



unitec®

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN FASE I

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS DE MEDICIONES
UTILIZADAS EN CREACIÓN DE TABLAS ANTROPOMÉTRICAS EN HONDURAS.**

PRESENTADO POR:

12011059 DENNIS ARIAS

12011137 LIGIA RODRÍGUEZ

ASESOR METODOLÓGICO: ING. PAOLA PASCUA

CAMPUS TEGUCIGALPA; AGOSTO, 2024

Dedicamos este trabajo al guionista de nuestras vidas, quien nos guio en cada paso y nos dio
fortaleza para emprender este viaje.

Y a todos aquellos que se convirtieron en una fuente de inspiración a
lo largo de nuestro recorrido.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que formaron parte de este proceso. A nuestros padres, quienes con amor incondicional y sacrificio han sido nuestros pilares; gracias por poner su fe y confianza en nosotros para dar un paso más en nuestro camino.

Agradecemos el acompañamiento de nuestros asesores, quienes con paciencia compartieron sus conocimientos y nos guiaron para superar cada desafío en el desarrollo del estudio. Ingenieros Leonel Molidá, Mendel Nelson y René León han dejado una huella imborrable en nuestro desarrollo académico. A nuestra asesora en metodología, Ing. Paola Pascua, le agradecemos su dedicación y su tiempo para motivarnos en cada paso de este proyecto.

Agradecemos a las autoridades del FabLab por darnos la oportunidad de trabajar con sus equipos e instalaciones; su colaboración fue esencial para plasmar nuestras ideas y desarrollar esta investigación.

A nuestros compañeros y amigos, que han estado a nuestro lado desde el inicio de esta travesía universitaria: gracias por su apoyo inquebrantable, por ser una fuente constante de ánimo y compañerismo, y por acompañarnos en cada paso, incluso en los momentos más difíciles. A todos aquellos que, con una palabra de aliento, un gesto de apoyo y una muestra de confianza nos brindaron fortaleza para llegar a esta meta.

Gracias, de todo corazón, por ser parte de este viaje.

"Si no puedes volar, corre; si no puedes correr,
camina; si no puedes caminar, gatea, pero sigue
avanzando hacia tu meta".

- Martin Luther King

RESUMEN EJECUTIVO (ESPAÑOL)

Este informe presentó un estudio comparativo de diferentes métodos de medición antropométrica utilizados en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC), Tegucigalpa. El problema identificado fue la falta de datos antropométricos precisos y representativos para la población hondureña, lo cual impacta negativamente en el diseño ergonómico y la salud pública. Para abordar este problema, se emplearon tres métodos de medición: tradicional, fotogrametría con tecnología LiDAR del iPhone, y escaneo 3D EinScan H Shining 3D.

La metodología del estudio incluyó pruebas de repetibilidad y reproducibilidad, pilotajes, y análisis de viabilidad para evaluar la precisión de cada técnica. Se definió una muestra de 20 estudiantes voluntarios de la Facultad de Ingeniería, a quienes se aplicaron los tres métodos. Además, se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando ANOVA para comparar los resultados entre los diferentes métodos y determinar cuál proporcionaba las mediciones más consistentes y precisas. El estudio también permitió identificar las ventajas y limitaciones específicas de cada técnica, lo que facilitó una evaluación más integral.

Los resultados permitieron evaluar la precisión y fiabilidad de cada método. Las metodologías fueron verificadas mediante la triangulación de expertos, quienes confirmaron el cumplimiento de la norma internacional ISO 7250-1:2017. Estos hallazgos ofrecen una base sólida para futuras recomendaciones en ergonomía, diseño industrial y salud laboral en Honduras, contribuyendo al desarrollo de políticas ergonómicas con datos locales confiables.

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

RESUMEN EJECUTIVO (INGLES)

This report presented a comparative study of different anthropometric measurement methods used at the Faculty of Engineering of the Central American Technological University (UNITEC), Tegucigalpa. The identified problem was the lack of accurate and representative anthropometric data for the Honduran population, which negatively impacts ergonomic design and public health. To address this issue, three measurement methods were used: traditional, photogrammetry with iPhone LiDAR technology, and 3D scanning with the EinScan H Shining 3D.

The study's methodology included tests of repeatability and reproducibility, pilot tests, and feasibility analysis to evaluate the accuracy of each technique. A sample of 20 volunteer students from the Faculty of Engineering was selected, and all three methods were applied to them. Additionally, a statistical analysis using ANOVA was conducted to compare the results between the different methods and determine which provided the most consistent and precise measurements. The study also identified the specific advantages and limitations of each technique, facilitating a more comprehensive evaluation.

The results allowed for an assessment of the accuracy and reliability of each method. The methodologies were validated through expert triangulation, confirming compliance with the international standard ISO 7250-1:2017. These findings provide a solid foundation for future recommendations in ergonomics, industrial design, and occupational health in Honduras, contributing to the development of ergonomic policies based on reliable local data.

Keywords: anthropometry, photogrammetry, ergonomics, 3D scanner, method comparison.

INDICE DE CONTENIDO

I.	Introducción.....	1
II.	Planteamiento del problema.....	3
2.1	Precedentes del problema.....	3
2.1.1	Antropometría. Análisis comparativo de las tecnologías para la captación de las dimensiones antropométricas.....	3
2.1.2	Comparación entre variables antropométricas auto reportadas y mediciones reales	3
2.1.3	Confiabilidad de medidas antropométricas en un grupo de estudiantes universitarias de Bogotá	4
2.1.4	Guatemala: Una revisión de las fuentes antropométricas disponibles.....	5
2.1.5	Análisis de mejoras en la práctica de antropometría mediante escaneo 3d y fotogrametría en UNITEC.....	5
2.2	Definición del problema	5
2.3	Justificación	6
2.4	Preguntas de investigación	6
2.5	Objetivos	7
2.5.1	Objetivo general.....	7
2.5.2	Objetivos específicos	7
III.	Estado del arte	8
3.1	Antropometría.....	8
3.2	Medidas antropométricas.....	8
3.3	Tablas antropométricas.....	9
3.4	Ergonomía (diseño de puestos de trabajo).....	10

3.5	Precisión de instrumentos de medición	11
3.6	Norma ISO 7250-1:2017	12
3.7	Método Tradicional de medición (Antropometría 1D).....	13
3.8	Fotogrametría.....	13
3.9	Escáner 3D	14
3.10	Comparación de herramientas de medición	15
3.11	Validación de herramienta de medición.....	16
3.12	Estadística inferencial	17
3.13	Estadística descriptiva.....	18
3.14	análisis de Varianza (ANOVA)	19
3.15	Pruebas de repetibilidad y reproducibilidad	19
3.16	Triangulación de expertos.....	20
IV.	Metodología	22
4.1	Enfoque.....	22
4.1.1	Alcance.....	22
4.2	Variables de investigación	22
4.3	Técnicas e instrumentos aplicados	24
4.3.1	Instrumentos.....	24
4.3.2	Técnicas.....	25
4.4	Materiales.....	25
4.5	Población y muestra.....	26
4.5.1	Población.....	26
4.5.2	Muestreo	26

4.5.3	Muestra.....	27
4.6	Metodología de estudio.....	27
4.7	Metodología de validación.....	30
4.8	Cronograma de actividades.....	31
V.	Resultado y analisis.....	32
5.1	Pruebas de Repetividad y Reproducibilidad de instrumentos de medición para recolección de medidas con el método tradicional.....	32
5.1.1	Estudio R&R de mediciones con el flexómetro.....	34
5.1.2	Estudio R&R de mediciones con la cinta antropométrica.....	36
5.1.3	Estudio R&R de mediciones con el antropómetro.....	38
5.1.4	Estudio R&R de mediciones con app Measure.....	40
5.1.5	Estudio R&R de mediciones con software SolidWorks.....	43
5.2	Recolección de datos de mediciones antropométricas.....	46
5.2.1	Bases del Pilotaje.....	46
5.2.1.1	Parámetros en Posición de Pie.....	47
5.2.1.2	Parámetros en Posición Sentada.....	48
5.2.2	Recolección de mediciones con el método tradicional.....	49
5.2.2.1	Pilotaje de mediciones con el método tradicional.....	49
5.2.2.2	Recolección de medidas finales método tradicional.....	53
5.2.3	Recolección de mediciones con el método de fotogrametría.....	58
5.2.3.1	Pilotaje de mediciones con el método de fotogrametría.....	58
5.2.3.2	Recolección de medidas finales método de fotogrametría con el uso de la App Measure 61	

5.2.4	recolección de mediciones con el método de escaneo 3D	67
5.2.4.1	Pilotaje de mediciones con el método de escaneo 3D	67
5.2.4.2	Recolección de medidas finales por el método de escaner 3D, con la herramienta EinScan H1 Shining 3D.....	77
5.3	Analisis ANOVA para la comparación de medidas tradicionales contra los metodos alternativos de fotogrametría y escaner 3D	83
5.3.1	Análisis Parámetro 'Estatura'	84
5.3.2	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de los ojos'	86
5.3.3	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de los hombros'	88
5.3.4	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Profundidad de tórax'	91
5.3.5	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de los codos'	93
5.3.6	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de los nudillos'	96
5.3.7	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Agarre de codo'	98
5.3.8	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de cadera, parado'	100
5.3.9	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de pie'	102
5.3.10	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Longitud de pie'	104
5.3.11	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Circunferencia de cintura'	106
5.3.12	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de mano'	108
5.3.13	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Longitud de mano'	110
5.3.14	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Largo de cabeza'	113
5.3.15	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de cabeza'	117
5.3.16	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Circunferencia de cabeza'	119
5.3.17	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura sentada'	121

5.3.18	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de ojos, sentado'	123
5.3.19	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de hombros sentado' ..	126
5.3.20	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de las rodillas sentado'	128
5.3.21	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura poplítea, sentado'	130
5.3.22	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado'	133
5.3.23	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura de codos, sentado'	135
5.3.24	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Altura Muslo'	138
5.3.25	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Distancia de un codo al otro'	140
5.3.26	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de hombros'	141
5.3.27	Análisis de Varianza (ANOVA) para el Parámetro 'Ancho de cadera sentado'	145
5.3.28	Resultados finales del análisis ANOVA comparativo entre los métodos de Escaneo 3D y Fotogrametría para cada parámetro estudiado.....	147
5.4	Validaciones de la metodología para el estudio de comparación de herramientas tecnológicas para la recolección de mediciones antropométricas.....	151
5.4.1	Validación mediante pilótale	151
5.4.2	Validación mediante triangulación de expertos	152
VI.	Conclusiones.....	154
VII.	Recomendaciones.....	156
7.1	Recomendaciones de investigación.....	156
7.2	Recomendaciones para el rubro.....	157
VIII.	Aplicabilidad/Implementación.....	158
IX.	Evolución de trabajo actual/Trabajo futuro.....	160

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Informe R&R del sistema de medición (Flexómetro).....	35
Ilustración 2- Informe de R&R del sistema de medición (Cinta antropométrica)	37
Ilustración 3- Informe de R&R del sistema de medición (Antropómetro)	40
Ilustración 4- Informe de R&R del sistema de medición (App Measure)	42
Ilustración 5- Informe de R&R del sistema de medición (SolidWorks)	45
Ilustración 6- Escaneo en posición de pie	69
Ilustración 7- Escaneo en posición sentado.....	70
Ilustración 8- Escaneo en posición de la mano	71
Ilustración 9- Escaneo de la cintura	71
Ilustración 10-Parámetros de circunferencia extraídos en SolidWorks	72
Ilustración 11- Pilotaje de comparativa de Escaneos 3D: Efectos de la Luminosidad Controlada vs. No Controlada.....	74
Ilustración 12- Escaneo 3D con y sin el uso del gorro de silicona	76

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Cronograma de actividades	31
Tabla 2-Tabla ANOVA (Flexómetro).....	34
Tabla 3-R&R del sistema de medición (flexómetro)	34
Tabla 4- Tabla de ANOVA con y sin interacción (Cinta antropométrica).....	36
Tabla 5- R&R del sistema de medición (Cinta antropométrica)	37
Tabla 6- Tabla de ANOVA con y sin interacción (Antropómetro).....	38
Tabla 7- R&R del sistema de medición (Antropómetro)	39
Tabla 8- Tabla ANOVA con factores con interacción (App Measure)	41
Tabla 9- R&R del sistema de medición (App Measure).....	41
Tabla 10- Tabla de ANOVA con y sin interacción (SolidWorks).....	43
Tabla 11-R&R del sistema de medición (SolidWorks)	44
Tabla 12- Comparación del orden de medición de parámetros antropométricos según numeración ISO 7250 y propuesto.....	46
Tabla 13- Parámetros en los que el sujeto medido estar en posición de pie.....	48
Tabla 14- Parámetros en los que el sujeto medido estar en posición de sentado.....	49
Tabla 15-Mejoras identificadas en la prueba piloto del método tradicional (Posición de pie).....	50
Tabla 16- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método tradicional (Posición Sentado)..	51
Tabla 17- Observaciones Generales del Método Tradicional	52
Tabla 18-Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método tradicional .	54
Tabla 19- Medidas antropométricas finales recolectadas por el método tradicional, muestra (n=20)	55

Tabla 20- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método tradicional en hombres (cm)	56
Tabla 21- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método tradicional en mujeres (cm)	57
Tabla 22- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método de fotogrametría (Posición de pie)	59
Tabla 23- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método de fotogrametría (Posición Sentado)	60
Tabla 24- Observaciones Generales del Método Tradicional	61
Tabla 25- Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método de fotogrametría.....	62
Tabla 26- Medidas antropométricas finales recolectadas por el método de fotogrametría, muestra (n=20).....	64
Tabla 27- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de fotogrametría en hombres (cm)	65
Tabla 28- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de fotogrametría en mujeres (cm)	66
Tabla 29- Requisitos de calibración del Escáner Shining 3D.....	67
Tabla 30- Tabla Comparativa de Escaneos Iniciales y Escaneos Simplificados.....	68
Tabla 31- Medición de parámetros de circunferencias extraído en SolidWorks.....	72
Tabla 32- Influencia de la Luminosidad en la Calidad y Precisión del Escaneo 3D	73
Tabla 33- Tabla comparativa de un antes y despues de la implementación del gorro de silicona para el escaneo 3D	75
Tabla 34- Tabla comparativa de Impacto de la Vestimenta en la Precisión del Escaneo 3D	77

Tabla 35- Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método de escaneo 3D.....	79
Tabla 36- Medidas antropométricas finales recolectadas por el método de escaneo 3D, muestra (n=20).....	80
Tabla 37- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de escaneo 3D en hombres (cm)	81
Tabla 38- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de escaneo 3D en mujeres (cm)	82
Tabla 39- Estadística descriptiva del parámetro 'Estatura' para los tres metodos	84
Tabla 40- Analisis ANOVA del parámetro 'Estatura'	84
Tabla 41- Analisis ANOVA del parámetro 'Estatura' datos transformados.....	85
Tabla 42- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los ojos' para los tres metodos	86
Tabla 43- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los ojos'	86
Tabla 44- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los hombros' para los tres metodos...88	
Tabla 45- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los hombros'	89
Tabla 46- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los hombros' datos transformados	90
Tabla 47- Estadística descriptiva del parámetro 'Profundidad de tórax' para los tres metodos.....91	
Tabla 48- Analisis ANOVA del parámetro 'Profundidad de tórax'	91
Tabla 49- Analisis ANOVA del parámetro 'Profundidad de tórax' datos transformados	92
Tabla 50- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los codos' para los tres metodos.....93	
Tabla 51- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los codos'	93
Tabla 52- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los codos' datos transformados	94
Tabla 53- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de codos'	95

Tabla 54- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los nudillos' para los tres metodos	96
Tabla 55- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los nudillos'	96
Tabla 56- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de los nudillos'	97
Tabla 57- Estadística descriptiva del parámetro 'Agarre de codo' para los tres métodos	98
Tabla 58- Análisis ANOVA del parámetro 'Agarre de codo'	98
Tabla 59- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cadera, parado' para los tres metodos	100
Tabla 60- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cadera, parado'	100
Tabla 61- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Ancho de cadera, sentado'	101
Tabla 62- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de pie' para los tres métodos	102
Tabla 63- Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de pie'	102
Tabla 64- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Ancho de pie'	103
Tabla 65- Estadística descriptiva del parámetro 'Longitud de pie' para los tres metodos	104
Tabla 66- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de pie'	104
Tabla 67- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de pie' datos transformados	105
Tabla 68- Estadística descriptiva del parámetro 'Circunferencia de cintura' para los dos metodos	106
Tabla 69- Analisis ANOVA del parámetro 'Circunferencia de cintura'	106
Tabla 70- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Circunferencia de cintura'	108
Tabla 71- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de mano' para los tres métodos	108

