

Análisis comparativo de herramientas tecnológicas de mediciones utilizadas en creación de tablas antropométricas en Honduras.

Ligia Cecilia Rodríguez Hernández, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas¹, Dennis Isnan Arias Hernández, Estudiante de Ingeniería Industrial y de Sistemas²,

¹Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, ligia_rodriguez@unitec.edu

²Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Honduras, isnan_504@unitec.edu

Resumen - Este estudio presenta un análisis comparativo de tres métodos para mediciones antropométricas empleados en la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC) en Honduras: el método tradicional, la fotogrametría usando la aplicación Measure de iPhone y el escaneo 3D con el dispositivo EinScan H Shining 3D. El objetivo es evaluar la precisión, confiabilidad y efectividad de estas herramientas para la creación de tablas antropométricas específicas para la población hondureña, que son esenciales para el diseño ergonómico y la salud pública.

Palabras clave: antropometría, fotogrametría, ergonomía, escáner 3D, comparación de métodos.

I. INTRODUCCIÓN

Este estudio tiene como objetivo principal determinar cuál de las herramientas tecnológicas utilizadas para mediciones antropométricas, ya sea la fotogrametría con tecnología LiDAR [1] o el escáner EinScan H Shining 3D [2], presenta el mayor grado de precisión, confiabilidad y eficacia, comparándolas directamente con el método tradicional de medición de dimensiones corporales. Para lograr este objetivo, se llevará a cabo un análisis estadístico exhaustivo que permitirá evaluar y comparar los resultados obtenidos por cada una de las herramientas bajo diferentes escenarios de medición [3], con la finalidad de identificar cuál de ellas proporciona datos más consistentes y precisos, minimizando los márgenes de error inherentes a la medición manual [4].

Entre los objetivos específicos se encuentra, en primer lugar, la verificación de la confiabilidad de las metodologías, técnicas e instrumentos utilizados para la recolección de medidas antropométricas tradicionales, antes de iniciar tanto el pilotaje como las mediciones finales. Esto se logrará mediante la aplicación de pruebas de repetibilidad y reproducibilidad, que aseguran que los instrumentos y las técnicas de medición sean consistentes y precisos en diversas circunstancias y bajo las mismas condiciones operativas [5]. Estas pruebas permitirán validar la solidez del método tradicional como punto de comparación antes de incorporar las nuevas tecnologías.

Posteriormente, se llevará a cabo un pilotaje que incluirá la recolección de mediciones antropométricas finales en una muestra de población voluntaria, seleccionada de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC). En este proceso se aplicarán tres métodos distintos de medición: el método tradicional con instrumentos

manuales, la fotogrametría mediante la aplicación de medición de iPhone con tecnología LiDAR y el escáner EinScan H Shining 3D. Cada uno de estos métodos será ejecutado siguiendo los principios de ergonomía establecidos y las indicaciones de la norma ISO 7250-1:2017, garantizando la rigurosidad técnica en la obtención de los datos para la comparación de las medidas [6]. Este pilotaje servirá para identificar posibles mejoras en las metodologías, asegurando los resultados de la recolección de los datos antropométricos sea validada.[7]

Una vez realizadas las mediciones, el análisis se enfocará en determinar la precisión de las herramientas tecnológicas utilizadas. Para ello, se compararán las medidas obtenidas a través de la fotogrametría y del escáner 3D con las del método tradicional, utilizando herramientas de estadística inferencial como el análisis de varianza (ANOVA). Este enfoque permitirá identificar las diferencias significativas entre los métodos, así como establecer el grado de exactitud de las nuevas tecnologías en relación con las técnicas convencionales. El uso del ANOVA facilitará la evaluación de las variaciones dentro y entre los diferentes grupos de mediciones, proporcionando una visión clara de cuál herramienta ofrece mayor confiabilidad en el contexto de mediciones antropométricas [8].

Además, se llevó a cabo una triangulación por expertos que permitirá validar tanto las metodologías como los resultados obtenidos en el estudio. Esta triangulación incluyó la participación de especialistas en ergonomía, antropometría y tecnología, quienes revisaron los procedimientos y resultados para asegurar que las mediciones sean precisas y que las conclusiones derivadas del estudio estén fundamentadas en datos confiables. Esta validación por parte de expertos contribuiría a aumentar la credibilidad del estudio y garantizar que las herramientas tecnológicas evaluadas puedan ser implementadas en estudios futuros y en aplicaciones prácticas dentro de diversas industrias [9].

