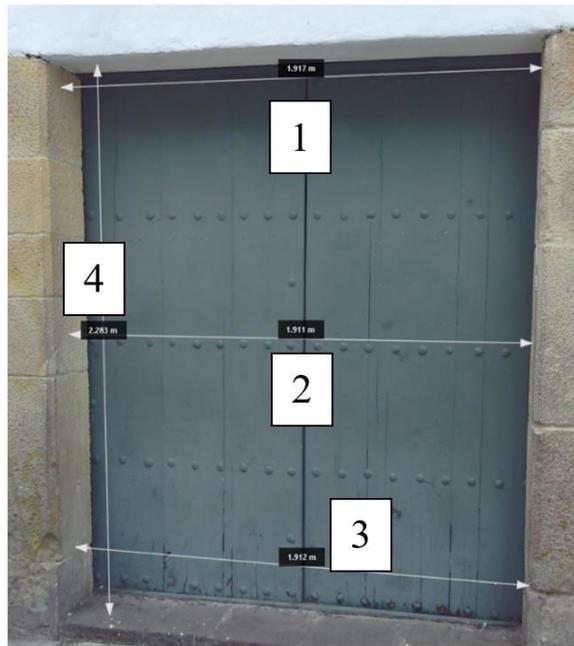
TOMA DE MEDIDA FACHADA	
<p>METODO DIGITAL</p>	
<p>METODO LASE</p>	

Elaboración propia.

Toma de medidas en milímetros según métodos.

**Tabla 4**  
Toma de medidas en milímetros según método

TOMA DE MEDIDAS EN MILÍMETROS SEGÚN MÉTODO



	TRADICIONAL	D. MÓVILES	ESCÁNER
1	1917	1873	1915
2	1911	1877	1913
3	1912	1904	1912
4	2283	2320	2282
5	1186	1201	1187
6	1182	1207	1183
7	1164	1146	1166
8	1554	1582	1551
9	2396	2412	2395
10	1007	1081	1009
11	1729	1756	1727
12	1615	1661	1613
13	2402	2445	2401
14	5380	5435	5383
15	5396	5381	5394
16	5391	5475	5393
17	5910	5452	5912
18	5895	5756	5894
19	2449	2403	2447
20	2452	2486	2451
21	5052	5084	5055
22	5123	5189	5124
23	5147	5147	5145
24	5602	5589	5604
25	5690	5712	5692
26	5982	5991	5984
27	2456	2462	2458
28	2461	2489	2464
29	6448	6434	6447
30	6462	6383	6466
31	1345	1384	1346
32	1323	1398	1325
33	1956	1936	1959
34	1953	1902	1956

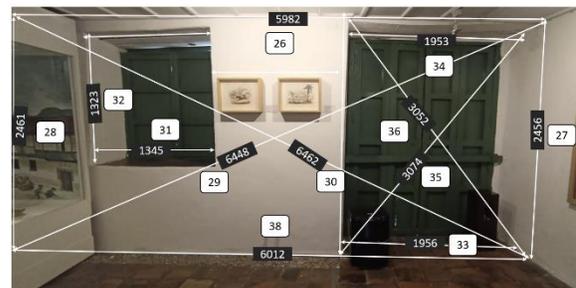


Tabla 5

Tabla de diferenciación numérica

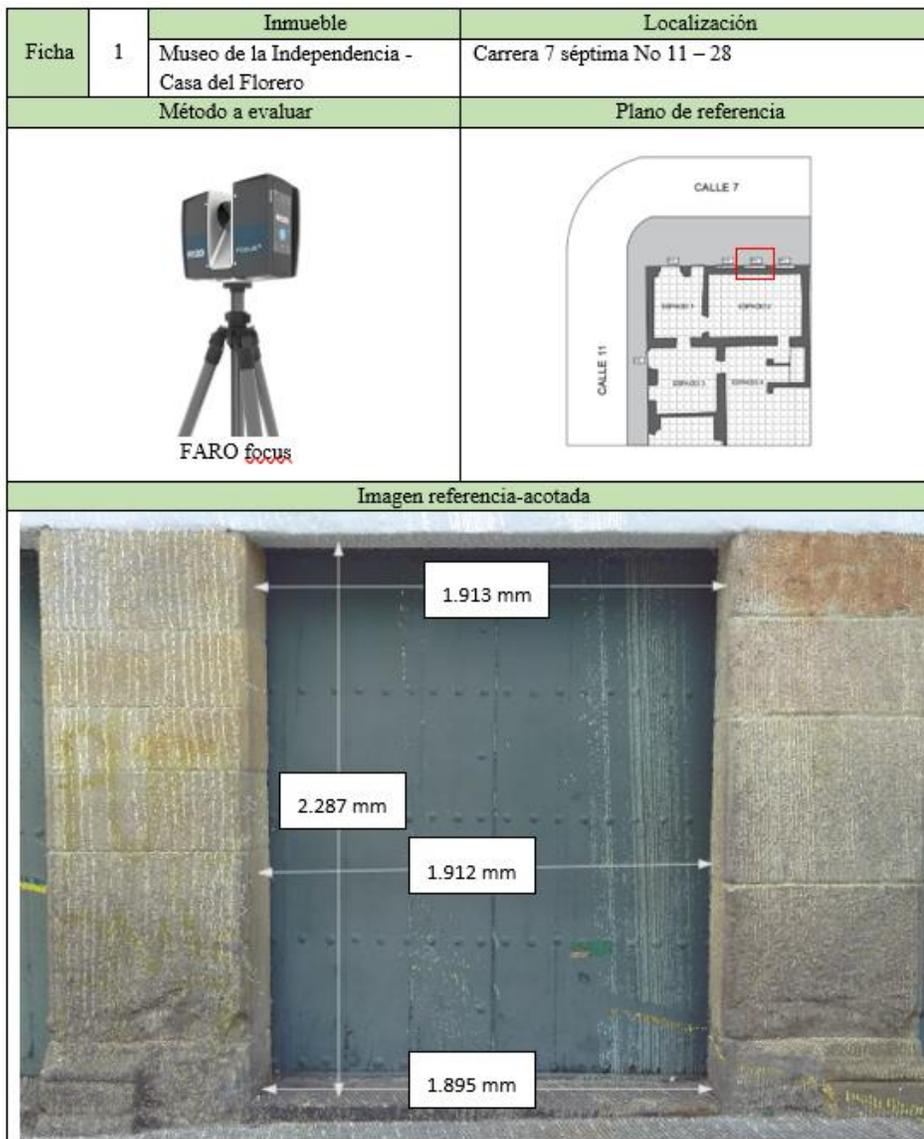
	LASER - TRADICIONAL	LASER - D. MÓVILES	D. MÓVILES - TRADICIONAL	TRADICION AL-LASER	TRADICIONAL-D. MÓVILES
1	2	-44	-42	-2	42
2	-2	-34	-36	2	36
3	0	-8	-8	0	8
4	1	37	38	-1	-38
5	-1	15	14	1	-14
6	-1	25	24	1	-24
7	-2	-18	-20	2	20
8	3	28	31	-3	-31
9	1	16	17	-1	-17
10	-2	74	72	2	-72
11	2	27	29	-2	-29
12	2	46	48	-2	-48
13	1	43	44	-1	-44
14	-3	55	52	3	-52
15	2	-15	-13	-2	13
16	-2	84	82	2	-82
17	-2	-458	-460	2	460
18	1	-139	-138	-1	138
19	2	-46	-44	-2	44
20	1	34	35	-1	-35
21	-3	32	29	3	-29
22	-1	66	65	1	-65
23	2	0	2	-2	-2
24	-2	-13	-15	2	15
25	-2	22	20	2	-20
26	-2	9	7	2	-7
27	-2	6	4	2	-4
28	-3	28	25	3	-25
29	1	-14	-13	-1	13
30	-4	-79	-83	4	83
31	-1	39	38	1	-38
32	-2	75	73	2	-73
33	-3	-20	-23	3	23
34	-3	-51	-54	3	54
SUMATORIA	-22	-178	-200	22	200
PROMEDIO	-0,65	-5,24	-5,88	0,65	5,88

Elaboración propia.