Tabla 72- Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de mano'	108
Tabla 73- Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de mano' datos transformados.....	109
Tabla 74- Estadística descriptiva del parámetro 'Longitud de mano' para los tres métodos	110
Tabla 75- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de mano'	111
Tabla 76- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de mano' datos transformados.....	112
Tabla 77- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Longitud de mano'	113
Tabla 78- Estadística descriptiva del parámetro 'Largo de cabeza' para los tres metodos.....	113
Tabla 79- Analisis ANOVA del parámetro 'Largo de cabeza'	114
Tabla 80- Analisis ANOVA del parámetro 'Largo de cabeza' datos transformados.....	115
Tabla 81- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Largo de cabeza'	116
Tabla 82- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cabeza' para los tres métodos	117
Tabla 83- Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cabeza'	117
Tabla 84- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Ancho de cabeza'	118
Tabla 85- Estadística descriptiva del parámetro 'Circunferencia de cabeza' para los dos métodos	119
Tabla 86- Análisis ANOVA del parámetro 'Circunferencia de cabeza'.....	119
Tabla 87- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Circunferencia de cabeza'	120
Tabla 88- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura sentada' para los tres métodos	121
Tabla 89- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura sentada'	121

Tabla 90- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Altura sentada'	122
Tabla 91- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de ojos, sentado' para los tres métodos	123
Tabla 92- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de ojos, sentado'	123
Tabla 93- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de ojos, sentado' datos transformados	124
Tabla 94- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de ojos, sentado'	125
Tabla 95- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de hombros sentado' para los tres métodos	126
Tabla 96- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de hombros sentado'	126
Tabla 97- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado' para los tres metodos.....	128
Tabla 98- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'	128
Tabla 99-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'	129
Tabla 100- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura poplítea, sentado'	130
Tabla 101- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura poplítea, sentado'	130
Tabla 102- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura poplítea, sentado' datos transformados	131
Tabla 103-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura poplítea, sentado'	132
Tabla 104- Estadística descriptiva del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado' para los tres metodos.....	133
Tabla 105- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado'	133

Tabla 106- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado' datos transformados	134
Tabla 107- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de codos, sentado' para los tres metodos	135
Tabla 108- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de codos, sentado'	135
Tabla 109- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de codos, sentado' datos transformados	136
Tabla 110- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de codos, sentado'	137
Tabla 111- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de muslo' para los tres métodos	138
Tabla 112- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de muslo'	138
Tabla 113- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Altura de muslo'	139
Tabla 114- Estadística descriptiva del parámetro 'Distancia de un codo al otro' para los tres métodos	140
Tabla 115- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de un codo al otro'	140
Tabla 116- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de hombros' para los tres metodos ...	141
Tabla 117- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de hombros'	142
Tabla 118- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de hombros' datos transformados	143
Tabla 119- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Ancho de hombros'	144
Tabla 120- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cadera, sentado' para los tres metodos	145
Tabla 121- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cadera, sentado'	145
Tabla 122- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Ancho de cadera, sentado'	146

Tabla 123- Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros en posición de pie	147
Tabla 124- - Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros de partes seccionadas (mano, pie, cabeza y cintura)	148
Tabla 125- Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros en posición de sentado	149
Tabla 126-Resumen de en qué método alternativo se puede usar en cada parámetro	150

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-Hipótesis nula y alternativa de variación entre partes	33
Ecuación 2-Hipótesis nula y alternativa de variación entre antropometristas	33
Ecuación 3-Hipótesis nula y alternativa de interacción entre piezas por operador	33
Ecuación 4- Hipótesis evaluada en el analisis ANOVA para lo comparación de metodos	84

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexos 1- Formato utilizado para el registro de datos recolectados para estudios R&R.....	166
Anexos 2- Hoja de trabajo de orden de recolección de datos generado por Minitab para estudios R&R	167
Anexos 3- Herramienta personalizada, Tabla L con ángulo de 90°	168
Anexos 4- Herramienta personalizada, Tabla L con ángulo de 90°	168
Anexos 5- Formato utilizado para el registro de datos para el analisis ANOVA de comparación de metodos de medición	169

LISTA DE SIGLAS Y GLOSARIO

3D	Tridimensional
ANOVA	Analysis of Variance (Análisis de Varianza)
ISO	International Organization for Standardization (Organización internacional de Estandarización)
LiDAR	Light Detection and Ranging
R&R	Repetibilidad y Reproducibilidad
UNITEC	Universidad Tecnológica Centroamericana

I. INTRODUCCIÓN

La antropometría es una rama científica estrechamente relacionada con la ergonomía física y se desarrolla en diversos campos de aplicación, esta estudia las dimensiones corporales humanas. (Nariño Lescay et al., 2018). En Honduras, la falta de tablas antropométricas locales precisos ha sido una limitación significativa en campos como el diseño ergonómico, la salud pública y la industria. La investigación tiene como fin evaluar las diferentes tecnologías usadas para la captación de mediciones antropométricas para la creación de una base de datos en Honduras de medidas antropométricas.

El propósito de este estudio es analizar y comparar la precisión, confiabilidad, efectividad de varias herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas, incluyendo la fotometría con tecnología LiDAR, el escáner 3D EinScan H1 Shining 3D y el método tradicional de toma de medidas antropométricas. Se analizarán los parámetros de mediciones que se han utilizado en estudios pasados para la creación de base de datos para tablas antropométricas locales, excluyendo las mediciones de peso y agarre de frente. El estudio se realizará con muestra de población voluntaria de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana (UNITEC).

Posteriormente, se validarán las metodologías y técnicas a través de un pilotaje para confirmar que los procedimientos sean adecuados. Se llevarán a cabo pruebas de repetibilidad y reproducibilidad para asegurar la consistencia y precisión de las mediciones. Además, se realizará una triangulación por parte de expertos para garantizar que los métodos empleados sean confiables y cumplan con los estándares de calidad necesarios. Esta revisión implicará que varios especialistas en el área revisen y validen las metodologías y técnicas utilizadas en el estudio, aportando sus perspectivas y conocimientos para asegurar una evaluación exhaustiva y objetiva.

Se analizará estadísticamente los datos mediante pruebas de varianza (ANOVA), con el propósito de identificar cuál de las herramientas tecnológicas evaluadas ofrece las mediciones antropométricas más precisas y confiables. De forma que se determinara la validez de la fotometría y del escáner 3D EinScan H1 Shining 3D, para su uso en creación de tablas

antropométricas locales. Los resultados de esta investigación proporcionarán recomendaciones sobre las tecnologías más adecuadas para la recolección de datos antropométricos en Honduras, contribuyendo directamente a mejoras significativas en las prácticas en áreas clave como la salud y la ergonomía de la población laboral.

Las secciones con las que contara el informe son las siguientes: El planteamiento del problema, que abarca precedentes, la definición del problema, la justificación, preguntas de investigación, así como objetivo general y específicos; el del estado del arte, la que tendrá conceptos teóricos que permitirá entender la temática abordada; la metodología que se empleara en el estudio; y las secciones de resultados y análisis, conclusiones, recomendaciones, aplicabilidad e implementación, evaluación del trabajo actual y perspectivas futuras. Finalmente, se presentará la bibliografía de las fuentes utilizadas y anexos de la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1 ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS

Un estudio realizado en la Universidad EIA en Colombia reviso ciertas tecnologías utilizadas para realizar mediciones antropométricas, con el objetivo de determinar sus ventajas, desventajas y características específicas. El análisis abarco varias tecnologías para la recopilación de medidas antropométricas, clasificándolas en tres formatos principales. Las mediciones unidimensionales que incluyen datos como altura, perímetro y longitudes corporales, realizados manualmente con herramientas como cintas métricas y antropómetros. En el estudio se indicó que, aunque el método tradicional permite una captación directa de las medidas, requiere personal entrenado e instrumentos adecuados para ser recolectados de forma correcta (Lescay et al., 2016).

Por otro lado, ellos analizaban los metodos de medición indirectos con tecnología para las mediciones bidimensionales y tridimensionales, con técnicas como la fotografía y escaneo, métodos que ofrecen representación visual con recolección de datos en computadoras, que, dependiendo de la tecnología, pueden presentar distintas precisiones en las mediciones. Finalmente, en el estudio, se presentó una tabla con un análisis crítico comparativo que proporciona información sobre ciertas características, como cantidad de mediciones que se pueden realizar, tiempo requerido y costos asociados de las tecnologías usadas para la recolección de mediciones (Lescay et al., 2016).

2.1.2 COMPARACIÓN ENTRE VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS AUTO REPORTADAS Y MEDICIONES REALES

Por su parte un estudio se llevó a cabo en la ciudad de Medellín a una población de 424 estudiantes universitarios, con el fin de evaluar la precisión de las medidas auto reportadas y compararlas con los datos reales obtenidos al realizar mediciones con el método tradicional a la muestra de estudiantes, se utilizó el método Bland y Altman para analizar la concordancia de los

valores. En la investigación se buscó validar las medidas antropométricas auto reportadas de peso corporal y estatura, para lo cual los datos fueron recolectados y analizados estadísticamente mediante la prueba de Chi cuadrado, la Prueba T, el índice de correlación de Spearman, U de Mann-Whitney y Wilcoxon (Díaz-García et al., 2012).

A través de la implementación de estas herramientas estadísticas se logró determinar el nivel de concordancia entre los métodos de medición. Los resultados indicaron que las medidas de peso y estatura podían recolectarse adecuadamente mediante datos auto reportados, sin embargo, las mediciones de la circunferencia abdominal no fueron validadas por las pruebas estadísticas, por lo tanto el estudio concluye que las mediciones de circunferencia abdominal deben realizarse utilizando el método tradicional con cinta métrica (Díaz-García et al., 2012).

2.1.3 CONFIABILIDAD DE MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS EN UN GRUPO DE ESTUDIANTES UNIVERSITARIAS DE BOGOTÁ

De manera similar, una investigación realizada por Aldo Piñeda en la ciudad de Bogotá tuvo como objetivo evaluar el nivel de confiabilidad de las mediciones antropométricas en estudiantes universitarias. La muestra consistió en 30 estudiantes mujeres seleccionadas aleatoriamente, a quienes se les realizaron mediciones de peso, estatura, estatura sentada, diámetros de codo, diámetro de fémur, perímetros de brazo, perímetro de muslo, perímetro de pantorrilla y pliegues adiposos. Para captar estas mediciones, se utilizaron herramientas como báscula, cinta métrica, antropómetro, calibrador de pliegues cutáneos y ficha antropométrica (Geraldo, 2014).

Se analizaron 17 variables de medición utilizando la correlación de Pearson y la prueba T de Student con el propósito de evaluar la relación entre los datos y determinar las desviaciones. Los resultados mostraron que las mediciones de peso, diámetro de cintura, estatura y estatura sentada obtuvieron un alto grado de exactitud, indicando que estas mediciones eran confiables. Sin embargo, la medición del diámetro de codo presentó una baja correlación de Pearson, por lo tanto, se recomendó revisar las herramientas y técnicas empleadas para esta medición, considerando métodos y posiciones alternativas para mejorar su precisión (Geraldo, 2014).

2.1.4 GUATEMALA: UNA REVISIÓN DE LAS FUENTES ANTROPOMÉTRICAS DISPONIBLES

En la región un estudio elaborado en Guatemala revisó la información antropométrica centrada en estatura adulta y medidas infantiles relacionadas con las tallas, basándose en datos de registro civiles, estudios antropométricos y osteológicos. El análisis incluyó la evaluación de los cambios de estatura a lo largo del tiempo, considerando que es un indicador clave de nutrición, salud y nivel de vida. De manera que la comparación de mediciones de fémur y tibia con datos históricos permitió determinar los cambios en la población en los últimos 20 años. Como parte de la investigación se revisaron las tallas infantiles, para evaluar las condiciones de vida y bienestar de los niños, que logra ser asociado con la variación de tamaños y medidas corporales (Ríos, 2009).

2.1.5 ANÁLISIS DE MEJORAS EN LA PRÁCTICA DE ANTROPOMETRÍA MEDIANTE ESCANEADO 3D Y FOTOGRAMETRÍA EN UNITEC

En Honduras, un estudio reciente investigó métodos alternativos para la captación de mediciones antropométricas en las prácticas de laboratorio de ingeniería de métodos en la Universidad Tecnológica Centroamericana. El estudio menciona que la variabilidad en las mediciones obtenidas con métodos tradicionales se debe a la fatiga por parte de las personas involucradas en la medición. Esto generó la necesidad de buscar métodos alternativos que mejoren las prácticas sin comprometer la confiabilidad de la medición. Como resultados se indica que las nuevas metodologías presentan una reducción de tiempos de medición y demuestra la importancia de validar cualquier nuevo método alternativo para confirmar su precisión. (García, 2023)

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En Honduras, la ausencia de tablas antropométricas locales precisas afecta negativamente el diseño ergonómico, la salud pública y la industria, ya que se depende de datos internacionales no representativos. Aunque existen métodos tradicionales y tecnologías avanzadas como la fotogrametría y escáneres 3D, herramientas que se han utilizado ya en otros estudios particularmente en la Universidad Tecnológica Centroamericana, hasta el momento se carece de

un análisis comparativo que aborde la precisión y viabilidad de métodos basados en tecnologías emergentes.

2.3 JUSTIFICACIÓN

La creación de tablas antropométricas precisas y representativas es crucial para diversos campos como el diseño ergonómico, la salud pública y la industria en Honduras. Actualmente, la falta de datos antropométricos locales obliga a depender de tablas internacionales que no reflejan adecuadamente las características físicas de la población hondureña, lo que resulta en productos y servicios que no se ajustan bien a las necesidades locales y comprometen el bienestar de las personas.

La implementación de tecnologías avanzadas, como la fotometría y los escáneres 3D para la captación de medidas antropométricas busca mejorar la precisión y eficiencia de los procesos de recolección de datos. El uso de estas herramientas modernas puede ofrecer mediciones más exactas, reducir el tiempo y minimizar el error humano. Sin embargo, es fundamental validar estas tecnologías para asegurarse de que proporcionen datos precisos y confiables en el contexto hondureño.

Esta investigación no solo determinará la herramienta más adecuada para la recolección de datos antropométricos, sino que también establecerá un estándar para futuras investigaciones y aplicaciones prácticas. Con recomendaciones claras basadas en análisis estadísticos comparativos, se podrá marcar de avance significativo el proceso de normalización de las mediciones antropométricas en el país, facilitando la creación de tablas locales precisas.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Cómo se puede verificar la confiabilidad de las metodologías, técnicas e instrumentos de medición para la recolección de medidas antropométricas tradicionales antes de realizar las mediciones finales?
2. ¿Existen datos de mediciones antropométricas realizadas a la misma población con método tradicional, fotogrametría, escáner 3D?

3. ¿Se ha determinado si las tecnologías utilizadas para mediciones antropométricas son precisas, con un análisis de estadística inferencial de las mediciones fotogramétricas y de escáner 3D en comparación con el método tradicional?
4. ¿Se puede validar que las metodologías utilizadas para la captación de medidas antropométricas a una muestra se han utilizado adecuadamente y son confiables?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar cuál de las herramientas tecnológicas, ya sea de fotometría o escáner 3D con tecnología LiDAR, presenta el mayor grado de precisión, confiabilidad y eficacia, comparándolas y evaluándolas en relación con el método tradicional de toma de dimensiones corporales mediante análisis estadístico.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Verificar la confiabilidad de las metodologías, técnica e instrumentos de medición a para la recolección de medidas antropométricas tradicionales previo a pilotaje y mediciones finales, mediante las pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad.
2. Realizar pilotaje y mediciones antropométricas finales de una muestra de población voluntaria de la facultad de ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana aplicando tres métodos distintos de medición; método tradicional, fotogrametría con la aplicación de medición de iPhone y escáner EinScan H Shining 3D, basándose en principios de ergonomía e indicaciones de la norma ISO 7250-1.
3. Determinar la precisión de las herramientas tecnológicas usadas para mediciones antropométricas por medio de la comparación de las medidas obtenidas a través de fotogrametría y escáner 3D en relación con las del método tradicional, mediante un análisis de estadística inferencial y varianza de ANOVA.
4. Validar que las metodologías utilizadas en la presente investigación son confiables y se hayan realizado de manera adecuada, por medio de pilotaje y triangulación por expertos.