Este proyecto tiene el potencial de generar un impacto significativo en el campo de la ergonomía en Honduras, especialmente en lo que respecta al diseño de espacios de trabajo y la mejora de las condiciones laborales [10]. Dado que en el país existe una notable ausencia de tablas antropométricas locales, los resultados de este estudio podrían ser utilizados como base para futuras investigaciones y aplicaciones, contribuyendo al desarrollo de políticas

ergonómicas que mejoren la salud y el bienestar de los trabajadores. El uso de tecnologías avanzadas como el escáner 3D y la fotogrametría puede aportar precisión y eficiencia en la recolección de datos antropométricos, facilitando la implementación de estas medidas en diversos campos de como en diseño de entornos laborales.

En Honduras la temática de medidas antropométricas ha adquirido relevancia en estudios recientes, un ejemplo de estas investigaciones es un estudio realizado en UNITEC, Tegucigalpa, Honduras en 2023, que comparó tres métodos de medición antropométrica: el tradicional, el escaneo 3D utilizando el sensor Kinect v1 y la fotogrametría mediante la aplicación móvil ImageMeter. El método tradicional tomó en promedio 21.35 minutos por persona, el escaneo 3D aumentó el tiempo a 36.77 minutos con un error de +4.19 cm, mientras que la fotogrametría, más eficiente, redujo el tiempo a 15.26 minutos con un error de -0.40 cm. La fotogrametría disminuyó el tiempo en un 32.16% respecto al método tradicional, mientras que el escaneo 3D lo incrementó en un 62.91% [11].

Otro estudio similar en Honduras se centró en la recopilación inicial de datos para crear una base antropométrica que permita establecer tablas propias. Este estudio se llevó a cabo en tres ciudades del país: Tegucigalpa, San Pedro Sula y El Progreso, con una muestra total de 60 voluntarios en cada ciudad, en los cuales se evaluaron 29 variables antropométricas claves. Los resultados incluyeron la obtención de percentiles ergonómicos (5%, 50% y 95%) utilizados para el diseño de mobiliario y equipos. Se detectaron diferencias significativas en 15 de las mediciones realizadas en la población de El Progreso, lo que resalta la variabilidad regional. Al comparar los resultados con tablas antropométricas de Estados Unidos, se identificó una discrepancia notable en la estatura, con diferencias de hasta 20 cm, lo que subraya la importancia de contar con datos locales para el diseño adecuado en ergonomía y otras aplicaciones [12].

Asimismo, un estudio en Bogotá evaluó la confiabilidad de mediciones antropométricas en 30 estudiantes universitarias. Los promedios fueron: peso 55.6 kg, estatura 1579 mm, y perímetro del brazo 267 mm. El error técnico de medición (ETM) fue mínimo en el peso (0.01 kg) y estatura (0.38 mm), mientras que el perímetro de la cintura presentó un ETM de 4.37 mm. Las correlaciones fueron altas, con el peso y la estatura alcanzando 1.00. Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en el perímetro del brazo, pliegue suprailíaco, muslo y diámetro del tobillo, mostrando alta confiabilidad general de los datos recolectados por el observador confirmado el buen manejo de instrumentos y técnicas para identificar puntos anatómicos por la destreza del antropometrista [4].

Las secciones con las que contara el informe son las siguientes: Este artículo constará de las siguientes secciones: la primera, la introducción, donde se presentará la definición del problema, algunos antecedentes internacionales y

regionales, y los objetivos (generales y específicos); en la segunda sección, se describirá la metodología, donde se presentará el enfoque y alcance, población y muestra, parámetros analizados, instrumentos y técnicas aplicadas; en la tercera sección, se mostrarán los resultados y análisis obtenidos de cada objetivo específico; en la cuarta sección, las conclusiones; en la quinta sección, la aplicabilidad; y en la sexta sección, la bibliografía.

II. METODOLOGÍA

A. Enfoque y alcance

Este estudio adopta un enfoque cuantitativo, que se distingue por su rigor científico y el uso del método científico para examinar fenómenos con precisión. Se enfoca en la recopilación y análisis de datos numéricos con el propósito de validar hipótesis a través de métricas objetivas y técnicas estadísticas. Este enfoque estructurado sigue una secuencia definida en cada etapa del proceso, lo que permite identificar patrones y validar teorías con un alto grado de confiabilidad [13].

El alcance del estudio es de carácter descriptivo y se concentra en ofrecer una visión detallada de las características y dimensiones de un fenómeno específico, sin analizar relaciones entre variables. Se establecen con precisión los aspectos que se van a medir y los datos que se van a recopilar, lo que permite generar un perfil claro del fenómeno en cuestión. Este enfoque proporciona una comprensión integral del tema, creando una base sólida para investigaciones futuras que podrían profundizar en la exploración de relaciones entre variables o realizar análisis más complejos [13].

B. Población y muestra

La población finita utilizada para este estudio consistió en 20 estudiantes voluntarios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana, en el campus Tegucigalpa. La selección de esta población estuvo determinada por la disponibilidad de tiempo para llevar a cabo el estudio, ya que el tiempo necesario para realizar todas las mediciones antropométricas utilizando los tres métodos en cada participante fue un factor limitante clave en la definición del tamaño de la población.