### Ficha representativa de toma específica

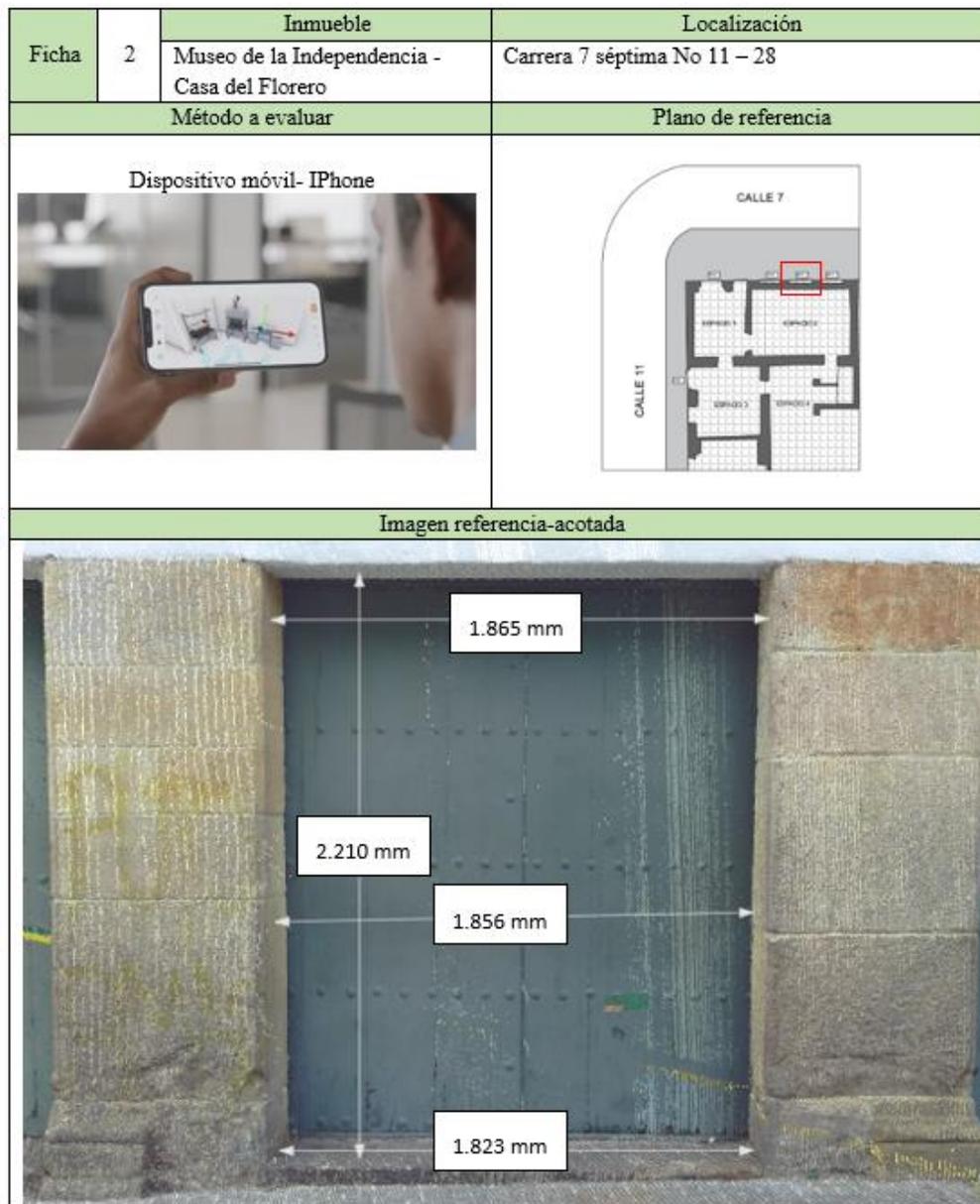
**Figura 33**

*Toma de medida con método laser.*



Elaboración propia

En la figura 33 podemos observar la toma de medidas por el método de escáner laser LIDAR, según el escaneo la nueve de puntos establecido unas distancias las cuales se midieron en el programa Re-Cap, donde logramos observar exacta precisión del método, verificándolo ya en situ con un flexómetro.

**Figura 34***Toma de medida con método dispositivo móvil*

Elaboración propia.

En la figura 34 se encuentra como se realizó la toma de medidas del mismo espacio analizado para cada método, para este caso en específico se realizó con el dispositivo iphone 13, ya que esta cuenta láser infrarrojo LIDAR, sin embargo, estos carecen de precisión como lo observamos en la imagen según la comparación a la toma de medidas in-situ.

**Figura 35**

*Toma de medida con método tradicional.*



Elaboración propia.

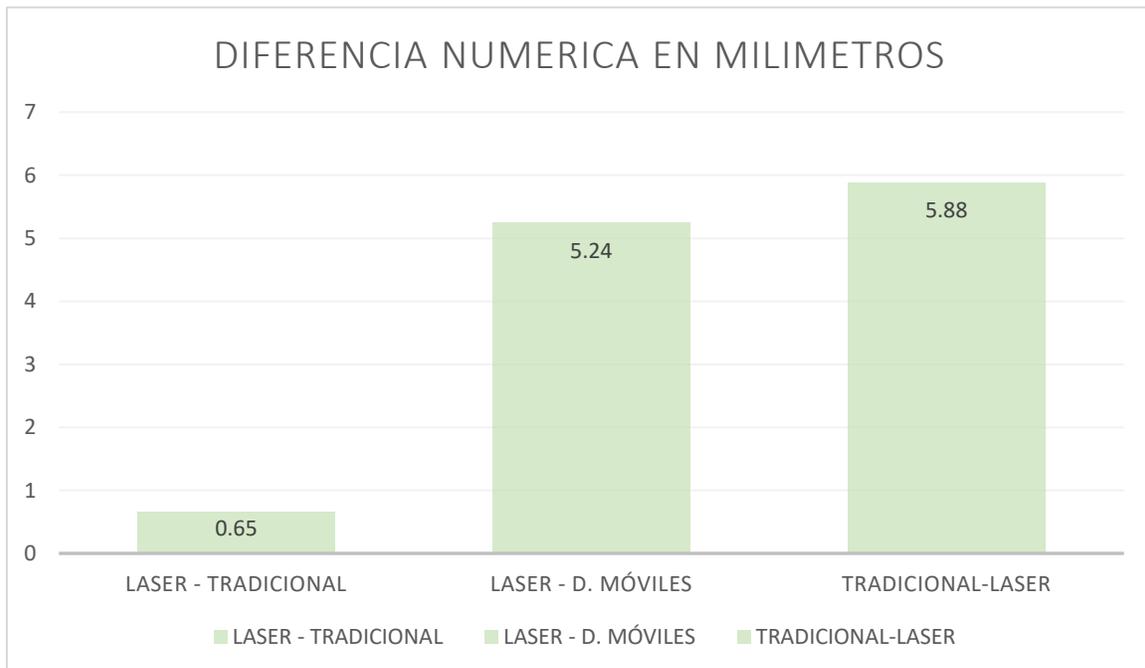
En la figura 35 podemos observar como se ejecuto de manera artesanal o tradicional el levantamiento de el espacio establecido, este método frente a los otros es el mas preciso si se ejecuta con las herramientas necesarias como lo son el láser de mano y flexómetro para verificación.