III. ESTADO DEL ARTE

3.1 ANTROPOMETRÍA

La ciencia que estudia el cuerpo humano en un enfoque de las medidas, proporciones y dimensiones se llama antropometría (Agost & Vergara, 2015). Las mediciones del cuerpo que estudia esta ciencia en sus dimensiones son los músculos, tejido adiposo y hueso, la cual abarca una gran variedad unidades de medición como longitudes, peso, diámetros, anchos y se enfocan en partes del cuerpo como altura, pliegues cutáneos, longitud de extremidades, circunferencias de cintura y cabeza (Nariño Lescay et al., 2016).

Un estudio realizado en México sobre la antropometría aplicada a reconocimiento de riesgos cardiovasculares. En el estudio menciona que la grasa corporal se ha definido con relación a enfermedades cardiovasculares influenciadas, por lo que la ciencia de antropometría por su área de estudio sirve para definir estimaciones de la grasa corporal y con esto ayudar reconocimiento de enfermedades cardiovasculares, ayudando con esto a dar un mejor tratamiento de estas enfermedades (Medrano et al., 2017).

La antropometría, que estudia las mediciones del cuerpo humano, juega un papel crucial en salud, industria y ergonomía. Su aplicación en el diseño de herramientas e instrumentos para actividades diarias o laborales es esencial para asegurar el bienestar ergonómico. En nuestro país, adaptar el diseño de los puestos de trabajo a las características de la población es clave para proteger la salud de los operadores. En este estudio, la antropometría proporcionó las bases necesarias para determinar los parámetros y mediciones requeridas, facilitando la recolección de data para las tablas ergonómicas. Además, los datos recolectados por las tecnologías evaluadas en la investigación servirán para futuros diseños de trabajo más eficientes y saludables.

3.2 MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS

Cada cuerpo humano tiene una estructura anatómica distinta dependiendo sexo, raza y edad, por lo que los espacios de trabajo creados en ocasiones no están bien diseñados para las poblaciones por lo que los principios ergonómicos buscan adaptarlos; con ayuda de la antropometría se puede

modificar o crear espacios que se ajuste a las condiciones y actividades así asegurar salud y seguridad en el trabajo (López Acosta et al., 2019, p. 12).

Para poder mejorar un diseño de producto o de puesto de trabajo se deben recolectar datos antropométricos, esto se logra con procedimientos que se encuentran normalizados que especifican cuales son las medida y dimensiones corporales que se deben hacer, para estas mediciones se utilizan herramientas tradicionales como cinta métrica y pie de rey , luego los datos son analizados y se construyen las tablas que recolecten información como profundidades, perímetros, longitudes y anchuras de diferentes partes del cuerpo (Agost & Vergara, 2015).

Un proyecto en Honduras en el que se realizó el diseño de un puesto de trabajo, se basó en estudios ergonómicos, donde analizaban el ambiente de trabajo, realizando un estudio de medidas antropométricas con una muestra de la población estudiantil, en el cual se recolectaban y calculaban un promedio de las diferentes dimensiones antropométricas del cuerpo humano para después poder evaluar el puesto de trabajo y presentar mejoras (Osorio Mendoza, 2019).

En este estudio, el concepto de antropometría se utilizó para definir lo que denominamos "parámetros", que eran las medidas clave necesarias para conocer las dimensiones del cuerpo humano. Estas dimensiones, al ser analizadas para toda la población, resultaron esenciales para optimizar el diseño de los espacios, facilitando así un entorno ergonómico. Las medidas antropométricas obtenidas permitieron comparar la precisión de las metodologías empleadas, facilitando el análisis comparativo de las diferentes herramientas tecnológicas de captación.

3.3 TABLAS ANTROPOMÉTRICAS

La antropometría es la disciplina que se ocupa de medir las dimensiones del cuerpo humano con el propósito de clasificar y comparar datos antropológicos. A nivel mundial, se utiliza para obtener mediciones e índices corporales que permiten conocer las proporciones y particularidades del cuerpo humano mediante métodos científicos. (Alarcon Vilca, 2019). La aplicabilidad de las tablas de mediciones antropométricas se encuentra en la obtención de criterios de diseño y dimensión de productos y espacios, con el uso de criterios ergonómicos y tablas antropométricas se pueden solucionar aspectos básicos del diseño (Agost Torres, 2023).

Un estudio realizado en Venezuela sobre medidas antropométricas en posición de bipedestación obtenido mediante tablas antropométricas y medidas obtenidas por antropómetro de Harpenden, se realiza análisis estadístico para comparar ambos métodos se determina que estadísticamente no representa diferencias entre las mediciones y concluye que realizar estudios de antropometría con tablas antropométricas representa un costo más bajo (Labrador Parra et al., 2023).

En esta investigación, se utilizó el concepto de tablas antropométricas para definir los parámetros longitudinales y de circunferencia mediante diversas herramientas tecnológicas de medición. Estos parámetros fueron esenciales para recolectar datos destinados a desarrollar tablas específicas para Honduras. Contar con tablas propias del país resultó crucial para diseñar espacios seguros y confortables. Por ello, se destacó la importancia de investigar las mediciones necesarias y los instrumentos adecuados para su recolección. La disponibilidad de tablas locales es clave para mejorar la ergonomía en los espacios laborales, haciendo fundamental investigar herramientas que agilicen la recopilación de datos antropométricos de la población hondureña.

3.4 ERGONOMÍA (DISEÑO DE PUESTOS DE TRABAJO)

La ergonomía es la disciplina que ajusta el entorno laboral a las necesidades humanas para mejorar su bienestar y eficiencia, optimizando la interacción entre las personas y su espacio de trabajo, según la Asociación Internacional de Ergonomía (IEA). Su rama física se enfoca en estudiar posturas correctas, manejo seguro de cargas y movimientos repetitivos para prevenir lesiones y enfermedades ocupacionales, contribuyendo a la salud física, mental y social de los trabajadores al reducir los riesgos laborales. (Guillén Fonseca, 2006)

La investigación realizada por la Universidad Privada del Norte encontró que una ergonomía inadecuada en las plantas industriales puede provocar problemas de salud entre los empleados, lo que afecta negativamente la eficiencia operativa de la empresa. El estudio subrayó la importancia de implementar normativas ergonómicas para minimizar los riesgos, mejorar las condiciones de trabajo y promover el bienestar de los trabajadores. Asimismo, se hizo hincapié en la necesidad de desarrollar políticas públicas en Perú que consideren los riesgos laborales

específicos para ambos géneros, fomentando la equidad y desafiando los estereotipos de género. (Honorio, 2018)

En el estudio de ergonomía para el diseño de puestos de trabajo, se utilizó para definir y corroborar los parámetros recolectados para las tablas antropométricas que se emplearán en el diseño de espacios laborales. Los principios ergonómicos ayudaron a identificar las 27 medidas que se estudiaron a lo largo de la investigación. La aplicación de estos principios en Honduras tiene el potencial de mejorar significativamente las condiciones de trabajo y la salud de los empleados. Adaptar las normativas ergonómicas al contexto hondureño podría reducir las lesiones y enfermedades laborales.

3.5 PRECISIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

La precisión en la investigación es la capacidad de un método o instrumento para proporcionar resultados que son consistentes y replicables a lo largo del tiempo. Un estudio se considera preciso cuando, bajo las mismas condiciones, produce mediciones similares en diferentes momentos, escenarios o por distintos evaluadores. La precisión es esencial para garantizar que los resultados sean fiables y que las conclusiones derivadas del estudio reflejen de manera fiel la realidad investigada, minimizando los errores de medición y fortaleciendo la confianza en los resultados obtenidos. (Manterola et al., 2018)

El artículo destaca la importancia de la confiabilidad y reproducibilidad en las mediciones de investigación, necesarias para obtener resultados precisos y válidos. Se discutieron estrategias para mejorar la confiabilidad, como la estandarización de métodos, el entrenamiento de observadores, el mantenimiento de equipos calibrados y la automatización de procesos, con el objetivo de minimizar errores y asegurar resultados consistentes en diversos contextos de investigación. (Manterola et al., 2018)

En Honduras, la precisión en la investigación es fundamental para generar datos fiables que orienten decisiones en salud pública, educación y desarrollo industrial. Mejorar la confiabilidad y reproducibilidad mediante la estandarización de procedimientos, el entrenamiento de evaluadores y la calibración de instrumentos es esencial para obtener resultados consistentes.

Esto no solo fortalece la confianza en los estudios y apoya la planificación de políticas públicas efectivas, sino que también es aplicable a nuestro estudio, asegurando que los resultados obtenidos sean precisos y útiles para el desarrollo del país.

3.6 NORMA ISO 7250-1:2017

La Norma ISO 7250-1:2017 establece un conjunto básico de medidas antropométricas del cuerpo humano destinadas a ser utilizadas en el diseño tecnológico y la ergonomía. Proporciona definiciones detalladas de las mediciones corporales y puntos de referencia esenciales para comparar grupos de población y crear bases de datos antropométricas. Esta norma sirve como guía para los ergonomistas en la definición de grupos poblacionales y la aplicación de conocimientos en el diseño de espacios de trabajo y habitabilidad, asegurando la armonía en la comparación de datos antropométricos a nivel internacional y facilitando la precisión en las mediciones, adaptándose a diversas aplicaciones en el diseño. (Terry & Galindo, 2020)

En este estudio, llevado a cabo en Bolivia, la Norma ISO 7250-1:2017 fue fundamental para realizar las mediciones antropométricas de las trabajadoras en el puesto de selección manual de grano de quinua. Esta norma proporcionó una guía estandarizada para definir y medir las dimensiones corporales necesarias, permitiendo obtener datos precisos y consistentes sobre las características físicas de las trabajadoras. Estos datos fueron esenciales para el rediseño del puesto de trabajo, asegurando que las modificaciones propuestas fueran adecuadas y ergonómicamente correctas, contribuyendo así a reducir los riesgos de trastornos musculoesqueléticos (TME) y a mejorar las condiciones laborales en la empresa. (Cervantes-Morant et al., 2023)

En Honduras, la Norma ISO 7250-1:2017 puede ser clave para mejorar las condiciones laborales mediante el uso de medidas antropométricas estandarizadas. Esto permitiría adaptar los puestos de trabajo a las características físicas locales, reduciendo el riesgo de trastornos musculoesqueléticos (TME) y mejorando la seguridad y eficiencia en el trabajo. Para nuestro estudio, aplicar esta norma garantizaría mediciones fiables y diseños ergonómicos adecuados, contribuyendo a un entorno laboral más seguro y saludable en el país.

3.7 MÉTODO TRADICIONAL DE MEDICIÓN (ANTROPOMETRÍA 1D)

La antropometría tradicional utiliza marcadores anatómicos y herramientas simples como reglas y calibres, de esta forma se logran realizar medidas de dimensiones corporales de manera económica y sencilla (Esteller & Belén, 2018). Los datos de dimensiones unidimensionales (1D) incluyen medidas como la altura, las longitudes y las circunferencias de diferentes partes del cuerpo. Estas medidas son útiles para determinar el tamaño del cuerpo humano, pero no proporcionan información sobre su forma. (Alonso Becerra & Hernández González, 2016).

Una investigación en el sector pediátrico en México realizó mediciones de dimensiones corporales en neonatos, con el uso de la antropometría, para este estudio se capturaron mediciones longitudinales como: circunferencias de tórax, circunferencia de brazos, pliegues cutáneos, tomadas con cinta métrica, cinta de teflón y plicómetro. Al tratarse de una muestra de bebés recién nacidos, el realizar las mediciones podría presentar dificultades, el manejo de las técnicas de medición y el uso correcto de las herramientas represento un factor crucial para obtener mediciones precisas (Cárdenas-López et al., 2005).

En nuestra investigación, el método tradicional se utilizó como base de comparación para determinar la precisión de las herramientas tecnológicas empleadas en la captura de datos antropométricos. Para la captación de medidas con este método, se utilizaron tres instrumentos de medición: el flexómetro, el antropómetro y la cinta antropométrica, que permitieron recolectar los 27 parámetros analizados en el estudio. Este método tradicional, por su simplicidad, bajo costo y uso frecuente en estudios, se estableció como el método base. Proporciona mediciones precisas y sirve como punto de referencia para evaluar la confiabilidad de los datos obtenidos con otros métodos y herramientas.

3.8 FOTOGRAMETRÍA

La fotogrametría, se basa en el uso de imágenes estándar, tomadas con cualquier cámara fotográfica y desde diversos ángulos. Es crucial que el objeto sea completamente visible desde al menos dos perspectivas diferentes. (Navarro, 2012, p. 4). El objeto debe ser fotografiado, dado que su procesamiento depende de un equipo específico y del caso particular, y la captación de

estos datos no forma inmediata, el proceso se realiza a través de un software especializado (López & Guadalupe, 2021).

El Instituto de Arqueología de Mérida en España, realizó un estudio sobre la aplicación de la herramienta tecnológica de fotometría para poder digitalizar legados arqueológicos, con el fin de buscar la automatización de estos procesos. La necesidad de extraer información métrica de las imágenes hace emplear la fotometría con el uso de cámaras de alta calidad la cual brinda resultados precisos. El estudio también mencionó métodos de fotogrametría que utilizan solo percepción computacional que resulta ser menos precisos (Ortiz Coder, 2013).

El uso de la fotogrametría para realizar mediciones facilita los procesos de medición buscando con ello la automatización, estas tecnologías se han utilizado mayormente en topología y arquitectura, la posibilidad de utilizar este tipo de herramienta en mediciones antropométricas puede significar una mejora en los procesos, de forma que sean más eficientes y cómodos para el sujeto medido, sin descuidar la precisión de las medidas. Pero es necesario hacer un análisis de la implementación de esta tecnología para validar la confiabilidad de los datos.

El método de fotogrametría fue una de las herramientas tecnológicas utilizadas para la captura de datos antropométricos en esta investigación. Para utilizar esta metodología, se empleó la aplicación Measure en un iPhone, lo que permitió recolectar los 27 parámetros necesarios para los análisis. La posibilidad de utilizar esta herramienta en mediciones antropométricas puede mejorar los procesos, haciéndolos más eficientes y cómodos para el sujeto medido, sin comprometer la precisión de las medidas. Sin embargo, es necesario realizar un análisis exhaustivo de la implementación de esta tecnología para validar la confiabilidad de los datos obtenidos.

3.9 ESCÁNER 3D

Un sistema óptico 3D sin contacto utiliza equipos que funcionan mediante la emisión de energía, como luz o sonido, para obtener información espacial del sujeto, su principal ventaja es la rapidez en el proceso de adquisición de datos. (Lema Ordóñez & Martínez Luzuriaga, 2017). El propósito de un sistema óptico 3D emplea tecnología avanzada para capturar datos de manera digital, con

el fin de realizar levantamientos de información, modelado y restauración.(Valverde Bastidas et al., 2020).

Se realizó una validación del uso de escáner en tres dimensiones para sistemas de medición antropométrica, realizado por tres investigadores de dos universidades de Colombia, la investigación tenía como fin determinar si se podían recolectar medidas antropométricas con el uso del escáner 3D, para el análisis de la herramienta se estudiaron tres medidas corporales, que fueron capturadas por el escáner analizado y por instrumentos de medición tradicional, para luego validar con base en la norma ISO 20685. Como resultado el estudio reveló que el escáner específico analizado estaba validado para algunas de las medidas analizadas (Arenas Betancur et al., 2023).

Los avances tecnológicos permiten una mejora en los procesos, uno de los instrumentos que se han estado utilizando en la actualidad en las ingenierías para gestión de datos digitales e impresiones en tres dimensiones, son los escáneres 3D. En el estudio se utilizó esta herramienta tecnológica para la toma de mediciones antropométricas el uso de este tipo de tecnología que permitiría la captación de mediciones de forma indirecta, disminución en los tiempos de captación de mediciones. Pero para determinar si esta herramienta de escáner 3D puede ser utilizada en medidas específicas se deben realizar pruebas de incertidumbre y validación.