Se empleará un muestreo no probabilístico por conveniencia debido a las limitaciones impuestas por el estudio, entre las cuales se incluyen el tiempo requerido para realizar las mediciones, la disponibilidad limitada de equipo especializado, y la participación de solo dos investigadores en la recolección de los datos. Este enfoque permitirá maximizar los recursos disponibles, enfocando las mediciones en un grupo representativo que facilite la obtención de resultados significativos dentro de los plazos y condiciones establecidos para el proyecto. A pesar de estas limitaciones, el muestreo garantizará la recopilación de datos valiosos para la comparación de métodos. [13]. Esto impidió la selección de una muestra más amplia y redujo la posibilidad de generalizar

los resultados, sin embargo, los datos obtenidos con mayor precisión en las mediciones permiten incrementar el poder del análisis estadístico del estudio[14].

Con la muestra seleccionada de voluntarios de la misma universidad se recolectaron los datos necesarios aplicando los tres métodos de medición contemplados: el método tradicional, la fotogrametría con tecnología LiDAR mediante la aplicación de iPhone, y el escáner 3D EinScan H Shining 3D. Esta muestra representativa permitirá evaluar la precisión y confiabilidad de cada una de las herramientas tecnológicas en comparación con el método tradicional, obteniendo un conjunto de datos clave para el análisis estadístico.

C. Parámetros analizados

El estudio evaluó una serie de parámetros antropométricos tanto en posición de pie como sentado, con el objetivo de comparar la precisión y confiabilidad entre tres métodos de medición: el método tradicional, la fotogrametría con iPhone utilizando tecnología LiDAR, y el escáner 3D EinScan H Shining 3D, áreas específicas del cuerpo que, al ser comparadas estadísticamente con mediciones antropométricas directas, podrán ser analizadas con software estadístico[15].

En la posición de pie, se analizaron parámetros como la estatura, la altura de los ojos y la altura de los hombros. Mientras que, en la posición sentado, se midieron aspectos como la altura sentada, la distancia entre el codo y la rodilla, y el ancho de la cadera. Estos parámetros permitieron realizar una comparación detallada de las diferencias en precisión entre cada uno de los métodos evaluados, proporcionando información clave para determinar la tecnología más adecuada para la recolección de datos antropométricos.

TABLA I
TABLA DE LOS PARÁMETROS DE POSICIÓN DE PIE

Posición de pie			
1	Estatura	9	Circunferencia de cintura
2	Altura de los ojos	10	Ancho de mano
3	Altura de los hombros	11	Longitud de mano
4	Altura de los nudillos	12	Ancho de pie
5	Altura de los codos	13	Longitud de pie
6	Agarre de codo	14	Largo de cabeza
7	Profundidad de tórax	15	Ancho de cabeza
8	Ancho de cadera	16	Circunferencia de cabeza

Los parámetros obtenidos en posición de pie resultaron cruciales para capturar medidas clave relacionadas con la postura vertical, que son indispensables en el diseño ergonómico de espacios de trabajo, mobiliario y equipos que involucran la interacción continua de una persona en dicha postura. Estas mediciones incluyeron elementos como la altura total y la altura de los hombros, lo cual permitió ajustar las dimensiones de productos y áreas de trabajo para asegurar una postura adecuada, mayor confort, seguridad y eficiencia en su

utilización. Además, estas mediciones desempeñaron un papel esencial en la en el diseño de puesto de trabajo, contribuyendo a mejorar la interacción entre el usuario y su entorno laboral. A través de un diseño que refleje las dimensiones corporales reales de los usuarios, se logra optimizar tanto la productividad como el bienestar físico de los trabajadores.

TABLA II
TABLA DE LOS PARÁMETROS DE POSICIÓN SENTADO

Posición sentada			
1	Altura sentada	7	Altura poplítea (parte posterior rodilla)
2	Altura de los ojos sentado	8	Distancia de glúteos a rodilla sentado
3	Altura de los hombros sentado	9	Distancia de un codo al otro sentado
4	Altura de los codos estirados sentado	10	Ancho de hombros sentado
5	Altura de los muslos sentado	11	Ancho de caderas sentado
6	Altura de las rodillas sentado		

Por otro lado, las mediciones en posición sentada fueron de gran relevancia para el desarrollo ergonómico de áreas de trabajo y mobiliario donde los usuarios debían estar sentados por largos períodos. Estas mediciones proporcionaron información valiosa para la configuración óptima de sillas, escritorios y otros elementos, garantizando una postura correcta que disminuyera notablemente la posibilidad de sufrir fatiga muscular o lesiones a largo plazo, como los trastornos musculoesqueléticos. Además, dichas medidas permitieron crear ambientes de trabajo más cómodos y funcionales, fomentando tanto el bienestar de los usuarios como una mejora en la eficiencia y el desempeño de sus tareas diarias.