### Capítulo IV Comparación de métodos de levantamiento arquitectónico

#### Diferencia numérica en milímetros entre métodos

**Figura 36**

*Diferencia numérica en milímetros*



Elaboración propia.

La siguiente tabla tiene 3 variables las cuales son los métodos de levantamiento arquitectónico, estos a su vez tienen otras seis variables las cuales fueron comparadas, según cada variable se estableció un rango de 0 a 100 según su característica, por ejemplo en rango o alcance se tomó 300 metros como el 100 % el cual es el mayor alcance que tienen los tres métodos; según este rango se tomaron los datos de los tres métodos y se dividieron en tres porcentajes según su característica, en este caso seguido el ejemplo, 40 metros para métodos tradicionales eso corresponde al 13.33% de alcance sobre el 100%. Seguido de esto se sumaron los seis porcentajes de las variables, y se dividieron sobre el número de variables. Para establecer el porcentaje de efectividad según la característica que ofrece cada método

La siguiente tabla tiene 3 variables las cuales son los métodos de levantamiento arquitectónico, estos a su vez tienen otras seis variables las cuales fueron comparadas, según cada variable se estableció un rango de 0 a 100 según su característica, por ejemplo en rango o alcance se tomó 300 metros como el 100 % el cual es el mayor alcance que tienen los tres métodos; según este rango se tomaron los datos de los tres métodos y se dividieron en tres porcentajes según su característica, en este caso seguido el ejemplo, 40 metros para métodos tradicionales eso corresponde al 13.33% de alcance sobre el 100%, seguido de esto se sumaron los seis porcentajes de las variables, y se dividieron sobre el número de variables. Para establecer el porcentaje de efectividad según la característica que ofrece cada método.

### Efectividad para captura de datos

**Tabla 6**

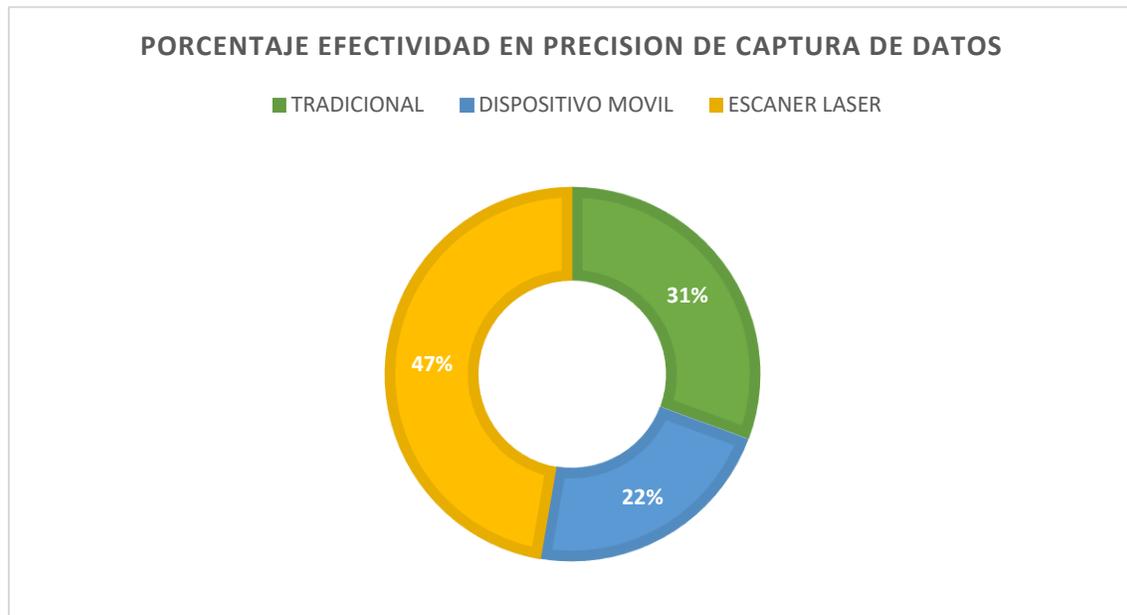
*Cuadro efectividad de captura de datos*

CUADRO DE EFECTIVIDAD PARA CAPTURA DE DATOS							
	RANGO O ALCANCE	ERROR DE RANGO	TIEMPO DE MEDICION CASO DE ESTUDIO	PESO Y TAMAÑO	TRANSCRIPCION A ARCHIVOS CAD	# DE PERS	EFECTIVIDAD %
<b>RANGOS /METODO</b>	0 – 300 m	0 – 6 mm	0 – 8 horas	0 – 10 kg	0 – 60 min	0 – 3 perso	TOTAL%
<b>MANUAL</b>	0-40	0-2	0- 8	0- 1,5	0	0- 3	261,66 % /6
	<b>13,33 %</b>	<b>33,33 %</b>	<b>100 %</b>	<b>15 %</b>	<b>0 %</b>	100 %	<b>43,61 %</b>
<b>DIGITAL</b>	0- 8	0-6	0- 0.2	0- 3	0-12	1	188,5 % /6
	<b>2,67 %</b>	<b>100 %</b>	<b>2,5 %</b>	<b>30 %</b>	<b>20 %</b>	33,33 %	<b>31,41 %</b>
<b>LASER</b>	0- 300	0-2	0- 3	0- 10	0- 60	1	404,16 % /6
	<b>10 %</b>	<b>33,33 %</b>	<b>37,5 %</b>	<b>100 %</b>	<b>100 %</b>	33,33 %	<b>67,36 %</b>

Elaboración propia.

**Figura 37**

Porcentaje efectividad en precisión según caso de estudio, elaboración propia.

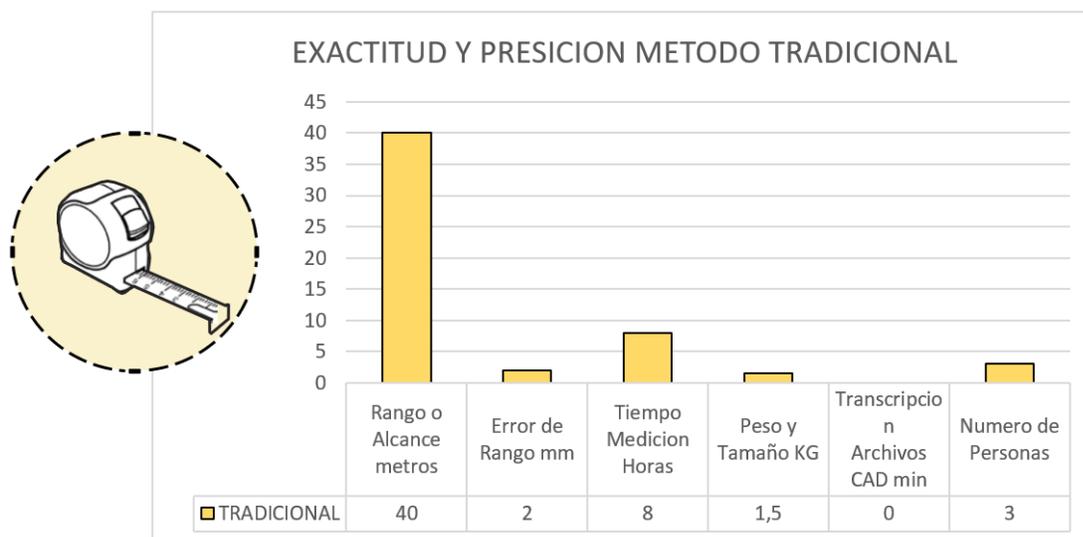


E Elaboración propia.

El resultado de la comparativa muestra que para la captura de datos el método más efectivo es el escáner laser LIDAR con un 47 % sobre un 31 de los métodos tradicionales y un 27 por ciento de los dispositivos móviles.