3.10 COMPARACIÓN DE HERRAMIENTAS DE MEDICIÓN

La captación de mediciones antropométrica se puede realizar con distintos tipos de tecnologías y formatos que puede facilitar la recolección de datos como, formato unidimensional o tradicional que utiliza los instrumentos básicos de medición, bidimensional y tridimensional, cada uno de estos métodos presentan distintas ventajas y desventajas en la toma de los datos, precisión, tiempo de medición y costo por lo que se hace un análisis crítico comparativo de las tecnologías ayuda a definir herramienta que beneficie la toma de mediciones (Nariño Lescay et al., 2016).

Un estudio realizado en Perú sobre la comparación de métodos para la medición de ángulos de Powell, que involucra 4 tipos de ángulos. Se compararon las medidas recolectadas por el método digital utilizando el software de AutoCAD con las medidas de forma manual, para conocer la

confiabilidad se evaluó la precisión de los instrumentos el coeficiente Kappa, con el análisis se concluye que no existe diferencia entre las mediciones por lo que se pueden usar ambos metodos para realizar estas medidas y el estudio recomendando el uso de AutoCAD (Bernilla Sánchez, 2019).

La comparación de métodos o de herramientas de medición permitió en esta investigación saber si las mediciones eran confiables, ya que la comparación se realiza con un método que ya conoce su precisión y se conoce qué las mediciones que se obtienen son fidedignas. Por lo que al intentar implementar nuevas tecnologías a tipos de mediciones como en la investigación de ángulos de Powell en Perú, la validación y comparación de metodos se vuelve una pieza clave para poder recopilar datos con tecnologías emergentes, de forma que se puedan usar después en procesos de captación de mediciones, así como se está realizando en estudios de recolección de medidas para tablas antropométricas en Honduras.

3.11 VALIDACIÓN DE HERRAMIENTA DE MEDICIÓN

Validación es el proceso en el que se desarrollan pruebas y se analiza si la aplicación específica cumplió con los requisitos necesarios para considerar que se ha utilizado o implementado de manera correcta. Al momento de realizar mediciones, para que cuenten con una validación debe pasar tipos de pruebas especificadas por especialista en el área, que demuestren un error mínimo en la medición, revisadas por estudios de confiabilidad, analisis de repetibilidad y reproductividad (Burgos Navarrete & Escalona, 2017).

En Colombia se realizó un estudio sobre la confiabilidad de medidas auto reportadas comparada con las medidas con herramientas tradicionales, el estudio como problemática estableció que la obtención de medidas antropométricas registradas de una población específica representa una dificultad por lo que se realizar sistemas de auto reporte de medidas mejoraría el proceso de recolección, pero para saber si estas realmente eran correctas se utilizó métodos de validación de los diferentes datos recolectados y así poder validar el uso de mediciones auto reportadas en estudios posteriores que requieran las dimensiones antropométricas (Díaz-García et al., 2012).

De manera similar, en Bogotá un estudio que tenía como objetivo la evaluación de medidas antropométricas para conocer su precisión y confiabilidad aplicaron metodologías de validación en datos recolectados y calcularon el error técnico que luego de su análisis se puede definir si las mediciones están dentro de las tolerancias aceptadas. Los investigadores mencionan que en los estudios antropométricos los esfuerzos realizados para la toma de mediciones representan un elemento importante al considerar para la confiabilidad y precisión de los datos, por lo que realizar pruebas de validación es un punto clave para las mediciones (Geraldo, 2014).

En este estudio de medición de medidas antropométricas, la validación de las herramientas y metodologías es fundamental para garantizar la confiabilidad y fiabilidad de las medidas recolectadas, la calidad de las medidas es un aspecto esencial para que los análisis posteriores que se realicen en las investigaciones sean verídicos, con resultados válidos y aplicables, por lo que entender este concepto de validación de herramienta de medición es importante para determinar si los datos se puedan utilizar en distintos sectores como el de la salud, seguridad, medicina y diseño de puesto de trabajo.

3.12 ESTADÍSTICA INFERENCIAL

La estadística inferencial, es una rama de la estadística que se encarga de realizar estimaciones y sacar conclusiones sobre una población completa a partir de un conjunto de datos extraídos de una muestra representativa. Esta disciplina emplea métodos estadísticos y matemáticos que permiten extrapolar las propiedades observadas en la muestra al conjunto total de la población, siempre que la muestra sea suficientemente representativa y se utilicen técnicas validadas adecuadamente (Nolberto Sifuentes & Ponce Aruneri, 2008).

En la Facultad de Química de la Universidad de la República en Uruguay, se aplicó la estadística inferencial para investigar cómo la modalidad de cursado (presencial o en línea) afecta el rendimiento académico en la asignatura de Química General I. Dado que no era viable estudiar a todos los estudiantes, se escogieron muestras representativas de los años 2012 a 2018. Esta metodología permitió evaluar el impacto de la modalidad de cursado y la eficacia de una intervención educativa realizada en 2017 y 2018, que consistió en la incorporación de materiales interactivos para mejorar el desempeño académico (Veiga et al., 2020).

En el análisis de herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas en Honduras, la estadística inferencial permite comparar la precisión y confiabilidad del escáner 3D EinScan H1 y la fotometría mediante la App Medición de iPhone en relación con el método tradicional. A través de la evaluación de muestras representativas, se puede generalizar los hallazgos a toda la población y determinar cuál de las herramientas ofrece los datos más precisos para la elaboración de tablas antropométricas en la región.

3.13 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

La Estadística Descriptiva organiza y presenta datos de forma clara y comprensible sin hacer predicciones. Emplea tabla, gráficos para ilustrar patrones, además, utiliza medidas como la media, mediana y moda para identificar valores centrales, además de indicadores como el rango y la desviación estándar para mostrar la variabilidad de los datos. Su objetivo principal es simplificar y presentar la información de forma clara, permitiendo una comprensión más sencilla de grandes volúmenes de datos (Borrego del Pino, 2008).

En un estudio realizado en Ecuador, se aplicó la estadística descriptiva para analizar datos de 428 pacientes atendidos por parto o cesárea en el Hospital Vicente Corral Moscoso, durante un período específico. Este enfoque permitió organizar y resumir datos esenciales, como características demográficas y clínicas de las pacientes. Se establecieron asociaciones entre diferentes variables, como la edad gestacional y el tipo de parto, utilizando medidas estadísticas para identificar patrones y tendencias relevantes. La estadística descriptiva fue clave para sintetizar la información, facilitando la interpretación de los resultados y permitiendo una comprensión clara de las características de la población estudiada (Díaz-Granda & Díaz-Granda, 2019).

La estadística descriptiva es crucial en el análisis comparativo de herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas. Organiza y presenta los datos de manera clara, utilizando tablas y gráficos para evaluar la precisión y fiabilidad de cada herramienta. Calculando medidas como promedios y desviaciones, permite identificar cuál herramienta es más precisa y consistente. Esto facilita la toma de decisiones informadas sobre la mejor opción para crear tablas antropométricas en Honduras, mejorando la calidad de los datos utilizados para diseñar soluciones adaptadas a la población local.

3.14 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

El ANOVA, o análisis de varianza, es una herramienta estadística que permite comparar las medias de tres o más grupos para entender cómo una o más variables independientes afectan una variable dependiente. La versión básica, conocida como ANOVA de una vía, se usa para comparar grupos definidos por una sola variable independiente, mientras que las versiones más avanzadas, como el ANOVA de dos o más factores y el ANOVA de medidas repetidas, facilitan el análisis de efectos más complejos y de datos recogidos en múltiples ocasiones (Dagnino, 2014).

En la investigación acerca del efecto de las variables materiales en la satisfacción con la democracia en América Latina, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA) para examinar el impacto de factores como la seguridad, la disminución de la pobreza, la equidad y el empleo. afectan la percepción ciudadana de los regímenes democráticos. El ANOVA permitió identificar diferencias significativas en la satisfacción con la democracia según los distintos niveles de estas variables. Los resultados mostraron que las variables materiales explican más del 30% de la variación en la satisfacción democrática, destacándose la brecha de pobreza y la tasa de victimización como los factores más influyentes (Miranda Delgado, 2021).

El análisis ANOVA es clave en la comparación de herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas en Honduras. Este método permite identificar y evaluar diferencias significativas en la precisión y consistencia de las herramientas. A través del uso del análisis de varianza para comparar los resultados obtenidos, ANOVA ayuda a determinar cuál tecnología proporciona mediciones más confiables. Esto facilita la toma de decisiones informadas sobre la opción más adecuada para desarrollar tablas antropométricas en el contexto hondureño, garantizando que los datos recopilados se ajusten a las necesidades específicas de la población local.

3.15 PRUEBAS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

La repetibilidad de un sistema de medición se refiere a la capacidad de obtener resultados consistentes cuando se mide la misma característica de una pieza bajo condiciones controladas y con intervalos de tiempo cortos. Esto implica que, al repetir la medición varias veces con el mismo operador e instrumento, los resultados deben ser prácticamente iguales. En esencia, la

repetibilidad mide la estabilidad y precisión del sistema de medición, asegurando que cualquier variación en los resultados sea mínima y que el sistema sea confiable para realizar mediciones consistentes en condiciones similares (Vinasco Isaza, s. f.).

La reproducibilidad de un sistema de medición mide la precisión y variabilidad de las mediciones de un atributo cuando se realizan bajo diferentes condiciones, como distintos operadores, instrumentos, laboratorios o momentos. En instrumentos manuales, la habilidad del operador puede afectar la reproducibilidad, mientras que, en sistemas automáticos, el impacto del operador es menor. Para asegurar una evaluación válida de la reproducibilidad, es importante definir claramente las condiciones que pueden cambiar entre mediciones (Vinasco Isaza, s. f.).

En una investigación llevada a cabo en la Ciudad de México, se analizó la consistencia y la precisión de la capacidad inspiratoria (IC) evaluada mediante espirometría lenta y pletismografía corporal. Se incluyó a adultos sanos que realizaron múltiples maniobras con ambos métodos. La espirometría lenta mostró una alta repetibilidad, mientras que la pletismografía presentó mayor variabilidad. Los resultados indicaron que, aunque ambos métodos son útiles, la espirometría lenta ofrece una mayor consistencia en las mediciones y podría ser preferible para ciertos usos clínicos y de investigación debido a su mejor repetibilidad y reproducibilidad (Vargas-Domínguez & Vázquez-García, 2024).

Para implementar pruebas de repetibilidad y reproducibilidad en la investigación sobre herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas en Honduras, se debe empezar por definir las variables y métodos a evaluar, como calibradores y antropómetros. Se elige una muestra representativa y se estandarizan los procedimientos de medición para garantizar consistencia. Se realizan mediciones repetidas con cada método, analizando la variabilidad dentro del mismo método (repetibilidad) y entre diferentes operadores o momentos (reproducibilidad).

3.16 TRIANGULACIÓN DE EXPERTOS.

La triangulación de expertos consiste en involucrar a varios especialistas en el análisis de un fenómeno para obtener una visión más amplia y precisa. Al reunir las opiniones y valoraciones de diferentes expertos, se minimizan los sesgos personales y se enriquece la interpretación de los

datos. Este enfoque favorece una revisión más detallada del tema, mejorando la validez, profundidad de los resultados, ofreciendo una comprensión más completa y equilibrada del fenómeno en cuestión (Benavides & Gómez-Restrepo, 2005).

En la evaluación del Programa Nacional de Cuidados Domiciliarios, realizada por la Universidad de Buenos Aires (Argentina), se utilizó un enfoque de triangulación para ofrecer una visión completa y detallada del programa. La triangulación de expertos consistió en consultar a diversos especialistas, incluyendo coordinadores, beneficiarios y cuidadoras, mediante entrevistas y grupos focales. Además, se empleó la triangulación de lugares al considerar diferentes localidades, tanto urbanas como rurales. Esta metodología permitió una evaluación exhaustiva, destacando tanto los aspectos positivos como los problemas del programa, y facilitó la elaboración de recomendaciones para su optimización (Fassio & Ruddy, 2013).

La triangulación de expertos juega un papel esencial al ofrecer una variedad de perspectivas especializadas, lo que enriquece el análisis de las herramientas tecnológicas para mediciones antropométricas en Honduras. Consultar a expertos en tecnología y antropometría valida la precisión y consistencia de los datos, minimiza sesgos y mejora la solidez de los resultados. Lo cual este enfoque permite adaptar la evaluación al contexto local y resolver posibles discrepancias en los resultados, asegurando así que las decisiones sobre las mejores herramientas para crear tablas antropométricas estén bien fundamentadas y sean adecuadas para las necesidades específicas de Honduras.

IV. METODOLOGÍA

4.1 ENFOQUE

En este estudio se optó por un enfoque cuantitativo, distinguido por su rigor científico y la utilización del método científico para evaluar fenómenos con precisión. Este enfoque se centra en la recopilación de datos con el propósito de corroborar hipótesis mediante el uso de métricas numéricas y técnicas estadísticas. A través de este análisis, es posible reconocer patrones de comportamiento y validar teorías. El proceso es estructurado y sigue una secuencia estricta, donde cada etapa es fundamental y debe ser cumplida sin excepciones (Hernández- Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

4.1.1 ALCANCE

El estudio se enfocó en un análisis descriptivo, con el objetivo de proporcionar una visión detallada de un fenómeno o grupo al identificar y registrar sus características y dimensiones. Los estudios descriptivos se centran en detallar propiedades, situaciones y perfiles de diferentes elementos, como grupos o procesos, sin examinar las relaciones entre variables. En este caso, se determinó con precisión qué se iba a medir y sobre qué se recolectarían los datos, ofreciendo una visión clara y completa. Aunque no se investigaron las relaciones entre variables, el estudio creó una base sólida para futuras investigaciones más detalladas (Hernández- Sampieri & Mendoza Torres, 2023).

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

- 1) Estatura: Es la medida que va desde el suelo hasta el punto más alto de la cabeza de una persona. (ISO, 2017).
- 2) Altura de los ojos: Es la distancia que se toma desde el suelo hasta la parte superior del ojo. (ISO, 2017).
- 3) Altura de los hombros: Es la distancia que se extiende desde el suelo hasta el punto más alto del hombro. (ISO, 2017).

- 4) Altura de los nudillos: Es la distancia desde el suelo hasta la altura del agarre del puño. (ISO, 2017).
- 5) Altura de los codos: Es la distancia desde el suelo hasta la base del codo. (ISO, 2017).
- 6) Agarre de codo: Es la distancia horizontal de la bursa (parte posterior del codo) hasta el agarre con el codo doblado. (ISO, 2017).
- 7) Profundidad de tórax: Es la profundidad horizontal máxima del tórax a nivel del pezón. (ISO, 2017).
- 8) Ancho de cadera: Es la medida más amplia del ancho de las caderas. (ISO, 2017).
- 9) Circunferencia de cintura: Es la medida de la circunferencia de la cintura. (ISO, 2017).
- 10) Ancho de mano: Es la medida de la separación entre el dedo meñique y el dedo pulgar de la mano de una persona. (ISO, 2017).
- 11) Longitud de mano: Es la distancia que se extiende desde la punta del dedo medio hasta la muñeca. (ISO, 2017).
- 12) Ancho de pie: Es la distancia desde la parte exterior del pie hasta el extremo opuesto del mismo pie. (ISO, 2017).
- 13) Longitud de pie: Es la longitud medida desde la parte trasera del talón hasta la punta del dedo más largo del pie de una persona. (ISO, 2017).
- 14) Largo de cabeza: Es la distancia desde la frente hasta el opistocráneo (parte posterior de la cabeza). (ISO, 2017).
- 15) Ancho de cabeza: Medida que consiste en el ancho de la cabeza. (ISO, 2017).
- 16) Circunferencia de cabeza: Es la medida de la circunferencia más grande de la cabeza, tomada por encima de la glabella y en el punto más posterior del cráneo. (ISO, 2017).
- 17) Altura sentada: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado el punto más alto de la cabeza de una persona. (ISO, 2017).
- 18) Altura de los ojos sentado: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado hasta la parte superior del ojo de una persona. (ISO, 2017).
- 19) Altura de los hombros sentado: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado hasta el punto más alto del hombro. (ISO, 2017).