Estos parámetros se seleccionaron siguiendo las directrices establecidas en la norma ISO 7250-1:2017, que proporciona un marco detallado para la definición de mediciones antropométricas esenciales en el diseño ergonómico y la comparación de datos entre diferentes poblaciones [16] y estudios previos se han centrado en la obtención de datos precisos y confiables para la creación de bases de datos antropométricas, las cuales son fundamentales para el diseño ergonómico de equipos, estaciones de trabajo y entornos laborales en la región, mejorando así la seguridad y el confort de los usuarios.

D. Instrumentos y técnicas aplicadas

En este estudio se utilizaron diversos instrumentos para realizar las mediciones antropométricas. Entre ellos, la cinta antropométrica y el antropómetro se emplearon para medir circunferencias y dimensiones corporales, respectivamente, mientras que la cinta métrica se utilizó para alturas y longitudes. Para obtener mediciones más avanzadas, se empleó la aplicación de iPhone "Measure" para fotogrametría, y el escáner EinScan H1 Shining 3D para capturar modelos

tridimensionales del cuerpo. Los datos fueron organizados y analizados en Microsoft Excel, procesados en software EXScan H 1.2.1.1, y exportados a Solidworks para obtener dimensiones precisas. Además, se utilizaron un cronómetro para registrar el tiempo de las mediciones

Las técnicas aplicadas incluyeron la ISO 7250-1:2017, que proporcionó una estandarización de las mediciones antropométricas, asegurando la consistencia en la recolección de datos. Para el análisis de los datos, se utilizó el software Minitab para realizar un análisis de varianza (ANOVA), que permitió identificar diferencias significativas entre los grupos de medición, utilizando las hipótesis mostradas en la siguiente ecuación:

$$H_0: \mu_{\text{tradicional}} = \mu_{3D} = \mu_{\text{fotogrametría}} = \mu$$

$$H_A: u_i \neq u_j \text{ para algún } i \neq j$$

$u_i \neq u_j$ representan las medias de las mediciones para los diferentes métodos

Además, se aplicaron técnicas de estadística inferencial y descriptiva para analizar y resumir los datos obtenidos, facilitando la interpretación de los resultados y las conclusiones del estudio.

En cuanto a los materiales empleados, se utilizó una tabla como límite para las mediciones, un lápiz para marcar puntos de referencia en el cuerpo, y un asiento de madera para realizar las mediciones en posición sentada. Estos materiales complementaron el uso de las tecnologías y los instrumentos, asegurando que las mediciones se realizaran de manera precisa y adecuada.

III. RESULTADOS

A. Método Tradicional

Prueba Piloto - Método Tradicional

Durante la prueba piloto del método tradicional, se utilizaron herramientas antropométricas convencionales, como una cinta métrica y un ángulo de 90° de madera, para mejorar la precisión de las mediciones. Se midió a cuatro voluntarios por un único operador, centrándose en la repetibilidad y consistencia. El tiempo promedio por sujeto fue de 20 minutos, lo que evidenció que, aunque preciso, este método es lento. Se realizaron ajustes, como el uso de puntos de referencia adhesivos, pero se concluyó que no es práctico para estudios a gran escala, resaltando la necesidad de métodos más eficientes.

Recopilación de Datos - Método Tradicional

La recopilación de datos se centró en evaluar la precisión y consistencia de las mediciones antropométricas, considerando la repetibilidad de las mismas. Se tomaron en cuenta factores como el tiempo de medición, la precisión obtenida a través de las herramientas tradicionales y la experiencia del operador. El uso de un único operador para todas las mediciones permitió controlar las variables relacionadas con la técnica de medición y asegurar la coherencia en los resultados.

Resultados Obtenidos - Método Tradicional

Los resultados mostraron que el método tradicional puede ofrecer mediciones precisas y consistentes, aunque el tiempo requerido para cada sesión de medición es considerablemente alto. Esta limitación dificulta la ampliación del estudio a muestras más grandes, ya que el método no es lo suficientemente eficiente. A pesar de las restricciones de tiempo, los ajustes implementados han contribuido a mejorar la precisión general de las mediciones. Este método sigue siendo el utilizado actualmente en estudios antropométricos, siempre bajo la condición de que las mediciones sean realizadas por un investigador capacitado en las técnicas adecuadas. Sin embargo, la prolongada duración de las mediciones resalta la necesidad de explorar la adopción de tecnologías más avanzadas que permitan lograr una mayor eficiencia en futuras investigaciones.