**Figura 38**

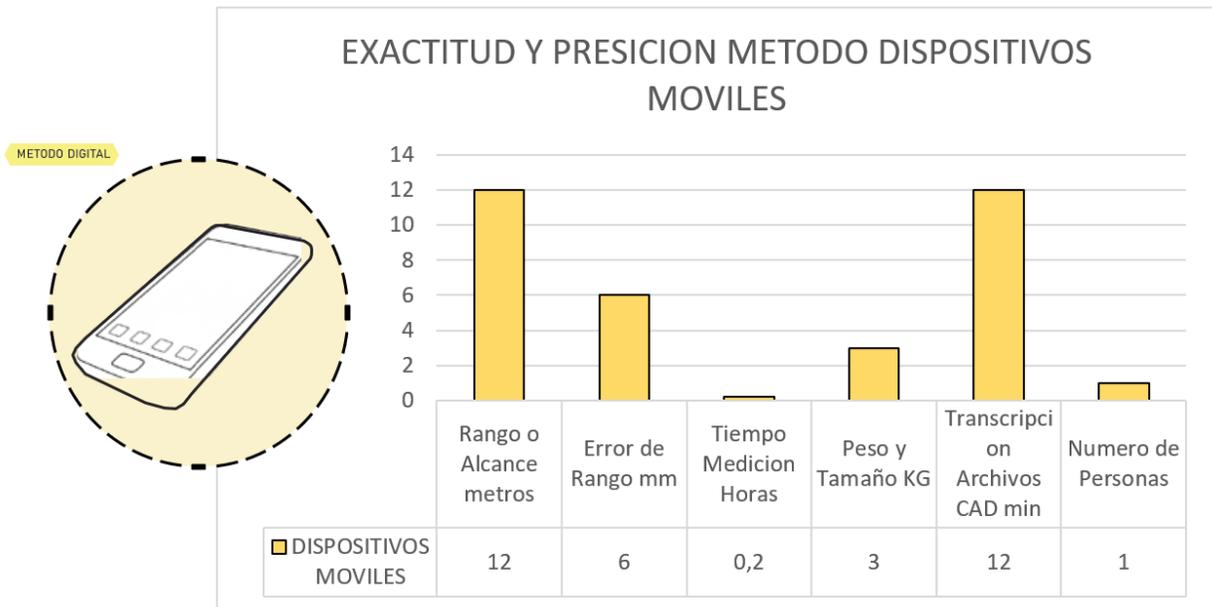
Porcentaje efectividad en precisión método tradicional según caso de estudio, elaboración propia



Elaboración propia.

**Figura 39**

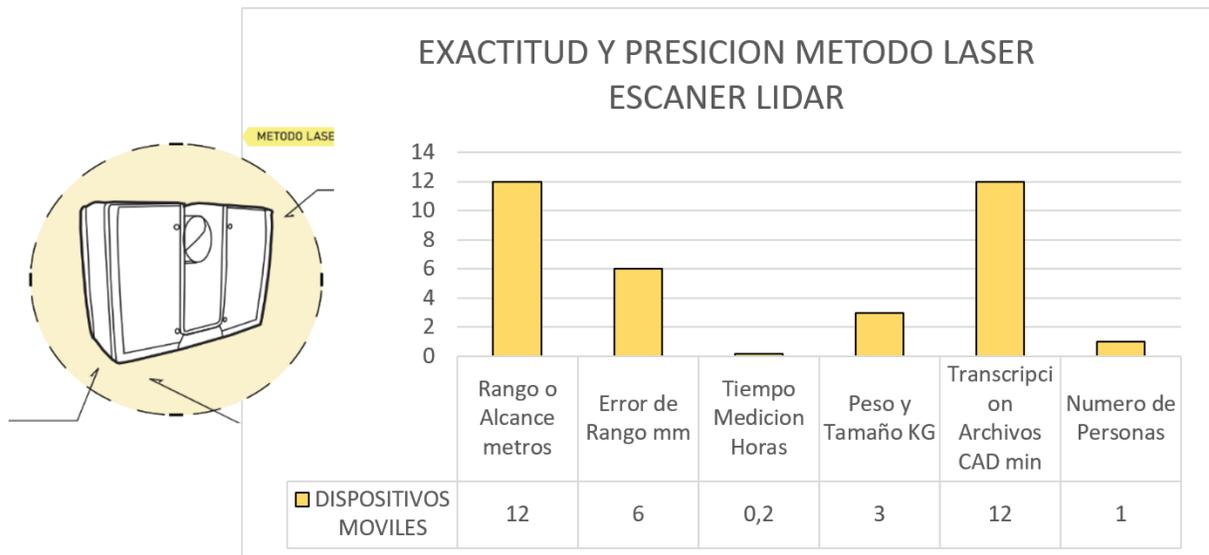
Porcentaje efectividad en precisión método Dispositivos móviles según caso de estudio, elaboración



Elaboración propia.

**Figura 40**

Porcentaje efectividad en precisión método Escáner laser LIDAR según caso de estudio, elaboración propia



Elaboración propia.

**Capítulo V Desarrollo se herramienta para identificación de método para levantamiento arquitectónico.**

Según la toma de medidas del espacio número 3 se establecieron tres variables de medición según su nivel de entrega y detalle siendo el nivel A el que mayor detalle tiene y disminuyendo hasta el C, por lo que estos niveles se dividen en ejemplo según el plano de la ilustración 14:

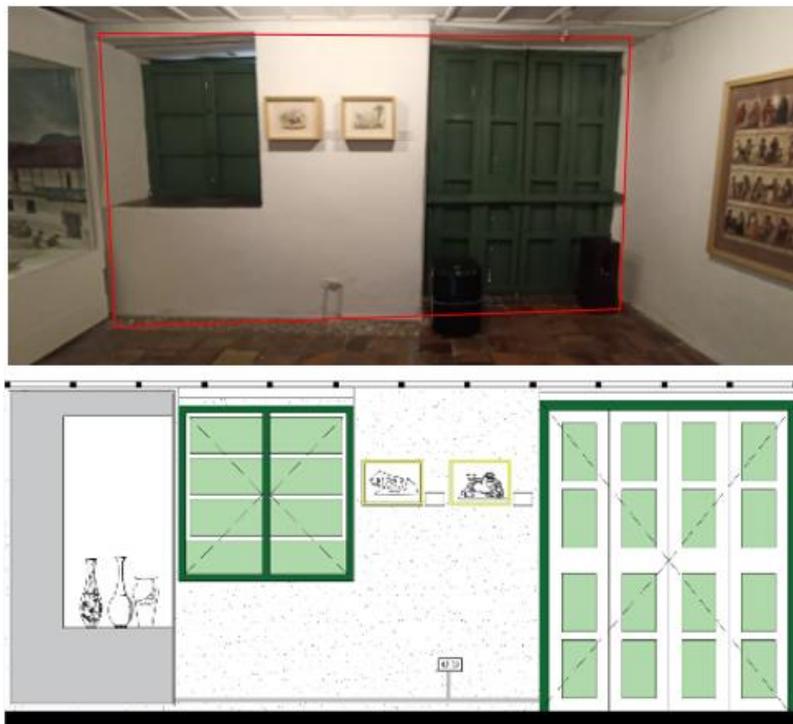
Nivel de detalle A

Nivel de detalle B

Nivel de detalle C

**Figura 41**

*Alzado costado sur hacia calle 11*



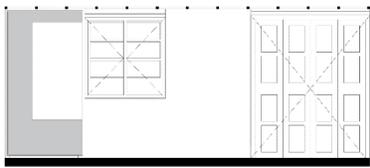
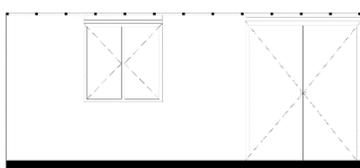
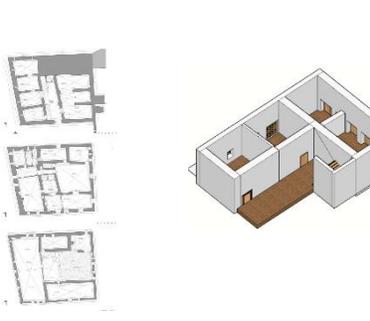
Elaboración propia.