- 20) Altura de codos estirados de forma vertical, sentado: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado hasta la base del codo. (ISO, 2017).
- 21) Altura de los muslos sentado: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado hasta el punto más elevado del muslo. (ISO, 2017).
- 22) Altura de las rodillas sentado: Es la distancia que va desde la base donde se encuentra sentado hasta la zona superior de la rodilla. (ISO, 2017).
- 23) Altura se poplítea (Parte posterior de la rodilla) sentado: Es la medida vertical que se toma desde el suelo hasta la parte posterior de la rodilla de una persona cuando está sentada. (ISO, 2017).
- 24) Distancia de glúteos a la rodilla sentado: Es la longitud que se mide desde la parte trasera del glúteo hasta la parte delantera de la rodilla de una persona cuando está en posición sentada. (ISO, 2017).
- 25) Distancia de un codo al otro: Es la separación entre las partes exteriores de los codos cuando la persona se encuentra en posición sentada. (ISO, 2017).
- 26) Ancho de hombros sentado: Es la medida de la separación entre las zonas exteriores de los hombros cuando la persona está en posición sentada. (ISO, 2017).
- 27) Ancho de caderas sentado: Es la medida de la anchura máxima de las caderas cuando la persona está sentada. (ISO, 2017).

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

4.3.1 INSTRUMENTOS

1. Cinta Antropométrica: Se utilizó para medir circunferencias corporales.
2. Antropómetro: Se utilizó para medir dimensiones corporales, tanto ancho y profundidad.
3. Cinta Métrica: Se utilizó para medir la altura y longitud desde el suelo hasta puntos específicos del cuerpo.
4. Aplicación de dispositivos iPhone "Measure" (Fotogrametría): Se utilizó para obtener medidas antropométricas mediante fotogrametría, capturando imágenes y calculando dimensiones directamente desde la cámara del dispositivo.

5. Microsoft Excel: Se utilizó para registrar, organizar y analizar datos antropométricos. La herramienta permitió la creación de tablas, gráficos y cálculos estadísticos necesarios para interpretar las medidas y evaluar los resultados.
6. Escáner EinScan H1 shining 3D: El escáner EinScan H1 Shining 3D se empleó para capturar modelos tridimensionales de alta precisión de los cuerpos. Esta tecnología de escaneo 3D permitió obtener datos detallados de las dimensiones antropométricas, facilitando un análisis exhaustivo y preciso de la forma y las medidas.
7. Software Exscan: Se utilizó para procesar los datos obtenidos del escáner EinScan H1 Shining 3D. Esta herramienta permitió refinar los modelos tridimensionales
8. Solidworks: Del software Exscan, se exportaron los datos a Solidworks para obtener las dimensiones de los modelos tridimensionales.
9. Estadiómetro: Se utilizó para medir con precisión la altura de las personas
10. Cronómetro: Se utilizó para medir el tiempo requerido para realizar cada medición.

4.3.2 TÉCNICAS

1. ISO 7250-1:2017: Se empleó la técnica para estandarizar las mediciones antropométricas, asegurando que se siguieran normas precisas y consistentes en la obtención de datos sobre dimensiones corporales.
2. Software Minitab: Se utilizó para realizar un análisis de varianza (ANOVA), lo que permitió evaluar diferencias significativas entre grupos de datos.
3. Estadística inferencial: Se utilizó para generalizar y hacer conclusiones sobre una población a partir de una muestra, mediante estimaciones, pruebas de hipótesis y análisis de significancia.
4. Estadística descriptiva: Se utilizó para analizar y resumir los datos recolectados, proporcionando una visión general de las principales características de los datos.

4.4 MATERIALES

Se emplearon los siguientes materiales para efectuar las mediciones antropométricas.

1. Tabla de madera: se empleó como límite

2. Lápiz: se utilizó como punto de referencia
3. Asiento de madera: se utilizó para las posiciones sentadas

4.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

4.5.1 POBLACIÓN

La población finita utilizada en este estudio estuvo compuesta por 20 estudiantes voluntarios de la facultad de ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana, campus Tegucigalpa.

Población delimitada de acuerdo con criterios de tiempo disponible para realizar el estudio. La limitación del tiempo total disponible, para el estudio en comparación con el tiempo necesario para realizar todas las mediciones antropométricas utilizando los tres tipos de métodos en cada sujeto seleccionado, delimitó el tamaño de la población.

4.5.2 MUESTREO

Se optó para la investigación un muestreo no probabilístico por conveniencia, las características del estudio y criterios que llevaron a la selección de esta técnica de muestreo fueron: El tiempo necesario para llevar a cabo cada medición con los tres métodos, que requiere realizar 27 medidas antropométricas por persona para cada método; la limitación en la cantidad de equipo disponible; la restricción en la velocidad de procesamiento de los equipos, la disponibilidad de solo dos investigadores para efectuar las mediciones y el tiempo total disponible para el estudio, impide la selección de una muestra mayor.

El muestreo utilizado fue de carácter no probabilístico, ya que las personas seleccionadas no son escogidas al azar, ni en función de la probabilidad, sino que en base a características específicas del estudio (Hernández- Sampieri & Mendoza Torres, 2023). De forma que los resultados se limitan a lo asociado con la muestra en cuestión, sin generalizar en todo el universo (Hernández Sampieri et al., 2014). Respecto al muestreo por conveniencia, está basado en la accesibilidad y cercanía de las personas con el investigador (Otzen & Manterola, 2017). Determinando así la cantidad de sujetos a medir, consideración las limitantes y contexto en el que se realiza el estudio.

4.5.3 MUESTRA

La muestra definida para el estudio fue 20 estudiantes voluntarios de la facultad de ingeniería industrial de la universidad tecnológica centroamericana en el campus de Tegucigalpa, la misma muestra será utilizada para recolectar los datos con los tres metodos.

4.6 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

El estudio se centró en la necesidad de adoptar nuevas tecnologías para la captura de medidas antropométricas, dado que los métodos tradicionales pueden presentar variaciones debido a la fatiga de los participantes en las mediciones. las tablas antropométricas son esenciales para el diseño ergonómico adecuado de indumentaria y el diseño de puestos de trabajo en las regiones. Por lo que la falta de ellas en Honduras subraya la necesidad de recoger datos y realizar mediciones de manera más eficiente y precisa. La incorporación de tecnologías emergentes se presenta como una solución viable para obtener estas mediciones.

En investigaciones pasadas en la Universidad Tecnológica Centroamericana, las mediciones antropométricas para la recopilación de datos se realizaron de manera manual o mediante tecnologías que no contaban con un análisis comparativo de su precisión. Por ello, el objetivo general de este estudio fue evaluar diversas herramientas tecnológicas, como la fotometría y los escáneres 3D, para determinar cuál de ellas ofrecía un mayor grado de precisión y confiabilidad en las mediciones. Se buscó identificar un método que mejorara las prácticas de medición en términos de tiempo y comodidad para los participantes, sin comprometer la calidad de los datos obtenidos.

Para la realización del estudio, se seleccionó una muestra de veinte estudiantes voluntarios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Tecnológica Centroamericana, campus Tegucigalpa. Esta selección fue un muestreo no probabilístico por conveniencia, dado que las características específicas del estudio, como el tiempo disponible para su ejecución, la cantidad de mediciones requeridas por persona y el tiempo necesario para cada medición, determinaron el tamaño de la muestra. Con la muestra y el objetivo general establecidos, la investigación se desarrolló en función de tres objetivos específicos que guiaron el estudio.

Como primer objetivo específico del estudio, se determinó realizar mediciones antropométricas de la muestra mencionada, utilizando tres métodos distintos: el método tradicional, la fotogrametría con la aplicación de medición de iPhone y el escáner EinScan H Shining 3D. Para llevar a cabo las mediciones, se tomaron como referencia las especificaciones de la norma ISO 7250-1 y los principios de ergonomía. Las mediciones antropométricas realizadas se seleccionaron en base a las utilizadas en estudios anteriores para la creación de bases de datos antropométricas en Honduras, y fueron las siguientes:

1. Estatura
2. Altura de los ojos
3. Altura de los hombros
4. Altura de los nudillos
5. Altura de los codos
6. Agarre de codo
7. Profundidad de tórax
8. Ancho de cadera
9. Circunferencia de cintura
10. Ancho de mano
11. Longitud de mano
12. Ancho de pie
13. Longitud de pie
14. Largo de cabeza
15. Ancho de cabeza
16. Circunferencia de cabeza
17. Altura sentada
18. Altura de los ojos sentado
19. Altura de los hombros sentado
20. Altura de codos estirados de forma vertical, sentado
21. Altura de los muslos sentado.
22. Altura de las rodillas sentado

23. Altura se poplítea (Parte posterior de la rodilla) sentado
24. Distancia de glúteos a la rodilla sentado
25. Distancia de un codo al otro
26. Ancho de hombros sentado
27. Ancho de caderas sentado

Cabe mencionar que, en estudios anteriores, la cantidad de mediciones antropométricas utilizadas para la creación de bases de datos era de 29. Sin embargo, en este estudio se excluyeron dos medidas: peso y agarre de frente. La medición del peso no se incluyó, ya que es una medida de fuerza que no puede ser capturada por las tecnologías empleadas en el estudio, las cuales están destinadas a mediciones longitudinales. Por otro lado, la medida de agarre de frente se excluyó debido a que la posición requerida para el escaneo 3D resultaba incómoda para el participante, dado que el escaneo podía requerir más de cinco minutos en la misma posición.

Antes de llevar a cabo la recolección de medidas para el estudio, se realizó un pilotaje con el objetivo de validar los instrumentos, técnicas y métodos utilizados. Como resultado del pilotaje, se obtuvieron recomendaciones y se identificaron oportunidades de mejora en los procesos de medición, que se implementaron en las mediciones finales. Además, se utilizó otro método de validación, el estudio de repetibilidad y reproducibilidad, con el fin de determinar si existía variación de la medición entre los operadores o los métodos empleados.

Con los datos recolectados, se pasó al siguiente objetivo específico, que consistió en determinar la precisión de las herramientas tecnológicas en comparación con el método tradicional. Esto se logró mediante un análisis de estadística inferencial y una prueba de ANOVA realizadas con el software Minitab. El análisis comparó las mediciones obtenidas con los tres métodos, la comparación se centró en determinar si las mediciones realizadas con las herramientas tecnológicas coincidían con las del método tradicional en términos de precisión.

Como última fase de los análisis y metodologías implementadas en el estudio, se llevó a cabo la tercera metodología de validación descrita en el último objetivo específico: la triangulación por expertos. Esta metodología de validación consistió en que un grupo de expertos revisara tanto el estudio como los resultados obtenidos. El propósito de esta revisión era asegurar la credibilidad

de los métodos, técnicas y análisis empleados en la investigación, proporcionando una validación adicional y garantizando la fiabilidad de los hallazgos del estudio.

4.7 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para poder confirmar la validez del estudio, se emplearon tres herramientas de validación que aseguran que las metodologías utilizadas sean confiables. El primer método de validación fue el pilotaje, para este se realizaron pruebas de medición con los tres métodos en tres personas, con la prueba se verificó la fiabilidad de las herramientas, instrumentos y método utilizado. Asimismo, gracias a las pruebas piloto, se identificaron mejoras en las prácticas de captación de medidas, tanto para los métodos con tecnologías como para el tradicional, lo que mejoró la agilidad y precisión en el proceso de toma de medidas antes de llevar a cabo las mediciones finales.

Como segundo método de validación para asegurar que las medidas antropométricas eran confiables, se realizó un estudio (R&R) Repetibilidad y Reproducibilidad, que mide la variabilidad de las mediciones por el mismo operado y la variabilidad de medición de distintos operadores, este estudio permitió identificar fuentes de variación, con el fin de realizar ajuste y así garantizar que las mediciones futuras sean precisas y confiables. Finalmente, como tercer método, se realizó triangulación por expertos, donde se presentó el estudio a especialistas en el tema para su revisión y validación final.

V. RESULTADO Y ANALISIS

5.1 PRUEBAS DE REPETITIVIDAD Y REPRODUCIBILIDAD DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA RECOLECCIÓN DE MEDIDAS CON EL MÉTODO TRADICIONAL

Se realizó un análisis específico para determinar la Repetitividad (R) y Reproducibilidad (R) con el fin de validar el uso de los instrumentos por parte de los antropometristas, quienes serían los encargados de la recolección de las medidas. Este estudio se llevó a cabo antes de la recolección de las mediciones finales, que se utilizarían para comparar los sistemas de medición antropométrica que se evaluaría en el estudio. Al realizar el análisis R&R, se permitió evaluar los factores que afectaban la variabilidad en el estudio y tomar medidas correctivas para minimizar el error de medición.

Las medidas directas o tradicionales representaban las mediciones más precisas, pero siempre era necesario realizar pruebas que aseguraran que los procedimientos de toma de medidas se estaban llevando a cabo adecuadamente por parte de los antropometristas (Carmona Benjumea, 2003). Las medidas tradicionales eran un punto clave en esta investigación, ya que servían como base de comparación para determinar si los otros sistemas de medición propuestos eran válidos. Por lo tanto, el estudio R&R permitió evaluar los factores de variación y asegurar la fiabilidad de los procedimientos de medición tradicionales.

Para evaluar los distintos factores de varianza en el estudio R&R realizado, Minitab utiliza el análisis de varianza. Se emplearon las siguientes hipótesis en el análisis de varianza que se deseaba evaluar mediante los valores p, los valores p generados durante el análisis permiten determinar si hay suficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula y concluir que la variación sobre la variación de los factores. Se usaron las siguientes hipótesis según el análisis de varianza que se deseaba evaluar:

1. Hipótesis de variación entre partes

$$H_0: \mu(\text{parte1}) = \mu(\text{parte2}) = \dots = \mu(\text{parte10})$$

$$H_A: \text{Alguna de las medias de las partes es distinta}$$

Ecuación 1-Hipótesis nula y alternativa de variación entre partes

Fuente: Elaboración propia

2. Hipótesis de variación entre operadores

$$H_0: \mu(\text{operador 1}) = \mu(\text{operador 2})$$

$$H_A: \mu(\text{operador 1}) \neq \mu(\text{operador 2})$$

Ecuación 2-Hipótesis nula y alternativa de variación entre antropometristas

Fuente: Elaboración propia

3. Hipótesis de interacción entre pieza por operador

$$H_0: \mu(\text{parte 1; operador 1}) = \mu(\text{parte 1; operador 2}) = \dots = \mu(\text{parte 10; operador 2})$$

$$H_A: \text{Alguna de las medias de es distinta}$$

Ecuación 3-Hipótesis nula y alternativa de interacción entre piezas por operador

Fuente: Elaboración propia

Estas hipótesis se evalúan con un nivel de confianza del 95%, por lo que la hipótesis nula se rechaza cuando el valor p es menor que el nivel de significancia Alpha de 0.05. Una vez concluido el análisis de la hipótesis, se determinará si los factores son iguales o distintos, o si existe alguna relación entre ellos. En el caso de la hipótesis de interacción (ver ecuación 3), si el valor p es mayor o igual a 0.05, se concluye que el nivel de interacción no es significativo o no se puede determinar la existencia de un efecto de interacción entre los factores.

El estudio R&R evaluó tanto el desempeño individual de cada operador como la comparación entre ellos para realizar las mediciones con cada instrumento. Se llevó a cabo un análisis R&R para cada uno de los instrumentos de medición utilizados: flexómetro, cinta antropométrica, antropómetro, aplicación Measure y software SolidWorks. Para el estudio, se utilizaron 10 piezas. Cada antropometrista realizó 3 mediciones de cada pieza con cada uno de los instrumentos

evaluados, lo que resultó en un total de 300 mediciones. Ver anexo 1. formato utilizado para el registro de datos recolectados.

5.1.1 ESTUDIO R&R DE MEDICIONES CON EL FLEXÓMETRO

Se recolectaron las 60 mediciones necesarias para realizar el análisis R&R del desempeño de los operadores en el uso del flexómetro. Las mediciones se realizaron de forma aleatoria para asegurar que el orden de recolección no influyera en los datos obtenidos. El orden en el que se tomaron las piezas se siguió conforme a lo especificado en la hoja de trabajo generada por el software Minitab para la recolección de datos (ver Anexo 2).

Posteriormente, los datos recolectados se introdujeron en el software Minitab, donde se utilizó la herramienta de calidad para estudios de medición R&R cruzado. Con esta herramienta se obtuvieron resultados sobre las interacciones, los componentes de varianza, la evaluación del sistema de medición y las gráficas del informe de R&R. Los resultados del estudio se presentan en la Tabla 2, la Tabla 3 e Ilustración 1, que se incluyen a continuación.