B. Método de Fotogrametría

Prueba Piloto - Método de Fotogrametría

Durante la prueba piloto, se utilizó la aplicación de fotogrametría del iPhone con tecnología LiDAR, lo que permitió capturar datos antropométricos de forma rápida y sin contacto directo con los cuatro voluntarios participantes. Este método fue seleccionado debido a su capacidad para generar modelos tridimensionales precisos a partir de fotografías. El proceso de medición se llevó a cabo en un entorno controlado para minimizar las variaciones externas que pudieran influir en los resultados.

Recopilación de Datos - Método de Fotogrametría

Los datos se recopilaron mediante una serie de imágenes capturadas desde diferentes ángulos alrededor de cada voluntario. Durante la prueba, se observaron variaciones en la calidad de los datos en función de factores como la iluminación y la posición de la cámara, lo que afectó la precisión de las mediciones. Se utilizaron entornos controlados y mejoras en la estabilidad de la cámara para intentar mitigar estas variaciones. Los puntos de referencia visibles en el cuerpo de los voluntarios fueron claves para asegurar la coherencia en las mediciones.

Resultados Obtenidos - Método de Fotogrametría

Los resultados obtenidos mostraron una fiabilidad aceptable en algunos parámetros bajo condiciones controladas, aunque se evidenciaron inconsistencias en entornos con iluminación variable. A pesar de estas limitaciones, la fotogrametría demostró ser eficiente para capturar datos de forma rápida y sin contacto físico, lo que sugiere su potencial para mediciones a gran escala. Sin embargo, las dificultades en la medición de circunferencias y la menor precisión en ciertos parámetros indican que su aplicación no es generalizada, ya que solo algunos resultados son estadísticamente equivalentes a los métodos tradicionales. Sin embargo, para saber si se podrían llegar a obtener resultados más consistentes y precisos, sería útil ampliar el análisis de

esta herramienta y evaluar si, mediante ajustes en la configuración del entorno y la mejora de la posición del dispositivo, se podrían aceptar más parámetros, facilitando así un uso más amplio de esta metodología.

C. Método de Escaneo 3D

Prueba Piloto - Método de Escaneo 3D

Durante la prueba piloto con el escáner 3D Shining EinScan H, se realizaron mediciones a cuatro voluntarios, centrándose en la captura de datos de alta precisión. El proceso incluyó la calibración detallada del escáner y la optimización del protocolo, lo que permitió reducir la cantidad de escaneos necesarios de seis a cuatro, sin comprometer la precisión de las mediciones. El equipo fue seleccionado debido a su capacidad para capturar modelos tridimensionales detallados en un corto periodo de tiempo, con la intención de evaluar su viabilidad en estudios antropométricos.

Recopilación de Datos - Método de Escaneo 3D

La recopilación de datos se llevó a cabo en un entorno controlado, ya que se observó que factores externos, como la iluminación, podían afectar significativamente la calidad de los escaneos. Para mitigar estos efectos, se ajustó la iluminación ambiental y se mejoró la estabilidad del escáner. El software complementario, SolidWorks, fue utilizado para analizar con precisión las circunferencias, que son los parámetros de circunferencia de cintura y de cabeza, lo que permitió un análisis detallado de las medidas capturadas.

Resultados Obtenidos - Método de Escaneo 3D

El escaneo 3D demostró ser un método con presentación de alta tecnología, que prioriza la comodidad del usuario y minimiza el tiempo necesario para realizar mediciones, ha demostrado que el escaneo 3D ofrece una precisión notable en ciertos parámetros, especialmente en las mediciones lineales. La reproducibilidad de estos resultados depende en gran medida del correcto uso del software y del escáner por parte del operador. En total, se identificaron 17 parámetros que se determinaron con precisión gracias al escáner 3D, lo que sugiere que, con mejoras en el manejo del software y en las condiciones de medición, como la vestimenta y la posición del sujeto, este método podría convertirse en una opción fiable para las mediciones antropométricas. El escáner proporciona un escaneo bastante exacto en cuanto a escalas y texturas. Para las mediciones de circunferencia se utilizó SolidWorks, lo que facilitó un análisis más detallado y una visualización más clara de los datos. Sin embargo, se requieren más estudios que permitan mejorar las técnicas para evaluar la aplicabilidad del método en investigaciones antropométricas a mayor escala, para estandarizar el método y permita tomar mediciones confiables para todos los parámetros.

D. Resultado analisis de varianza (ANOVA)

Análisis de Resultados en la posición de pie.

Los resultados del análisis ANOVA y la prueba de Tukey, que evalúan las hipótesis sobre las tres metodologías de medición tradicional, fotogrametría y escaneo 3D para cada parámetro en posición sentada, se presentan en la siguiente tabla. Estos resultados permiten identificar diferencias significativas entre las metodologías y proporcionan una base sólida para interpretar la eficacia de cada técnica en la obtención de mediciones precisas.