En la tabla No 7 se encuentra el nivel de detalle de los entregables según el tipo de levantamiento requerido por el solicitante en este caso se divide en tipos A, B y C, esta tabla será de mayor importancia en el proceso más adelante.

Nivel de detalle levantamiento entregables

Tabla 7

Nivel de detalle levantamiento entregables

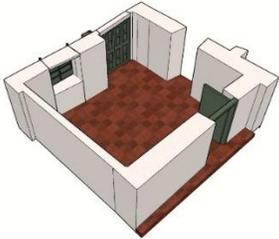
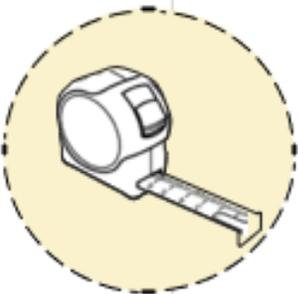
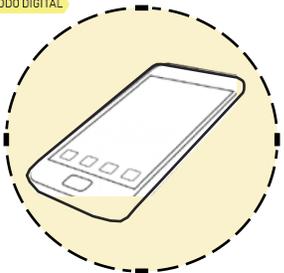
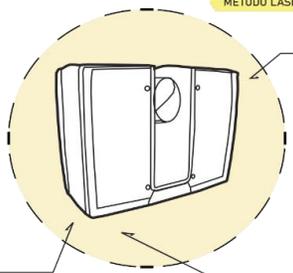
Nivel de detalle levantamiento entregables		
A	B	C
		
		
Planimetría (Información gráfica que refleja el estado actual del edificio.)		
LOD 400.	LOD 300.	LOD 200.
FACHADAS ALZADOS CORTES PLANTAS	ALZADOS PLANTAS	PLANTAS
Modelo BIM (opcional)		
SI	SI	No
Publicación formato archivo		
RCP. OBJ. RVT. SKP.	RCP. OBJ. RVT. SKP.	DWG.
Reporte fotográfico (Fotografías del edificio y plano de ubicación de la cámara)		
SI	SI	SI

Elaboración propia.

Comparativa de entrega de detalles según método de levantamiento

**Tabla 8**

*Tabla comparativa de entrega de detalle según método de levantamiento*

Tabla comparativa de entrega de detalle según método de levantamiento		
 AXONOMETRICO ESPACIO N°3 = 74.4 M3	Tiempo en horas	Nivel de detalle
		A B C
Tradicional	16 HORAS	A
	6 HORAS	B
	1 HORA	C
	Dispositivos móviles	12 HORAS
	4 HORAS	B
	1 HORA	C
	Escáner laser LIDAR	8 HORAS
	2 HORAS	B
	1/2 HORA	C

Elaboración propia.

**Matrices para Identificación de tipo de levantamiento**

Para la identificación del tipo de levantamiento es necesario desarrollar una serie de matrices las cuales están sujetas múltiples variables con diferente unidad de medida como tiempo y unidad de media en metros.

**Tabla 9**

*Matriz para identificación de método para levantamientos arquitectónico*

<b>Matriz</b>			
<b>Rango m3/Detalle</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0 - 200	L + T	T + D	T + D
201 - 1000	D + L	T + D	T + D
1001 - 3000	T + D + L	T + D	T + D
3001 - 5000	T + D + L	L + T	T + D
5001 - 10000	T + D + L	L + T	L

<b>Escaneo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0 - 200	125	250	500
201 - 1000	500	1000	2000
1001 - 3000	792.5	1585	3170
3001 - 5000	1500	3000	6000
5001 - 10000	1080	2160	4320

<b>Modelado</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
0 - 200	90	180	360
201 - 1000	250	500	1000
1001 - 3000	302.5	605	1210
3001 - 5000	552.5	1105	2210
5001 - 10000	427.5	855	1710

Elaboración propia

En la tabla No 9 se lo gran ver matrices las cuales hacen referencia al tipo de método de levantamiento arquitectónico, el escaneo de lugar con métodos y modelado a partir del escaneo, esto con el fin de hallar el tipo de levantamiento que debo utilizar según el rango en m3 y el nivel de detalle el cual esta explicado en la tabla No 7. (Nivel de detalle levantamiento entregables).

**Tabla 10***Tabla de tiempo en minutos y nivel de detalle según*

<b>Tabla de tiempo en minutos y nivel de detalle según m3</b>				
<b>Método</b>	<b>M3</b>	<b>Nivel de detalle</b>	<b>Tiempo escaneo minutos</b>	<b>Tiempo modelado minutos</b>
T + D	0 - 200	C	500	360
T + D	201 - 1000	C	2000	1000
T + D	1001 - 3000	C	3170	1210
T + D	3001 - 5000	C	6000	2210
L	5001 - 10000	C	4320	1710

<b>Método</b>	<b>M3</b>	<b>Nivel de detalle</b>	<b>Tiempo escaneo minutos</b>	<b>Tiempo modelado minutos</b>
T + D	0 - 200	B	250	180
T + D	201 - 1000	B	1000	500
T + D	1001 - 3000	B	1585	605
L + T	3001 - 5000	B	3000	1105
L + T	5001 - 10000	B	2160	855

<b>Método</b>	<b>M3</b>	<b>Nivel de detalle</b>	<b>Tiempo escaneo minutos</b>	<b>Tiempo modelado minutos</b>
L + T	0 - 200	A	125	90
D + L	201 - 1000	A	500	250
T + D + L	1001 - 3000	A	792.5	302.5
T + D + L	3001 - 5000	A	1500	552.5
T + D + L	5001 - 10000	A	1080	427.5

Elaboración propia

Esta tabla permite encontrar fácilmente los valores según su metraje y rango en minutos Para entender estos análisis y aplicarlos en un proyecto, en la tabla No 9 se catalogaron los tipos de levantamiento arquitectónico y a su vez la cantidad de metros cuadrados del para la identificación del tipo de levantamiento según las siguientes matrices.

**Tabla 11***Tabla de tiempo de escaneo en segundos.*

<b>Tabla de tiempo de escaneo en segundos</b>	
<b>Tiempo escaneo segundos</b>	<b>Tiempo modelado segundos</b>
30000	21600
120000	60000
190200	72600
360000	132600
259200	102600

<b>Tiempo escaneo segundos</b>	<b>Tiempo modelado segundos</b>
15000	10800
60000	30000
95100	36300
180000	66300
129600	51300

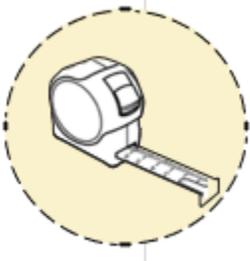
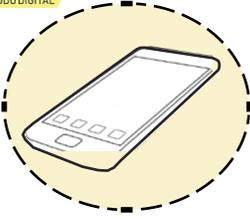
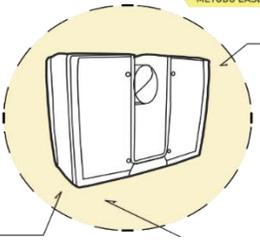
  

<b>Tiempo escaneo segundos</b>	<b>Tiempo modelado segundos</b>
7500	5400
30000	15000
47550	18150
90000	33150
64800	25650

Elaboración propia

La tabla No 11 marca el tiempo en segundos esto con el fin de tener una unidad global para su futura conversión a minutos, horas o días. Esta tabla evidencia el tiempo de escaneo y modelado los cuales son la base de un levantamiento arquitectónico, ya que cada método se desempeña de manera diferente según según el escaneo o levantamiento, esto a su vez depende del estado del levantamiento si sus muros son regulares o irregulares.