Tabla 2-Tabla ANOVA (Flexómetro)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.096	0.0106667	*	*
Operador	1	0.000	0.0000000	*	*
Parte * Operador	9	0.000	0.0000000	*	*
Repetibilidad	40	0.000	0.0000000		
Total	59	0.096			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-R&R del sistema de medición (flexómetro)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0000000	0.00
Repetibilidad	0.0000000	0.00
Reproducibilidad	0.0000000	0.00
Operador	0.0000000	0.00
Operador*Parte	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0017778	100.00
Variación total	0.0017778	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	0.0000000	0.0000000	0.00
Repetibilidad	0.0000000	0.0000000	0.00
Reproducibilidad	0.0000000	0.0000000	0.00
Operador	0.0000000	0.0000000	0.00
Operador*Parte	0.0000000	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0421637	0.252982	100.00
Variación total	0.0421637	0.252982	100.00

Número de categorías distintas = *

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de contribución de la varianza más alto corresponde a la variación entre partes, lo que indica que la mayor parte de la variación del sistema se debe a las diferencias entre las piezas. Al analizar el porcentaje de variación total del estudio de Gage R&R (%VE), que es menor al 10%, Se determina que el sistema de medición es aceptable. Esto significa que la variación en el uso del flexómetro por parte de los antropometristas es lo suficientemente pequeña como para garantizar la consistencia de los datos. En otras palabras, las mediciones obtenidas en el proceso serán fiables y repetibles.

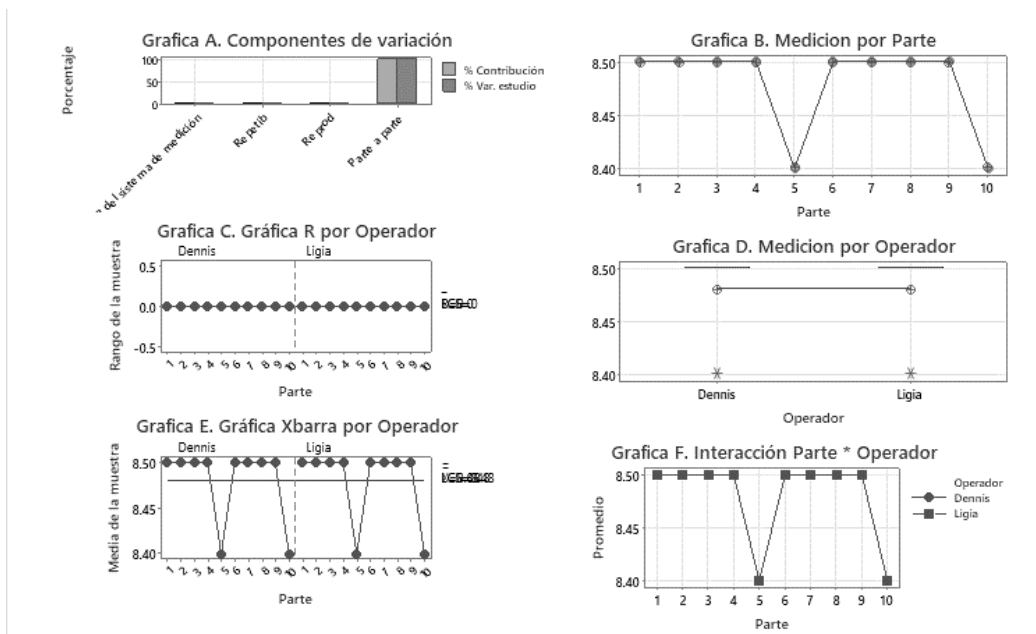


Ilustración 1- Informe R&R del sistema de medición (Flexómetro)

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del estudio, se puede observar en la Gráfica A (ver Ilustración 1) que el principal componente de variación es la variación entre partes. En la Gráfica B de medición por partes, se destaca que las piezas 5 y 10 tienen medidas menores que las demás, lo cual se identificó como el principal factor de variación. Este hallazgo indica que las medidas realizadas por ambos antropometristas son consistentes tanto en repetibilidad como en reproducibilidad, como se muestra en la Gráfica R por operador (Gráfica C). Por lo tanto, el uso del flexómetro puede ser realizado por cualquiera de los operadores, asegurando un uso correcto del instrumento.

5.1.2 ESTUDIO R&R DE MEDICIONES CON LA CINTA ANTROPOMÉTRICA

Se realizaron 6 mediciones con la cinta antropométrica de cada una de las 10 piezas, 3 mediciones por cada antropometrista. Estas mediciones se llevaron a cabo de forma aleatoria, según lo indicado en la hoja de trabajo personalizada creada por Minitab. Se tenía información de que los antropometristas contaban con experiencia en el uso de este instrumento, por lo que el estudio tenía como objetivo confirmar el grado mínimo de variación por parte de ellos y asegurar que la recolección final de datos con este instrumento fuera confiable. A continuación, se presentan los resultados obtenidos del R&R del sistema de medición en las Tablas 4 y 5, así como en la Ilustración 2.

Tabla 4- Tabla de ANOVA con y sin interacción (Cinta antropométrica)

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.126	0.014	*	*
Operador	1	0.000	0.000	*	*
Parte * Operador	9	0.000	0.000	0	1.000
Repetibilidad	40	0.000	0.000		
Total	59	0.126			

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.126	0.014	1.23579E+16	0.000
Operador	1	0.000	0.000	0.00000E+00	1.000
Repetibilidad	49	0.000	0.000		
Total	59	0.126			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el valor p del factor de interacción Parte*Operador es mayor que 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula (ver Ecuación 3). Esto revela que no hay suficiente evidencia estadística para afirmar que existe una interacción entre las piezas y los operadores del modelo, lo que implica que no se puede concluir que el desempeño del antropometrista varíe según el tipo de pieza.

Por lo tanto, se generó una segunda tabla de ANOVA sin interacción, que muestra que el valor p para las partes es menor que 0.05, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula (ver Ecuación 1) y sugiere que alguna de las piezas es diferente. En contraste, el valor p para los operadores es mayor que 0.05, por lo que no se rechaza la hipótesis nula (ver Ecuación 2), determinando que no hay diferencia significativa en las mediciones entre operadores.

Tabla 5- R&R del sistema de medición (Cinta antropométrica)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.0000000	0.00
Repetibilidad	0.0000000	0.00
Reproducibilidad	0.0000000	0.00
Operador	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0023333	100.00
Variación total	0.0023333	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	0.0000000	0.0000000	0.00
Repetibilidad	0.0000000	0.0000000	0.00
Reproducibilidad	0.0000000	0.0000000	0.00
Operador	0.0000000	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0483046	0.289828	100.00
Variación total	0.0483046	0.289828	100.00

Número de categorías distintas = 63990488

Fuente: Elaboración propia

El resultado obtenido de los componentes de varianza indica que la principal fuente de variación es la variación entre partes. Se observa que no hay contribución significativa a la variabilidad por repetibilidad o reproducibilidad de los datos, lo que revela consistencia en los datos recolectados por los operadores. De igual manera, el porcentaje de variación total del Gage R&R (%VE) es menor al 10%, esto indica que el sistema de medición es aceptable. En otras palabras, el sistema de medición no introduce variabilidad significativa en el proceso por parte de los operadores.

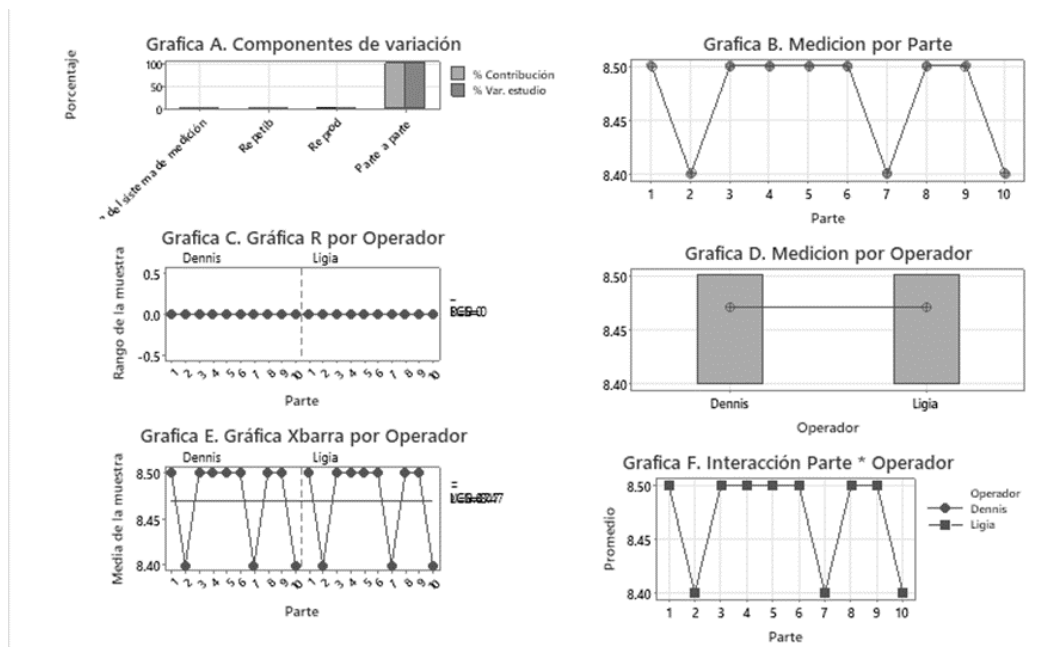


Ilustración 2- Informe de R&R del sistema de medición (Cinta antropométrica)

Fuente: Elaboración propia

Como se ilustra en el gráfico C, las mediciones realizadas por ambos operadores son consistentes. La interacción entre partes*operadores (Grafico F) muestra la variabilidad existente en las piezas, destacando que las piezas número 2 y 7 son más pequeñas que las demás. Esta variación es la principal fuente de variación esperada en el estudio R&R. Por lo tanto, el estudio revela que se puede tener confianza en la correcta utilización de la cinta antropométrica por parte de ambos operadores.

5.1.3 ESTUDIO R&R DE MEDICIONES CON EL ANTROPÓMETRO

Para realizar el estudio R&R de los dos operadores en el uso del antropómetro, se recolectaron los datos utilizando el formato presentado en el Anexo 1, siguiendo el orden aleatorio de los 60 datos especificado en la hoja de trabajo del software Minitab. Posteriormente, estos datos fueron organizados e introducidos en el programa para analizar los componentes de variación de las mediciones recolectadas con el instrumento. A continuación, se presentan los valores p obtenidos para cada uno de los factores estudiados, así como los componentes de variación y las gráficas del informe R&R. Los resultados se encuentran en las Tablas 6, Tabla 7 y en la Ilustración 3.

Tabla 6- Tabla de ANOVA con y sin interacción (Antropómetro)

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.101500	0.0112778	67.6667	0.000
Operador	1	0.000167	0.0001667	1.0000	0.343
Parte * Operador	9	0.001500	0.0001667	1.0000	0.456
Repetibilidad	40	0.006667	0.0001667		
Total	59	0.109833			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.101500	0.0112778	67.6667	0.000
Operador	1	0.000167	0.0001667	1.0000	0.322
Repetibilidad	49	0.008167	0.0001667		
Total	59	0.109833			

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis de varianza con interacciones muestran un valor p de 0.456, que es mayor que 0.05. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis nula de la interacción entre partes por operadores (Ver Ecuación 3), lo que revela que no hay suficiente evidencia estadística para concluir que existe una interacción entre los factores de parte y operador. En consecuencia, se procede a realizar un análisis de varianza sin interacción.

En el análisis de variación de don factores sin interacción (ver tabla 6), el valor p para las partes es menor que 0.05, lo que demuestra que hay una diferencia entre las medidas de las partes, indicando que existe variabilidad entre ellas. Por otro lado, el valor p para los operadores es mayor que 0.05, lo que lleva a no rechazar la hipótesis nula (ver Ecuación 2), evidenciando estadísticamente que no hay diferencia significativa entre las medias de los operadores.

Tabla 7- R&R del sistema de medición (Antropómetro)

Componentes de la varianza			Evaluación del sistema de medición			
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)	
Gage R&R total	0.0001667	8.26	0.0129099	0.077460	28.73	
Repetibilidad	0.0001667	8.26	0.0129099	0.077460	28.73	
Reproducibilidad	0.0000000	0.00	0.0000000	0.0000000	0.00	
Operador	0.0000000	0.00	0.0000000	0.0000000	0.00	
Parte a parte	0.0018519	91.74	0.0430331	0.258199	95.78	
Variación total	0.0020185	100.00	0.0449279	0.269568	100.00	

Número de categorías distintas = 4

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 7, se puede observar que el principal componente de variación es la variación entre partes, la cual no afecta la repetibilidad y reproducibilidad, ya que es independiente del sistema de medición. Sin embargo, también se nota una contribución del 8.26% de variación por repetibilidad, lo que revela una inconsistencia en la medición de algún operador. La reproducibilidad es del 0%, lo que indica que el sistema es consistente en las medidas entre operadores. El resultado final del porcentaje de variación total del estudio R&R(%VE) es del 28.73%, lo que sugiere que el sistema de medición es aceptable, aunque hay aspectos que deben ser observados y mejorados.

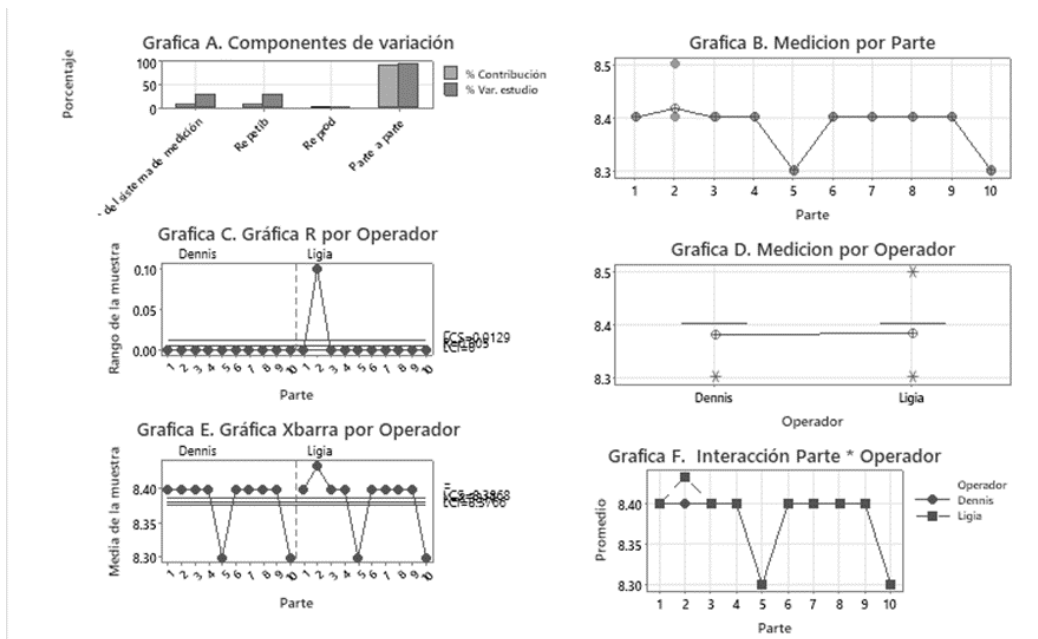


Ilustración 3- Informe de R&R del sistema de medición (Antropómetro)

Fuente: Elaboración propia

La Ilustración 3 presenta los datos con mayor detalle, donde se puede observar que en el gráfico de medición por parte (Grafico B), la pieza 2 muestra una mayor variación en las medidas. Al analizar la gráfica R, se observa que la pieza 2, en el operador 2 (Ligia), presenta mediciones fuera de los límites de control, lo que indica que sus datos no fueron tan consistentes. Esta misma variación se refleja también en la gráfica X-barra (Grafica E). Como resultado de esta variación en la repetitividad del operador 2, se ha decidido que el operador 1 será el encargado de realizar las mediciones finales con el uso de este instrumento, ya que mostró mayor consistencia en sus datos.