TABLA III
TABLA RESULTADO ANALISIS ANOVA PARÁMETROS POSICIÓN DE PIE

Parametros en posición de pie						
No	Parámetro	Método	Media	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Valor-p (Tukey)
1	Estatura	Tradicional	165.88	8.61	p=0.36	
		3D	166	8.78		
		Fotogrametría	165.42	8.62		
2	Altura de los ojos	Tradicional	153.81	8.2	p=0.070	
		3D	154.36	8.52		
		Fotogrametría	152.75	8.71		
3	Altura de los hombros	Tradicional	136.51	7.25	p=0.078	
		3D	136.99	7.33		
		Fotogrametría	135.84	6.78		
4	Profundidad de tórax	Tradicional	25.721	2.657	p=0.407	
		3D	24.977	2.157		
		Fotogrametría	24.895	3.635		
5	Altura de los codos	Tradicional	101.83	5.98	p=0.001	
		3D	101.2	5.06		p=0.504
		Fotogrametría	99.63	5.46		p=0.001
6	Altura de los nudillos	Tradicional	70.55	5.18	p=0.002	
		3D	72.56	4.77		p=0.925
		Fotogrametría	72.805	3.76		p=0.004
7	Agarre de codo	Tradicional	35.24	2.719	p=0.124	
		3D	35.225	3.028		
		Fotogrametría	34.3	3.23		
8	Ancho de cadera, parado	Tradicional	35.265	3.01	p=0.000	
		3D	37.197	3.123		p=0.000
		Fotogrametría	34.85	3.265		p=0.631

Resultados del análisis ANOVA en la posición sentado.

Se realizaron pruebas ANOVA para evaluar los parámetros medidos en posición sentada, comparando tres metodologías: medición tradicional, fotogrametría y escaneo 3D. Los resultados, analizados con el software Minitab, revelaron los valores p que indican si se rechaza o no la hipótesis nula de que las mediciones son iguales entre los métodos. Para aquellos parámetros en los que se observó una diferencia significativa, se aplicó la prueba de Tukey, la cual permitió identificar específicamente qué metodologías presentaron variaciones relevantes en sus mediciones, proporcionando así una visión más clara de la eficacia de cada técnica.

Análisis de Resultados de partes seccionadas.

Posteriormente a la recolección de las mediciones, se llevó a cabo un análisis ANOVA para cada uno de los parámetros correspondientes a las partes del cuerpo, como mano, pie, cabeza y cintura. Este análisis proporcionó el valor

p, que indica si existían diferencias significativas en las medidas obtenidas mediante los distintos métodos: medición tradicional, fotogrametría y escaneo 3D. En aquellos casos donde se identificaron diferencias, se realizó el análisis de Tukey para determinar cuál de los métodos presentaba estas discrepancias. Los resultados de los valores p por parámetro se presentan en la tabla IV:

TABLA IV
TABLA RESULTADO ANALISIS ANOVA PARÁMETROS DE PARTES SECCIONADAS

Partes seccionadas (Mano, Pie, Cabeza y Cintura)						
No	Parámetro	Método	Media	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Valor-p (Tukey)
9	Ancho de pie	Tradicional	9.115	0.82	p=0.05	p=0.226
		3D	9.374	0.669		
		Fotogrametría	9.5	0.889		
10	Longitud de pie	Tradicional	24.016	1.617	p=0.386	
		3D	24.193	1.596		
		Fotogrametría	24.316	1.336		
11	Circunferencia de cintura	Tradicional	86.85	12.36	p=0.000	p=0.000
		3D	81.26	11.83		
12	Ancho de mano	Tradicional	7.858	0.579	p=0.663	
		3D	7.758	0.68		
		Fotogrametría	7.789	0.713		
13	Longitud de mano	Tradicional	17.468	1.14	p=0.006	
		3D	17.086	1.168		
		Fotogrametría	17.737	1.485		
14	Largo de cabeza	Tradicional	18.942	0.747	p=0.000	p=0.000
		3D	20.03	0.687		
		Fotogrametría	20.263	1.195		
15	Ancho de cabeza	Tradicional	15.175	0.537	p=0.001	p=0.004
		3D	15.947	0.511		
		Fotogrametría	15.2	1.152		
16	Circunferencia de cabeza	Tradicional	56.4	1.349	p=0.000	p=0.000
		3D	58.14	1.501		

Análisis de Resultados en la posición de pie.

Los resultados del análisis ANOVA y la prueba de Tukey, que evalúan las hipótesis sobre las tres metodologías de medición tradicional, fotogrametría y escaneo 3D para cada parámetro en posición sentada, se presentan en la siguiente tabla. Estos resultados permiten identificar diferencias significativas entre las metodologías y proporcionan una base sólida para interpretar la eficacia de cada técnica en la obtención de mediciones precisas.