**Tabla 12**  
Parámetros de categoría de datos

Parámetros de diferentes categorías de datos 1 = valor bajo, 2 = valor medio, 3 = valor alto												
Métodos de levantamiento	Captura de datos Parámetros						Interpretación de datos Parámetros					
	Precisión	Costo	Tiempo	Labor	Tecnología	Facilidad de uso	Precisión	Costo	Tiempo	Labor	Tecnología	Facilidad de uso
Tradicional 	1	1	2 3	1 2	1	1	1 2	1	1 2	1 2	1	1
Dispositivos móviles <small>METODO DIGITAL</small> 	1	1	1	1 2	2	2 3	1	2 3	3	3	1	1
Escáner laser LIDAR <small>METODO LASE</small> 	3	3	1 2	1	3	1	1 2	1 2	2	2	1	2

Elaboración propia

## Resultados

### Identificación de tipo de levantamiento

Ahora bien, para la identificación del levantamiento se desarrollaron una serie de pasos, los cuales son clave seguir según lo indicado “paso #” ya que en el paso 1 el cliente especifica los m<sup>2</sup> de la edificación, en el siguiente paso (paso 2) el interesado ingresa la altura de la edificación; automáticamente en el “paso 3” se refleja los m<sup>3</sup> de la edificación ( los m<sup>3</sup> son ya que los levantamientos en su mayoría se ejecutan en los ejes X, Y y Z ) seguido de esto el interesado se encuentra con un cuadro el cual especifica (Rango m<sup>3</sup> y Nivel de detalle) en este punto el interesado debe seleccionar un rango según los m<sup>3</sup>, los cuales están distribuidos de la siguiente manera: (0-200, 201 – 1000, 1001 – 3000, 3001 – 5000, 5001 – 10000)

#### Figura 42

*Paso 1 Consulta y adjunto de datos*

PASO 1	PASO 2	PASO 3
Digite m <sup>2</sup> edificación	Digite altura edificación	seleccione rango en casilla Rango m <sup>3</sup>
m <sup>2</sup>	Digite Altura edificación	M <sup>3</sup>
658	2.5	1645

<b>Rango m<sup>3</sup></b>
201 - 1000
<b>Nivel de detalle</b>
B

Elaboración propia

Ya seleccionado el rango en m<sup>3</sup>, se procede a selección del nivel detalles el cual se encuentra la pestaña “Nivel detalle” donde encontrara el nivel de de detalle para levantamientos arquitectónicos seleccionado estos en tipo A, B y C, donde A es el que desarrolla mayor nivel de detalles con planimetría de hasta LOD 300, el tipo B alcanza un nivel de detalle de LOD 200, el tipo C desarrolla un nivel LOD 100, alcanzado el menor nivel de detalle únicamente con plantas y alzados básicos para identificación de edificación.

**Figura 43**  
Base de datos, Nivel de detalle.

Nivel de detalle levantamiento entregables		
A	B	C
Planimetría (Información gráfica que refleja el estado actual del edificio.)		
LOD 300	LOD 200	LOD 100
LOD 300: Modelo de pre-construcción. El nivel de detalle aumenta para poder identificar accesorios.	LOD 200: Modelo en desarrollo de diseño, tamaños, formas, ubicación, etc.	LOD 100: Modelo conceptual para definir todo el edificio en conjunto incluyendo volúmenes y áreas básicas.
FACHADAS	ALZADOS	PLANTAS
ALZADOS	PLANTAS	
CORTES		
PLANTAS		
Modelo BIM (opcional)		
SI	SI	No
Publicación formato archivo		
RCP. TWS.	RCP.	DWG.
OBJ. LUM.	OBJ.	
RVT. ENC.	RVT.	
SKP.	SKP.	

Elaboración propia

Ya identificados el rango en m3 y el nivel de talles, el programa automáticamente desplegara un resultado para la recomendación de tipos de levantamiento a utilizar según los datos seleccionados como se logra ver la siguiente figura

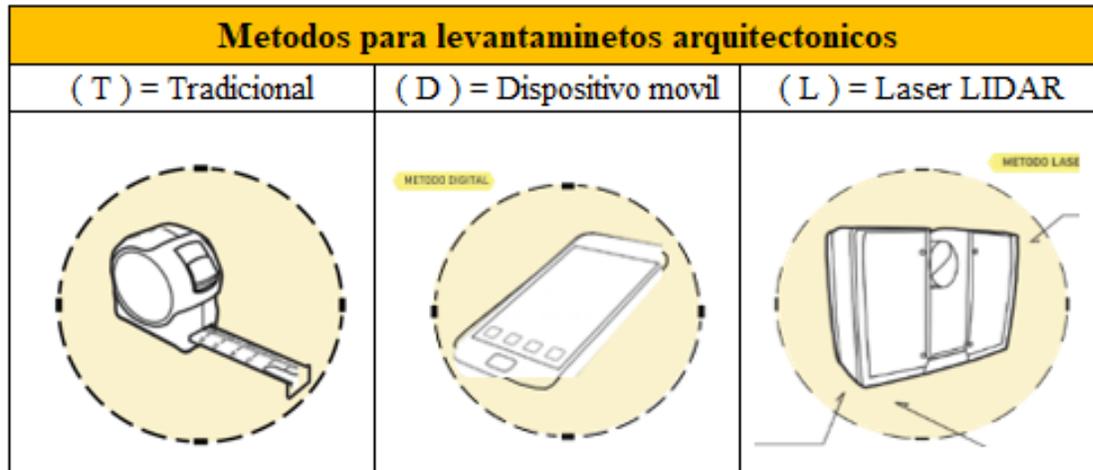
**Figura 44**  
Resultados y recomendación método levantamiento Arq.



Elaboración propia

En la figura No 38 se encuentran estas letras (“T” – TRADICIONAL, “D” – DIGITAL, “L” – LIDAR ESCÁNER, Son las iniciales del tipo de levantamiento; este programa identificara cuales son los métodos se pueden combinar para un mejor rendimiento y efectividad.

**Figura 45**  
Métodos para levantamiento Arq.



Elaboración propia

En la figura 39 se evidencia que una vez determinado los métodos a utilizar se, el mismo formato se encarga de establecer los tiempos en términos de escaneo y tiempo de modelado, por la gran variedad de métodos se establecieron tres tipos de unidad de medida de tiempo, como lo son los minutos, horas y días.

**Figura 46**  
Tiempos de escaneo.

Tiempo escaneo		
792.5	13.21	0.6
Minutos	Horas	Días

Tiempo Modelado		
302.5	5.04	0.2
Minutos	Horas	Días

Elaboración propia

En la figura número 40 se encuentra el precio del alquiler día con mano de obra en pesos colombianos, así como en la figura 39 está desglosado por costo de escaneo por horas y costo de modelado por horas según el tipo de levantamiento seleccionado o recomendado.