5.1.4 ESTUDIO R&R DE MEDICIONES CON APP MEASURE

Se evaluó el manejo de la aplicación por parte de los operadores para medir la consistencia de sus datos, determinando si podrían alcanzar un buen porcentaje de repetitividad en las mediciones individuales y reproducibilidad en las mediciones entre ambos operadores. Para ello, se recolectaron 60 (10 piezas x 3 réplicas x 2 operadores) datos según el orden especificado en la hoja de trabajo de Minitab (Ver Anexo 2) y se ingresaron en el software para su análisis. Los

resultados obtenidos del estudio R&R sobre el uso de la aplicación se presentan en las Tablas 8 y 9, así como en la Ilustración 4.

Tabla 8- Tabla ANOVA con factores con interacción (App Measure)

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	12.6	1.4	*	*
Operador	1	0.0	0.0	*	*
Parte * Operador	9	0.0	0.0	*	*
Repetibilidad	40	0.0	0.0		
Total	59	12.6			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9- R&R del sistema de medición (App Measure)

Componentes de la varianza

Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0.000000	0.00
Repetibilidad	0.000000	0.00
Reproducibilidad	0.000000	0.00
Operador	0.000000	0.00
Operador*Parte	0.000000	0.00
Parte a parte	0.233333	100.00
Variación total	0.233333	100.00

Evaluación del sistema de medición

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)
Gage R&R total	0.000000	0.000000	0.00
Repetibilidad	0.000000	0.000000	0.00
Reproducibilidad	0.000000	0.000000	0.00
Operador	0.000000	0.000000	0.00
Operador*Parte	0.000000	0.000000	0.00
Parte a parte	0.483046	2.89828	100.00
Variación total	0.483046	2.89828	100.00

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 9, se puede observar en la sección de componentes de la varianza que el principal componente de variación para el uso de la aplicación Measure es la variación entre partes, que es una fuente de variación independiente del sistema de medición. Además, el porcentaje total de variabilidad del estudio es menor al 10%, lo que indica que el sistema de medición es aceptable. Asimismo, se evidencia un porcentaje de variación no significativo atribuible a los operadores, quienes son capaces de generar medidas consistentes. Esto se refleja en la repetibilidad, ya que obtienen medidas similares al usar el instrumento, lo que brinda fiabilidad de las mediciones para la toma de datos finales.

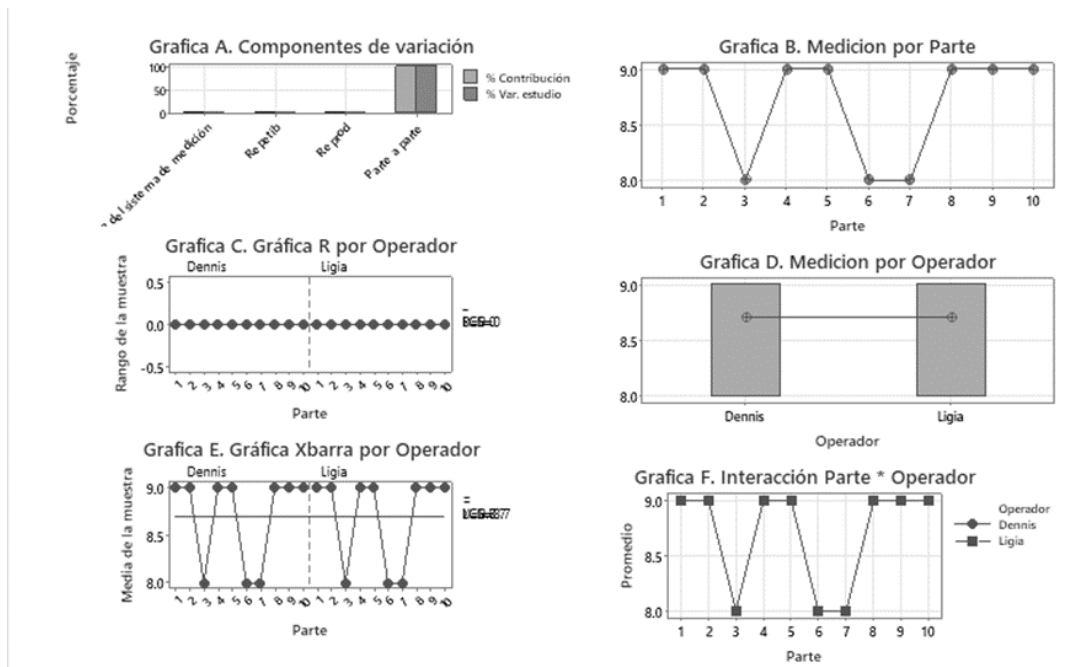


Ilustración 4-Informe de R&R del sistema de medición (App Measure)

Fuente: Elaboración propia

Como mostraron los resultados de los componentes de varianza, el principal factor de variabilidad es la variación entre partes. Esto se confirma en las gráficas de medición por partes (Grafica B), donde se observa que las piezas 3, 6 y 7 son más pequeñas que el resto de las piezas. Sin embargo, en la gráfica Xbarra por operador, se observa que las medidas obtenidas por ambos operadores son muy similares, lo que indica que el porcentaje de variabilidad por reproducibilidad es bajo. Esto sugiere que el sistema de medición no será una fuente significativa de variabilidad en la toma de datos finales, ya que las mediciones serán consistentes entre ambos operadores.

5.1.5 ESTUDIO R&R DE MEDICIONES CON SOFTWARE SOLIDWORKS

Para la recolección de medidas astrométricas utilizando el sistema de medición con el escáner 3D, es necesario emplear el software SolidWorks para extraer las medidas. Por lo tanto, se realizó una evaluación del uso del software por parte de los dos operadores mediante un estudio de repetitividad y reproducibilidad. Como se detalló en la sección 5.1, se recolectaron datos de forma aleatoria y con el número adecuado de réplicas. Posteriormente, los datos recolectados fueron analizados con el software Minitab. Los resultados obtenidos del estudio se presentan en las Tablas 10 y 11, así como en la Ilustración 5.

Tabla 10- Tabla de ANOVA con y sin interacción (SolidWorks)

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.098907	0.0109896	146.891	0.000
Operador	1	0.000327	0.0003267	4.366	0.066
Parte * Operador	9	0.000673	0.0000748	1.122	0.370
Repetibilidad	40	0.002667	0.0000667		
Total	59	0.102573			

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Parte	9	0.098907	0.0109896	161.225	0.000
Operador	1	0.000327	0.0003267	4.792	0.033
Repetibilidad	49	0.003340	0.0000682		
Total	59	0.102573			

α para eliminar el término de interacción = 0.05

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis de varianza de los factores con interacción, se obtuvo un valor $p < 0.05$ para el factor de parte, lo que lleva a rechazar la hipótesis nula (Ecuación 1) e indica que las piezas son estadísticamente diferentes. Por otro lado, los factores de operador y la interacción Parte*Operador obtuvieron valores $p > 0.05$, por lo que no se rechaza la hipótesis nula (Ecuaciones 2 y 3). Esto significa que, según la evidencia estadística, las medidas de los operadores son iguales y no se puede afirmar que exista una interacción significativa entre los factores.

Dado que el primer análisis reveló que no se podía concluir estadísticamente que existía una interacción entre los factores parte y operador, se procedió a realizar un análisis de varianza sin interacción. Este análisis confirmó la variación de los factores, con ambos factores mostrando valores $p < 0.05$. Por lo tanto, no se aceptan las hipótesis nulas, y el resultado indica que, según la evidencia estadística, las medias de las piezas y de los operadores son distintas, se procede a

hacer un análisis de componentes de varianza para ver si esta diferencia en las medidas es significativa para la variación total del sistema.

Tabla 11-R&R del sistema de medición (SolidWorks)

Componentes de la varianza			Evaluación del sistema de medición			
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)	Desv.Est. (DE)	Var. estudio (6 × DE)	%Var. (%VE)	
Gage R&R total	0.0000768	4.05	0.0087624	0.052575	20.12	
Repetibilidad	0.0000682	3.59	0.0082561	0.049537	18.96	
Reproducibilidad	0.0000086	0.45	0.0029354	0.017613	6.74	
Operador	0.0000086	0.45	0.0029354	0.017613	6.74	
Parte a parte	0.0018202	95.95	0.0426643	0.255986	97.96	
Variación total	0.0018970	100.00	0.0435548	0.261329	100.00	

Número de categorías distintas = 6

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis de los componentes de varianza, se observó que el porcentaje de contribución de la variabilidad por reproducibilidad es menor al 1%, lo cual es un valor aceptable. Sin embargo, el porcentaje de variabilidad por repetitividad es ligeramente mayor, pero no supera el 9%, lo que aún representa una medición aceptable. En otras palabras, que la contribución de la variación por repetitividad y reproducibilidad sea aceptable indica que el sistema de medición es preciso y que la variación introducida en el proceso de mediciones finales no es significativa.

No obstante, es necesario mejorar el sistema, estandarizando el proceso o entrenando al operador que está causando esta baja repetitividad del 3.59% de contribución a la variabilidad en los datos. Además, se observó que el valor total del R&R (%VE) es menor al 30%, lo que indica que el sistema de medición es aceptable. Sin embargo, se deben implementar medidas para mejorar la toma de datos y reducir aún más la variación.

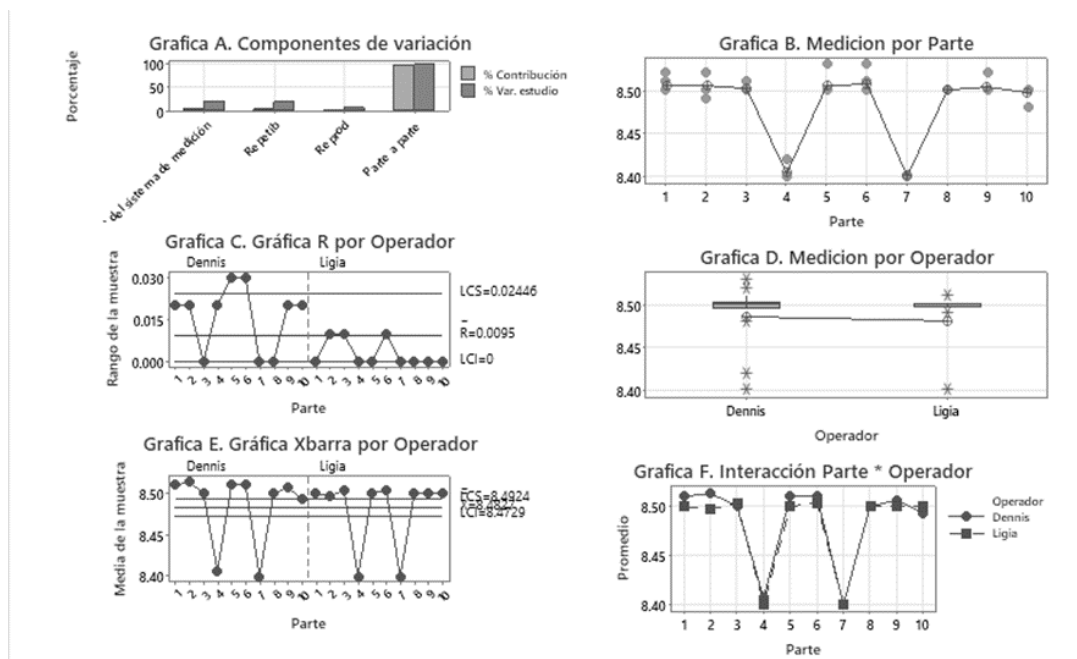


Ilustración 5- Informe de R&R del sistema de medición (SolidWorks)

Fuente: Elaboración propia

Según lo expuesto anteriormente, la repetitividad fue el factor que mostró mayor variabilidad en el estudio. Por ello, se analizaron las gráficas del informe R&R de medición, donde se puede observar gráficamente los principales datos que generaban variabilidad. En la gráfica de medición por parte (Grafica B), se nota que hay variación en las medidas obtenidas por los operadores para cada pieza, como en el caso de las piezas 5 y 6, que presentan dos datos con una variación elevada.

En el análisis realizado con la gráfica R por operadores (Grafica C), se puede observar que los datos de las piezas 5 y 6 obtenidos por el operador 1 (Dennis) se encuentran fuera de los límites de control, lo que contribuye a un valor elevado de variación por repetitividad. Para evitar esta variación en las mediciones finales, se decidió que el operador con el mejor índice de repetitividad en sus datos sería el designado para utilizar el software y el escáner 3D. De esta manera, se asegura una mayor consistencia en los datos.

5.2 RECOLECCIÓN DE DATOS DE MEDICIONES ANTROPOMÉTRICAS

5.2.1 BASES DEL PILOTAJE

Durante el pilotaje del estudio, se siguieron las directrices establecidas por la norma ISO 7250-1:2017 para la recolección de mediciones antropométricas, con el objetivo de garantizar la precisión y consistencia de los datos obtenidos. Se seleccionaron un total de 27 parámetros, de los cuales 16 se midieron en posición de pie y 11 en posición sentada. La siguiente tabla comparativa muestra los parámetros organizados por color: en verde, los parámetros medidos de pie, y en azul, los medidos en posición sentada. La tabla también compara el orden original de la norma ISO 7250-1:2017 con las mejoras implementadas específicamente para este estudio.

Tabla 12- Comparación del orden de medición de parámetros antropométricos según numeración ISO 7250 y propuesto

Parámetros antropométricos						
ISO 7250-1:2017				Propuesto		
N°	Posición	Parámetro	Instrumento Utilizado	Posición	Parámetro	Instrumento Utilizado
1	De pie	Estatura	Flexómetro	De pie	Estatura	Flexómetro
2		Altura de los ojos	Flexómetro		Altura de los ojos	Flexómetro
3		Altura de los hombros	Flexómetro		Altura de los hombros	Flexómetro
4		Altura de los codos	Flexómetro ●		Profundidad de tórax	Flexómetro
5		Ancho de cadera ●	Antropómetro ●		Altura de los codos	Flexómetro
6	Sentado	Altura sentada	Flexómetro		Altura de los nudillos	Flexómetro ●
7		Altura de los ojos sentado	Flexómetro		Agarre de codo	Antropómetro
8		Altura de los hombros sentado	Flexómetro		Ancho de cadera	Antropómetro
9		Altura de codos, sentado	Flexómetro ●		Ancho de pie	Antropómetro
10		Ancho de hombros sentado	Antropómetro		Longitud de pie	Antropómetro
11		Distancia de un codo al otro	Antropómetro		Largo de cabeza	Antropómetro
12		Ancho de caderas sentado	Antropómetro ●		Ancho de cabeza	Antropómetro ●
13		Altura se poplítea	Flexómetro ●		Circunferencia de cabeza	Cinta antropométrica
14		Altura de los muslos sentado	Antropómetro ●		Circunferencia de cintura	Cinta antropométrica
15		Altura de las rodillas sentado ●	Flexómetro		Ancho de mano	Cinta antropométrica
16		De pie	Profundidad de tórax		Flexómetro ●	Longitud de mano ●
17	Longitud de mano		Cinta Antropométrica	Sentado	Altura sentada	Flexómetro
18	Ancho de mano		Cinta Antropométrica ●		Altura de los ojos sentado	Flexómetro
19	Longitud de pie		Antropómetro		Altura de los hombros sentado	Flexómetro
20	Ancho de pie		Antropómetro		Altura de las rodillas sentado	Flexómetro
21	Largo de cabeza		Antropómetro		Altura se poplítea	Flexómetro
22	Ancho de cabeza		Antropómetro ●		Distancia de glúteos a la rodilla	Flexómetro
23	Circunferencia de cabeza		Cinta Antropométrica ●		Altura de codos, sentado	Flexómetro
24	Agarre de codo		Antropómetro ●		Altura de los muslos sentado	Flexómetro ●
25	Altura de los nudillos ●		Flexómetro		Distancia de un codo al otro	Antropómetro
26	Sentado	Distancia de glúteos a la rodilla ●	Flexómetro ●		Ancho de hombros sentado	Antropómetro
27	De pie	Circunferencia de cintura	Cinta antropométrica		Ancho de caderas sentado:	Antropómetro

Fuente: Elaboración propia

Esta categorización permitió una captura precisa de las dimensiones corporales en posturas fundamentales de acuerdo con la norma ISO 7250-1:2017. Además, los tres métodos de medición utilizados durante el estudio compartieron el mismo banco de madera para las mediciones en posición sentada, asegurando uniformidad y consistencia en los resultados obtenidos en esta postura. Poner cambios de herramienta y de posición.