TABLA V
TABLA RESULTADO ANALISIS ANOVA PARÁMETROS POSICIÓN DE SENTADO

Parametros en posicion de sentado						
No	Parámetro	Método	Media	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Valor-p (Tukey)
17	Altura sentada	Tradicional	87.715	4.103	p=0.000	p=0.017
		3D	88.962	3.646		
		Fotogrametría	90.15	4.428		
18	Altura de los ojos, sentado	Tradicional	75.878	4.121	p=0.000	p=0.965
		3D	75.762	3.459		
		Fotogrametría	77.667	3.956		
19	Altura de los hombros, sentado	Tradicional	58.94	3.224	p=0.231	
		3D	58.227	2.628		
		Fotogrametría	58.15	3.843		
20	Altura de las rodillas, sentado	Tradicional	49.805	3.481	p=0.05	p=0.012
		3D	51.053	3.571		
		Fotogrametría	49.8	3.533		

21	Altura se poplitea, sentado	Tradicional	40.916	1.891	p=0.000	p=0.003
		3D	39.637	2.058		
		Fotogrametría	38.895	2.826		
22	Distancia de glúteos a la rodilla	Tradicional	58.079	4.047	p=0.406	
		3D	58.358	3.618		
		Fotogrametría	57.579	4.221		
23	Altura de codos, sentado	Tradicional	24.461	2.23	p=0.009	p=0.046
		3D	23.251	1.689		
		Fotogrametría	22.944	2.182		
24	Altura de los muslos	Tradicional	14.884	2.654	p=0.000	p=0.191
		3D	15.789	2.631		
		Fotogrametría	17.1	2.918		
25	Distancia de un codo al otro	Tradicional	46.11	4.55	p=0.002	p=0.222
		3D	47.55	5.07		
		Fotogrametría	44.25	5.32		
26	Ancho de hombros	Tradicional	44.4	4.34	p=0.000	p=0.001
		3D	46.35	4.91		
		Fotogrametría	44	4.38		
27	Ancho de caderas, sentado	Tradicional	39.365	2.994	p=0.004	p=0.944
		3D	39.497	3.357		
		Fotogrametría	40.7	3.373		

IV. CONCLUSIONES

El estudio R&R mostró que la mayoría de las herramientas evaluadas tienen alta confiabilidad, con un % VE inferior al 10%. Sin embargo, el antropómetro y SolidWorks presentaron % VE de 28.73% y 20.12%, lo que indica variabilidad moderada, atribuida a la falta de experiencia de un operador. Para mejorar la precisión y validez del estudio, se recomienda que las mediciones sean realizadas por el operador con mejor desempeño en cada herramienta.

La realización de una prueba piloto antes de la recolección de datos antropométricos es crucial para optimizar el proceso. En este estudio la prueba piloto mejoró la comodidad de los sujetos y redujo el tiempo de medición hasta en un 62.5% al medir 27 parámetros con tres métodos diferentes. Esto no solo facilita los procedimientos, sino que también aumenta la precisión de los datos al refinar las técnicas de recolección.

La recolección final de los datos había dado como resultado la obtención de 1580 mediciones de 20 personas (12 mujeres y 8 hombres), permitió realizar una comparación exhaustiva de las herramientas estudiadas. La cantidad y calidad de los datos garantizan que las conclusiones del estudio sean relevantes y bien fundamentadas.

El análisis comparativo de las medidas obtenidas mediante fotogrametría y escáner 3D frente al método tradicional, realizado con estadística inferencial y ANOVA, demuestra que ambas tecnologías presentan una precisión comparable en varios parámetros estudiados. Los resultados muestran que no hay diferencias significativas en el 63% de los parámetros medidos con el escáner 3D en comparación con el método tradicional, lo que respalda la validez de estas mediciones. No obstante, en los parámetros donde se encontraron diferencias, 8 de ellos mostraron valores de (diferencias/EA) bajos. Esto indica que, con mejoras en los métodos, técnicas y la calibración, es factible reducir el error y alcanzar una consistencia en las mediciones similar a la del método tradicional.

La ausencia de un pilotaje previo en estudios de mediciones antropométricas puede generar ineficiencia y errores, mientras que su implementación mejora la precisión de las mediciones. Además, la validación del estudio mediante la triangulación de expertos incrementa la credibilidad de los hallazgos. La supervisión continua de expertos en estadística, software 3D y métodos ha fortalecido la metodología, asegurando resultados más sólidos y fiables.

De manera general, el estudio reveló que el uso del escáner EinScan H Shining 3D como metodología para la recopilación de mediciones antropométricas es una alternativa viable. Este escáner demostró una precisión aceptable en 17 de los parámetros evaluados y ofrece amplias oportunidades para mejorar las técnicas y métodos de recolección de datos. Las principales diferencias observadas se deben a factores controlables, como la vestimenta del sujeto, la iluminación del entorno y la experiencia en el uso del software. Con la estandarización de estos procesos, el escáner podría convertirse en un método aún más eficaz para la captación de medidas, no solo por su potencial precisión, sino también por sus capacidades de registro de datos y otras aplicaciones.