**Figura 47**

*Costo por horas métodos.*

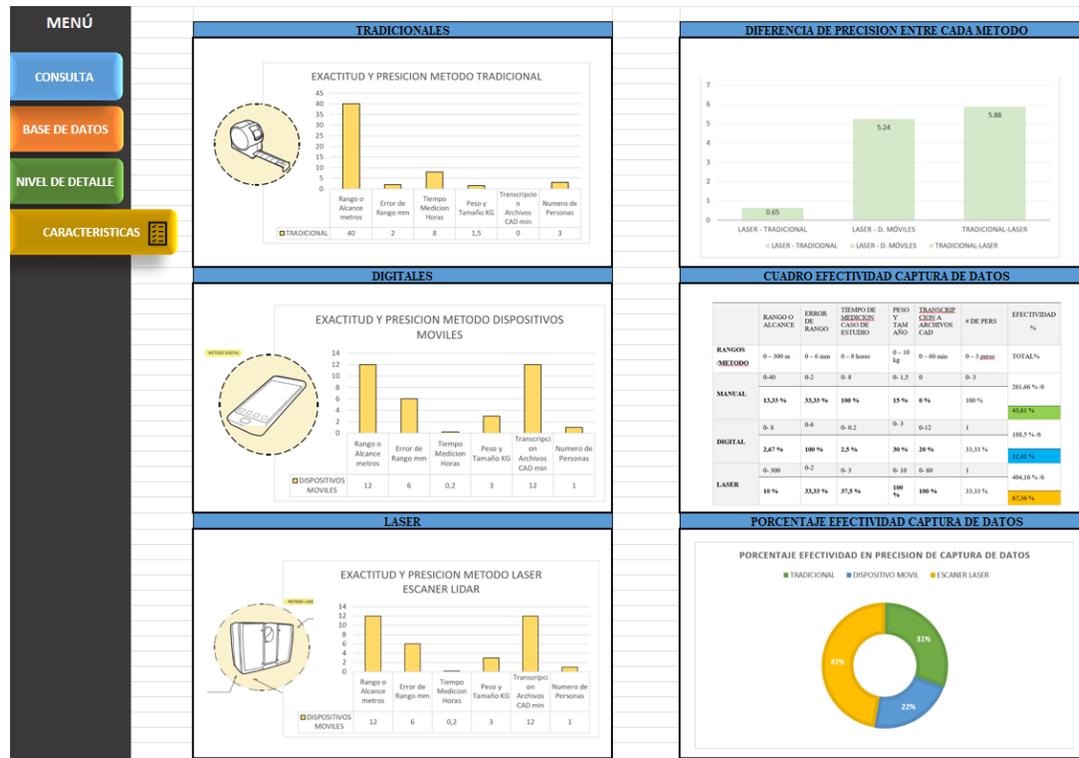
<b>PRECIO ALQUILER DIA CON MANO DE OBRA (pesos Col)</b>		
<b>( T ) = Tradicional</b>	<b>( D ) = Dispositivo movil</b>	<b>( L ) = Laser LIDAR</b>
\$ 250000.0.00	\$ 500.000.00	\$ 1.581.630.00
<b>COSTO ESCANEO POR HORAS</b>		
\$ 18.927.44	\$ 37.854.89	\$ 870.445.68
<b>COSTO MODELADO POR HORAS</b>		
\$ 49.586.78	\$ 99.173.55	\$ 332.252.14

Elaboración propia

A continuación, en la figura 42 encontraremos las características de cada método reflejadas en una tabla de porcentajes, a su vez encontraremos la diferencia de precisión entre cada uno de igual manera el cuadro de efectividad de captura de datos y el porcentaje de efectividad de captura de datos. Esto con el fin de que el solicitante verifique los porcentajes de efectividad según el tipo de levantamiento que desea realizar.

Esta información se entrega en la última ficha la cual veremos en la figura 43, lo importante de esta comparación que entregan estas fichas son que el solicitante puede observar con detalle cuál es el método más efectivo según la modalidad que esté haciendo ya sea de escaneo o de modelado, ya que a lo largo de la investigación se ha concluido que los métodos funcionan de diferente manera en cada una de las modalidades.

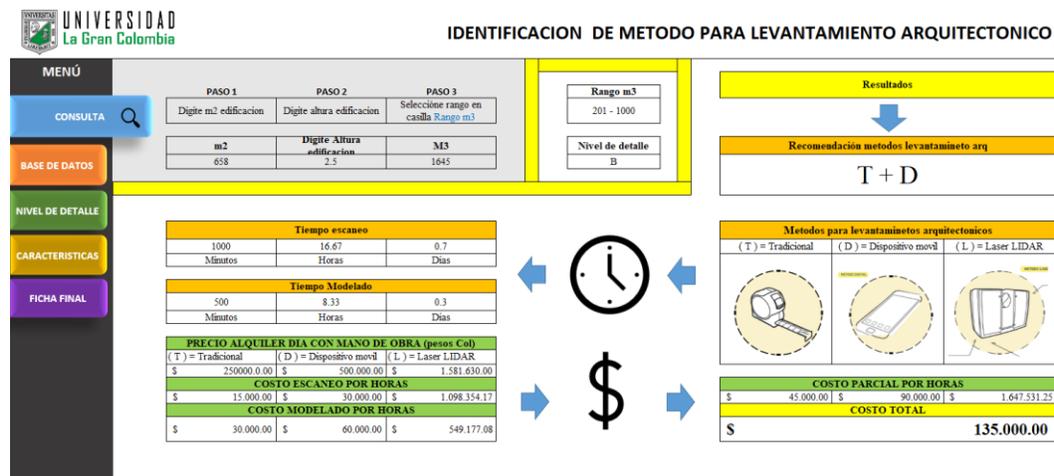
Figura 48  
Características globales de métodos



Elaboración propia.

Figura 49

Plantilla consulta para levantamientos.



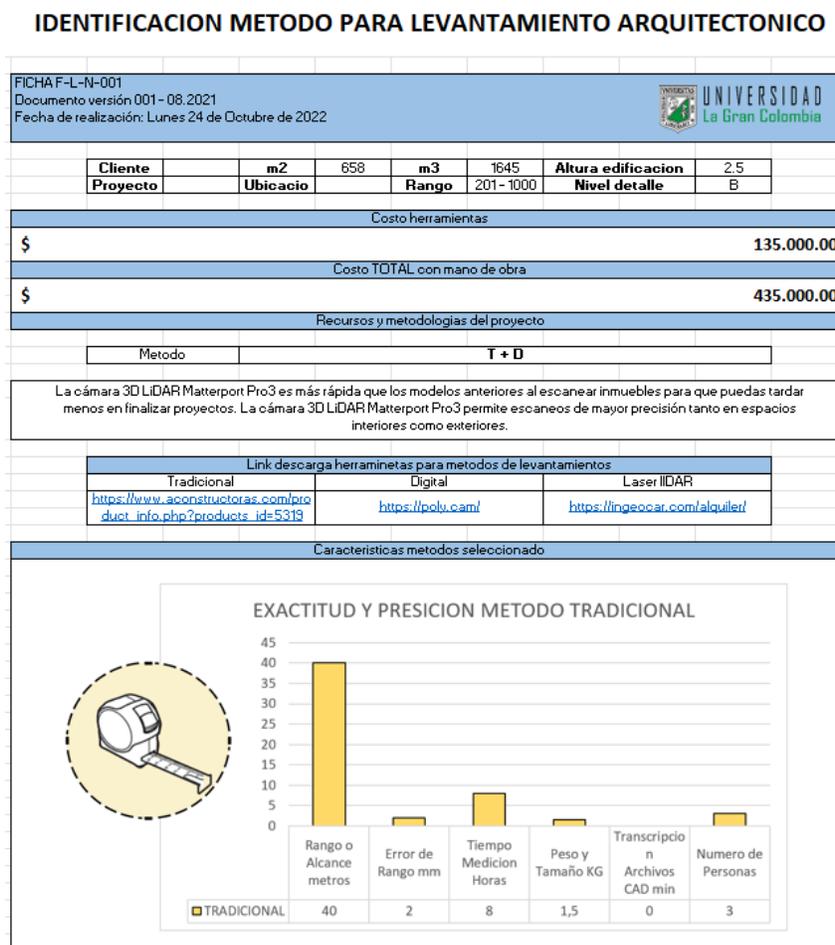
Elaboración propia.

En la figura 43 encontrará la identificación final del método para levantamiento arquitectónico esta ficha contiene el número de documento la fecha que se realizó el cliente el proyecto los metros cuadrados, la ubicación m3 el rango en metros cúbicos la altura de la edificación y el nivel de detalle a su vez encontrará el costo de las herramientas el costo total con mano de obra el resultado de los métodos recomendados, así como unos links de descarga para las herramientas de los métodos y en el final las características del método seleccionado

**Ficha final identificación levantamientos**

**Figura 50**

*Ficha final identificación levantamientos Arq.*



Elaboración propia.

### Conclusiones

Los archivos RCP entregados por el método de escaneo laser LIDAR son muy precisos, sin embargo al publicarlo en un formato RVT, OBJ, 3DS o SKP presentan inconsistencias ya que las irregularidades evidenciadas en campo no se reflejan en el modelado 3D todos los planos y volúmenes son ortogonales, por lo que hay que corregir manualmente estos imprevistos, todo esto a pesar de su alto costo, ahora bien el método de dispositivos móviles trabaja de manera similar con los formatos RCP, sin embargo el escaneo no es el mismo ya que uno parte de una estación estática y el otro a medida que el levantamiento avanza. Lo que lo hace muy impreciso por su constante movimiento, aun así, entrega un registro fotográfico y modelado 3d en formato RCP. Muy útil para reconocimiento del lugar.

Ahora bien, el método tradicional es uno de los más precisos si se aplican los parámetros trigonométricos, contado también por su fácil acceso en el mercado, sin embargo, conlleva mucho tiempo una correcta ejecución del mismo por lo que se concluye que en rendimiento para la correcta ejecución de un levantamiento arquitectónico a un bajo costo y preciso hay que usar dos métodos combinados los cuales son métodos tradicionales y dispositivos móviles. Ya que si notamos en la gráfica el porcentaje de efectividad estos dos suman un 53 % sobre el 47 % de las tecnologías laser

Seguido de lo anterior se desarrollo una herramienta para identificar la mejor ruta según la herramienta de método de levantamiento arquitectónico, dando como resultado una ficha final donde se encuentra toda la información necesaria para ejecutar el levantamiento y sus respectivos costos, así como los links de descarga para obtener las herramientas.

## Lista de Referencias

Alderete, E. O. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial.

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02109395.1983.10821356>

Almagro, A. (2004). *levantamiento*. <https://digital.csic.es/handle/10261/19802>

Baldor, A. (1941). *Álgebra de Baldor*. Mexico: Editorial cultural.

Buil, F. (2007). *Fotogrametría arquitectónica*. Edición upc.

<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=nkvpbgaaqbaj&oi=fnd&pg=PA7&dq=metodos+de+levantamiento+arquitectonico&ots=4gsvjjhpgq&sig=9ehzbfvikczaiqhd-oi8t0cnzsg#v=onepage&q=metodos%20de%20levantamiento%20arquitectonico&f=false>

Caballero, D. A. (2016). Análisis de métodos para el levantamiento arquitectónico. *Academia*, 1-109.

[https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57068947/TFM\\_Dany\\_Almagro\\_DEF-seg-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1663186165&Signature=aov0qvq3ikeodd4xe09bvckus-wtfjbpuyqdsqqa453kqfhzqqsdwtpdndw5dc~cmlig1ntrwlr7p2hjfembwym2mg1mlfw~guhij0qi6ggqtcw8maatuf3oqe7tw~udn](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/57068947/TFM_Dany_Almagro_DEF-seg-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1663186165&Signature=aov0qvq3ikeodd4xe09bvckus-wtfjbpuyqdsqqa453kqfhzqqsdwtpdndw5dc~cmlig1ntrwlr7p2hjfembwym2mg1mlfw~guhij0qi6ggqtcw8maatuf3oqe7tw~udn)

Cabrera, E. (2007). optimización en el posicionamiento para la realización de un levantamiento. 1-320.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?Codigo=112673>

Gisbert, A. M. (2002). métodos y procesos para el levantamiento de reconstrucción tridimensional gráfica de elementos del patrimonio cultural la iglesia de sant sever de barcelona.

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/118345/10240-37918-1-SM.PDF?Sequence=1>

Decreto 1333 de 2020, octubre 6, 2020, función pública. (Colombia)

[https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/2377/Guia\\_APA\\_interactiva\\_vol2%20%282%29%20%281%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/2377/Guia_APA_interactiva_vol2%20%282%29%20%281%29.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

Lárrede, P. D. (2014). Levantamiento arquitectónico. Definición y uso de la fotogrametría. *Difusión*

*Digital del Patrimonio Arquitectónico Aragonés.*

<https://sites.google.com/site/ddpatrimonioarqaragones/home/levantamiento-arquitectonico-definicion-y-uso-de-la-fotogrametria>

López, J. C. (2015). Métodos de documentación, análisis y conservación de trazados arquitectónicos a tamaño natural. *Arqueología de la arquitectura*.

<https://arqarqt.revistas.csic.es/index.php/arqarqt/article/view/179>

Losavio, F. (2010). Comparación de métodos para la arquitectura del software: Un marco de referencia para un método arquitectónico unificado.

[http://ve.scielo.org/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S0798-40652010000100008](http://ve.scielo.org/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0798-40652010000100008)

Marambio, A. (2006). Escaner laser: modelo 3d y orto imágenes arquitectónicas de la iglesia de santa maria del mar en barcelona. *AcE*. <https://core.ac.uk/download/pdf/41783204.pdf>

Mellado, J. L. (2012). Nuevas tecnologías y métodos tradicionales en el levantamiento de patrimonio arquitectónico. *Universidad de Sevilla*.

[https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/43814/Aguilar\\_ponencia\\_2012\\_nuevas.pdf?Sequence=1&isallowed=y](https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/43814/Aguilar_ponencia_2012_nuevas.pdf?Sequence=1&isallowed=y)

Ochaíta, A. (1983). La teoría de Piaget sobre el desarrollo del conocimiento espacial. Obtenido de

<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02109395.1983.10821356>

Pulido, L. M. (2017). Tecnicas para un levantamiento arquitectonico. *Revista Oblicua*. Obtenido de

<https://www.fadp.edu.co/wp-content/uploads/2018/06/revista-oblicua-11-2.pdf>

Rodríguez, a. (2002). Sobre el levantamiento arquitectónico mediante fotogrametria multimagen. 1-6.

<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/1843/sla.pdf?Sequence=1&isallowed=y>

Sainz, J. (1990). El dibujo de la arquitectura.

[https://www.researchgate.net/publication/302345524\\_%27El\\_dibujo\\_de\\_arquitectura\\_teor%C3%ADa\\_e\\_historia\\_de\\_un\\_lenguaje\\_grafico%27\\_Madrid\\_Editorial\\_Nerea\\_236\\_p%C3%A1ginas\\_ISBN\\_10\\_84-86763-32-0\\_ISBN\\_13\\_978-84-86763-32-9?Channel=doi&linkid=572fb78e08ae744151904c8e&show](https://www.researchgate.net/publication/302345524_%27El_dibujo_de_arquitectura_teor%C3%ADa_e_historia_de_un_lenguaje_grafico%27_Madrid_Editorial_Nerea_236_p%C3%A1ginas_ISBN_10_84-86763-32-0_ISBN_13_978-84-86763-32-9?Channel=doi&linkid=572fb78e08ae744151904c8e&show)

Salamanca, G. F. (2012). EL LEVANTAMIENTO ARQUITECTÓNICO Una aproximación metodológica.

[http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento\\_arquitectonico.pdf](http://artes.bogota.unal.edu.co/assets/cdm/docs/publicaciones/full/levantamiento_arquitectonico.pdf)

Toledo, A. Y. (2015). El dibujo como pensamiento de la arquitectura: bocetos.

<https://core.ac.uk/download/pdf/51401749.pdf>