APLICABILIDAD

El proyecto propone implementar mediciones antropométricas en el Laboratorio de Ingeniería Industrial de UNITEC Tegucigalpa, utilizando el escáner EinScan H de Shining 3D y la aplicación Measure de iPhone, enfocándose en aquellas mediciones que han demostrado alta precisión en comparación con métodos tradicionales, según un ANOVA de comparación de métodos. La validez del estudio fue confirmada mediante pruebas de repetibilidad y reproducibilidad, así como un pilotaje con voluntarios, siguiendo la norma ISO 7250-1:2017. Los resultados, validados por expertos, son aplicables a otras instituciones que cuenten con las condiciones adecuadas de espacio y equipamiento ergonómico.

REFERENCIAS

[1] J. S. Martínez Macancela y V. F. (PENDIENTE T. Bermeo Cabrera, «Análisis comparativo de precisión y eficiencia de tecnologías topográficas para levantamientos: fotogrametría y LIDAR aerotransportado con Dron y receptor GNSS (modo RTK), aplicado al parque El Paraíso de la ciudad de Cuenca.», bachelorThesis, 2023. Accedido: 12 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26953>

[2] P. Zambrano y W. Ariel, «Diseño de una armadura de protección facial para deportistas a través del escáner EinScan 3D pro 2x plus.».

[3] J. Runfolo y A. Gallardo, «Análisis comparativo de los diferentes métodos de caracterización de residuos urbanos para su recolección selectiva en comunidades urbanas.».

[4] A. P. GERALDO, «Confiableabilidad De Medidas Antropométricas En Un Grupo De Estudiantes Universitarias De Bogotá», 2014, Accedido: 11 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2150552036/abstract/5A4CA4C66DC4665PQ/6?sourcetype=Scholarly%20Journals>

[5] B. N. F. José, «Prueba piloto: validación de instrumentos y procedimientos para recopilar data antropométrica con fines ergonómicos», . *ISSN*, vol. 12.

[6] J. F. Arenas Betancur, J. A. P. Morales, y C. A. Rodríguez Ledesma, «Validación de Sistema de Medición Antropométrica con Escáner 3D

bajo las normas UNE-EN ISO20685 y NTC ISO10012 (Validation of the Anthropometric Measurement System with 3d Scanner under the UNE-EN ISO20685 y NTC ISO10012 standards)», pp. 572-579, 2023, doi: 10.47197/retos.v49.97096.

[7] F. J. Burgos Navarrete y E. Escalona, «Prueba piloto: validación de instrumentos y procedimientos para recopilar data antropométrica con fines ergonómicos», vol. 12, 2017.

[8] R. Boqué y A. Maroto, «EL ANÁLISIS DE LA VARIANZA (ANOVA) 1. Comparación de múltiples poblaciones».

[9] D. Amber y J. Domingo, «Triple Triangulación Compleja: análisis de discursos de formación y empleo», *Educ. Real.*, vol. 46, p. e106754, abr. 2021, doi: 10.1590/2175-6236106754.

[10] C. A. L. Velásquez, J. R. D. Caballero, y G. A. P. Espinoza, «La ergonomía en la prevención de problemas de salud en los trabajadores y su impacto social», *Rev. Cuba. Ing.*, vol. 10, n.º 2, Art. n.º 2, 2019.

[11] T. J. G. Flores y P. M. P. Cantarero, «Analysis Of Improvements In The Practice Of Anthropometry Through 3D Scanning And Photogrammetry At UNITEC».

[12] P. M. P. Cantarero, C. Y. M. Sorto, y S. J. M. Enamorado, «Proposal of initial parameters for an anthropometric database of the Honduran working population», presentado en The 10th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering, ago. 2024. doi: 10.11159/icmie24.120.

[13] «metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf». Accedido: 31 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

[14] C. Manterola *et al.*, «Confiableabilidad, precisión o reproducibilidad de las mediciones. Métodos de valoración, utilidad y aplicaciones en la práctica clínica», *Rev. Chil. Infectol.*, vol. 35, n.º 6, pp. 680-688, 2018, doi: 10.4067/S0716-10182018000600680.

[15] F. Pellitteri, F. Scisciola, F. Cremonini, M. Baciliero, y L. Lombardo, «Accuracy of 3D facial scans: a comparison of three different scanning system in an in vivo study», *Prog. Orthod.*, vol. 24, n.º 1, p. 44, dic. 2023, doi: 10.1186/s40510-023-00496-x.

[16] «ISO 7250-1:2017». Accedido: 11 de septiembre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ecollection.icontec.org/normavw.aspx?ID=45655>