En la Tabla 12 se pueden observar los cambios de instrumentación (puntitos rojos en la tabla). Según la numeración ISO 7250, el orden inicial requería 12 cambios de instrumentación. Sin embargo, con el nuevo orden propuesto, solo se necesitan 4 cambios de instrumentación. De manera similar, se pueden observar los cambios de posición (puntitos morados en la tabla). En el orden inicial, se requerían 4 cambios de posición por parte del sujeto, mientras que con el nuevo orden solo se requiere 1 cambio de posición.

5.2.1.1 Parámetros en Posición de Pie

Durante el estudio, se optó por realizar las mediciones iniciales con los sujetos en posición de pie. Esta postura fue elegida porque es fundamental para capturar las dimensiones corporales de manera precisa en una posición erguida, que es representativa de muchas actividades diarias y laborales. Los parámetros medidos en esta posición incluyeron estatura, altura de los ojos, altura de los hombros, altura de los nudillos, entre otros. Estas mediciones proporcionaron datos esenciales sobre la estructura corporal de los individuos en su estado natural de pie, permitiendo una evaluación detallada de sus características físicas.

Tabla 13- Parámetros en los que el sujeto medido estar en posición de pie

Nº	Parámetro posición de pie
1	Estatura: Se registró la altura total del sujeto, desde los pies hasta la cabeza.
2	Altura de los ojos: Se midió la distancia desde el suelo hasta el nivel de los ojos.
3	Altura de los hombros: Se evaluó la distancia desde el suelo hasta la parte superior de los hombros.
4	Profundidad de tórax: Se midió el ancho del torso, capturando la profundidad.
5	Altura de los codos: Se registró la distancia desde el suelo hasta los codos.
6	Altura de los nudillos: Se midió la altura de los nudillos desde el suelo.
7	Agarre de codo: Se midió la distancia entre los codos cuando están alineados a los costados.
8	Ancho de cadera: Se midió el ancho lateral de las caderas.
9	Ancho de pie: Se registró la medida transversal de la parte más ancha del pie.
10	Longitud de pie: Se midió desde el talón hasta la punta del pie.
11	Circunferencia de cintura: Se registró la medida alrededor de la cintura.
12	Ancho de mano: Se midió la distancia lateral de la mano abierta.
13	Longitud de mano: Se midió desde la base de la palma hasta la punta del dedo más largo.
14	Largo de cabeza: Se registró la longitud de la cabeza.
15	Ancho de cabeza: Se midió la distancia lateral de la cabeza.
16	Circunferencia de cabeza: Se registró la medida alrededor de la cabeza.

Fuente: Elaboración propia

El enfoque de medir en posición de pie permitió una evaluación integral de cómo las características físicas de los individuos afectan su capacidad para realizar tareas comunes y adaptarse a diferentes entornos. Los parámetros seleccionados son cruciales para el diseño ergonómico, ya que ayudan a garantizar que los equipos y las estaciones de trabajo sean adecuados para las proporciones corporales de la población. Además, al incluir mediciones como la altura de los ojos y de los hombros, el estudio proporciona información valiosa para la adaptación de equipos y espacios de trabajo, promoviendo la seguridad, comodidad, y eficiencia en el entorno laboral.

5.2.1.2 *Parámetros en Posición Sentada*

Después de registrar los parámetros en posición de pie, se procedió a medir las dimensiones corporales en posición sentada. En esta postura, se recopilaron datos específicos relacionados con la altura sentada, la altura de los ojos sentados, la altura de los hombros sentados, entre otros. Estas mediciones se realizaron para obtener información detallada sobre la estructura corporal de

los sujetos mientras se encontraban en una posición sedentaria, que es común en muchos entornos de trabajo.

Tabla 14- Parámetros en los que el sujeto medido estar en posición de sentado

N°	Parámetros posición de sentado
17	Altura sentada: Se midió desde el asiento hasta la parte superior de la cabeza.
18	Altura de los ojos sentado: Se registró la altura de los ojos desde el asiento.
19	Altura de los hombros sentado: Se midió la distancia desde el asiento hasta la parte superior de los hombros.
20	Altura de las rodillas sentado: Se evaluó la altura de las rodillas desde el suelo.
21	Altura poplítea: Se midió desde el suelo hasta la parte posterior de la rodilla.
22	Distancia de glúteos a rodilla sentado: Se midió la distancia horizontal desde los glúteos hasta las rodillas.
23	Altura de codos estirados verticalmente sentado: Se registró la altura de los codos cuando los brazos están estirados verticalmente.
24	Altura de los muslos sentado (Thigh clearance): Se midió desde la parte inferior de los muslos hasta la parte superior de los muslos.
25	Distancia de un codo al otro: Se registró la distancia entre los codos con los brazos extendidos.
26	Ancho de hombros sentado: Se midió la distancia lateral de los hombros en posición sentada.
27	Ancho de caderas sentado: Se midió la distancia lateral entre las caderas en posición sentada.

Fuente: Elaboración propia

Las mediciones en posición sentada resultaron esenciales para comprender cómo la configuración ergonómica del mobiliario y la disposición del espacio pueden influir en la comodidad y productividad en el lugar de trabajo. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de espacios laborales que minimicen la tensión física y maximicen la eficiencia del trabajador. Al medir aspectos como la altura de los ojos y los hombros mientras se está sentado, el estudio proporciona datos que ayudan a ajustar el diseño de sillas, escritorios, y otros elementos del mobiliario para mejorar la postura y reducir el riesgo de lesiones relacionadas con posturas inadecuadas.

5.2.2 RECOLECCIÓN DE MEDICIONES CON EL MÉTODO TRADICIONAL

5.2.2.1 *Pilotaje de mediciones con el método tradicional*

El método tradicional de medición antropométrica incluyó el uso de herramientas básicas como flexómetros, antropómetros, cinta antropométrica, un banco de madera, y una tabla que sirvió como tope. Además, se fabricó una herramienta adicional, un ángulo de 90° de madera, que desempeñó un papel crucial al facilitar la alineación correcta y mejorar la precisión de las mediciones en puntos específicos del cuerpo. Este enfoque permitió asegurar que todas las mediciones se realizaran de manera uniforme y consistente en todos los participantes.

Durante el pilotaje, se realizaron pruebas exhaustivas con 4 voluntarios, utilizando un único operador para llevar a cabo todos los parámetros. Estas pruebas se centraron en evaluar la efectividad y precisión de las herramientas tradicionales, con especial atención a la consistencia de los resultados obtenidos y la facilidad de uso del equipo. Además, se analizaron factores como la repetibilidad de las mediciones y la capacidad del operador para mantener la uniformidad en cada sesión.

Tabla 15-Mejoras identificadas en la prueba piloto del método tradicional (Posición de pie)

Mejoras identificadas en la prueba piloto del metodo tradicion (Posicion de pie)			
N°	Parámetro	Observaciones	Mejora
1	Estatura	Usar una tabla 90° L para asegurar una medición precisa y estandarizada de la estatura.	Se construyó un ángulo de 90° hecho de madera para garantizar la precisión en la medición de la estatura.
2	Altura de los ojos	Buscar una forma más sencilla y directa de tomar esta medida para mejorar la precisión y consistencia.	Utilizar el ángulo de madera facilitó la obtención precisa de la altura de los ojos al proporcionar un punto de referencia fijo.
3	Altura de los hombros	Definir con exactitud el punto de medición en los hombros para evitar variaciones entre operadores.	Se colocaron puntos de referencia adhesivos en los hombros para estandarizar la medición y mejorar la consistencia entre operadores.
4	Altura de los nudillos	Revisar el uso del lápiz de 20 mm de diámetro para evitar errores en la medición.	Se introdujo un cilindro plástico de 12 cm de largo y 20 mm de diámetro para obtener mediciones más precisas y evitar errores.
5	Altura de los codos	No tomar la medición directamente en el codo; usar un punto de referencia cercano pero estable.	Se usaron puntos de referencia adhesivos para asegurar una medición consistente en el área del codo sin interferencias.
6	Agarre de codo	Buscar una técnica que permita realizar la medición de manera menos subjetiva.	Se emplearon puntos de referencia adhesivos y un cilindro plástico para mejorar la precisión en la medición del agarre del codo.
7	Profundidad de tórax	Realizar la medición con una tabla que toque el busto para asegurar la profundidad real del tórax.	Se utilizó una tabla de madera como tope, con la espalda contra la pared, para medir la profundidad del tórax con mayor precisión.
8	Ancho de cadera	Revisar y definir el punto exacto en la cadera para evitar inconsistencias en las mediciones.	Se colocaron puntos de referencia adhesivos para determinar con precisión el ancho de la cadera y reducir variaciones.
9	Circunferencia de cintura	Verificar el punto de medición para asegurar la consistencia y comparabilidad de todas las mediciones.	Se utilizó la cresta iliaca y la última costilla como referencia para trazar el punto medio, garantizando mediciones consistentes.
10-13	Ancho de mano, Longitud de mano Ancho de pie Longitud de pie	Sin observaciones adicionales; las mediciones parecen ser adecuadas.	N/A
14	Largo de cabeza	Sin observaciones adicionales; las mediciones parecen ser adecuadas.	Se colocaron puntos de referencia adhesivos para garantizar mediciones precisas y conforme a las normas ISO 7250-1:2017, desde la parte superior del hueso occipital hasta el frente del cráneo.
15	Ancho de cabeza	Revisar si la medición debe realizarse a la altura de las orejas o en un punto más hacia atrás.	Se usaron puntos de referencia adhesivos para medir el ancho de la cabeza de manera consistente.
16	Circunferencia de cabeza	Identificar con precisión el punto encima de la ceja y el punto debajo del cráneo, revisando las normas ISO.	Se colocaron puntos de referencia adhesivos para asegurar una medición precisa y conforme a las normas ISO 7250-1:2017.

Fuente: Elaboración propia

Se registró un tiempo promedio de 20 minutos por sujeto, lo que reveló que, aunque el método tradicional es bien establecido y ofrece altos niveles de repetibilidad y reproducibilidad, su aplicación puede ser lenta y poco práctica, especialmente cuando se necesita medir a muchos individuos rápidamente. Esta limitación es crucial en estudios con grandes muestras, donde la eficiencia temporal es esencial para optimizar recursos y obtener resultados a tiempo. A pesar de ello, el método tradicional sigue siendo viable en contextos donde la precisión es clave. Demostró ser confiable para obtener datos consistentes, y ajustes como el uso del ángulo de 90° de madera mejoraron la precisión y consistencia, destacando su adaptabilidad a las necesidades específicas del estudio.

Se presenta en la tabla 16 los detalles de los parámetros medidos en posición sentada durante el pilotaje del estudio utilizando el método tradicional. Estos parámetros fueron seleccionados para capturar dimensiones corporales clave necesarias para el análisis ergonómico, especialmente en entornos donde la postura sentada es común. Las mediciones se realizaron utilizando el método tradicional, siguiendo las directrices de la norma ISO 7250-1:2017, lo que garantizó la precisión y consistencia de los datos recolectados. Durante el proceso, se tomaron en cuenta observaciones y mejoras que se aplicaron para refinar los métodos de medición tradicionales y asegurar la calidad de los datos obtenidos.

Tabla 16- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método tradicional (Posición Sentado)

Mejoras identificadas en la prueba piloto del metodo tradicion (Posicion de sentado)			
N°	Parámetro	Observaciones	Mejora
17	Altura sentada	Sin observaciones adicionales; las mediciones parecen ser adecuadas.	Se construyó un ángulo de 90° hecho de madera para garantizar la precisión en la medición de la altura sentada y otros parámetros.
18	Altura de los ojos sentado	Sin observaciones adicionales; las mediciones parecen ser adecuadas.	Utilizar el ángulo de madera facilitó la obtención precisa de la altura de los ojos al proporcionar un punto de referencia fijo.
19-27	Altura de los hombros sentado	Sin observaciones adicionales; las mediciones parecen ser adecuadas.	Se colocaron puntos de referencia adhesivos para asegurar una medición precisa y conforme a las normas ISO 7250-1:2017.
	Altura de codos estirados sentado		
	Altura de los muslos sentado		
	Altura de las rodillas sentado		
	Altura poplítea		
	Distancia de glúteos a la rodilla		
	Distancia de un codo al otro		
	Ancho de hombros sentado		
Ancho de caderas sentado			

Fuente: Elaboración propia

El pilotaje con el método tradicional desempeñó un papel crucial al permitir la optimización de los procedimientos antes de la implementación completa del estudio, asegurando que las mediciones finales fueran altamente precisas y consistentes. La introducción de una herramienta personalizada, un ángulo de 90° de madera (Ver anexo 3), fue particularmente útil para reducir la variabilidad en las mediciones realizadas con el método tradicional, mejorando así la uniformidad de los datos recopilados. En conjunto, el pilotaje no solo validó la fiabilidad del método tradicional, sino que también proporcionó conocimientos valiosos para aumentar la eficiencia y precisión del proceso de medición en futuras aplicaciones del estudio.

El método tradicional de medición, aunque confiable y ampliamente utilizado, mostró limitaciones en practicidad y rapidez, especialmente al medir a muchos individuos. Durante la prueba piloto, se destacó la necesidad de mejorar la precisión y repetibilidad, lo que llevó a la creación de un ángulo de 90° de madera. Esta herramienta, fabricada en el FabLab de la Facultad de Ingeniería de UNITEC Tegucigalpa con apoyo de ingenieros y materiales disponibles, resultó útil para mejorar la alineación y consistencia en las mediciones.

Tabla 17- Observaciones Generales del Método Tradicional

Observaciones Generales del Método Tradicional	Detalle
Practicidad y rapidez	Aunque el método tradicional es confiable y bien establecido, mostró limitaciones en términos de practicidad y rapidez, especialmente al medir un gran número de individuos.
Herramienta personalizada	El ángulo de 90° de madera, fabricado en el FabLab de la Facultad de Ingeniería con el apoyo de los ingenieros, mejoró la precisión y la repetibilidad en las mediciones, especialmente en aquellas donde la alineación era crítica. Para su construcción, se utilizó la cortadora láser y materiales disponibles en el mismo FabLab, lo que aseguró un acabado preciso y una herramienta fiable para las mediciones antropométricas.
Recomendación	Para optimizar el tiempo y minimizar posibles errores humanos, sería recomendable complementar el método tradicional con tecnologías más avanzadas en estudios futuros.

Fuente: Elaboración propia

Los hallazgos de la prueba piloto resaltaron los desafíos del método tradicional en términos de rapidez y practicidad, especialmente en estudios con grandes muestras. A pesar de las mejoras introducidas con el ángulo de 90° de madera, que incrementó la precisión de las mediciones, se determinó que complementar este enfoque con tecnologías más avanzadas podría ser beneficioso para futuras investigaciones. La integración de métodos tecnológicos más sofisticados no solo optimizaría el tiempo de recolección de datos, sino que también reduciría los posibles errores humanos, mejorando la eficiencia y la calidad de los resultados obtenidos.

5.2.2.2 *Recolección de medidas finales método tradicional*

Se realizaron las mediciones tradicionales, siguiendo las correcciones y observaciones de mejoras obtenidas durante el pilotaje. Estas mejoras se aplicaron a la técnica de medición, al orden y a los instrumentos utilizados. Se llevó a cabo un análisis detallado de la norma ISO 7250-2017 para asegurar que las mediciones se realizaran con la técnica adecuada, identificando los puntos exactos y las posiciones correctas para cada parámetro. La toma de las mediciones de los 27 parámetros se realizó con:

- **2 posturas:** de pie y sentado en un banquito.
- **3 instrumentos:** flexómetro, cinta antropométrica y antropómetro.
- **2 herramientas de apoyo:** tabla L-90°, banquito de madera y base de apoyo para los pies (solo si es necesario).

Los elementos a tener en cuenta para la correcta recolección de datos con el método tradicional se encuentran en la siguiente tabla 8. En esta tabla se especifican la posición, el instrumento y la herramienta de apoyo utilizados para cada parámetro, así como el número ISO de la medición, en caso de que el antropometrista necesite verificar alguna descripción o metodología de medición de algún parámetro.

Tabla 18-Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método tradicional

Elementos para la recolección de mediciones con el método tradicional						
Orden	Numero ISO	Parámetro	Posición	Instrumento	Herramienta de apoyo	
1	6.1.2	Estatura	De pie	Flexómetro	Tabla L	
2	6.1.3	Altura de los ojos				
3	6.1.4	Altura de los hombros				
4	6.2.15	Profundidad de tórax				
5	6.1.5	Altura de los codos		Antropómetro	(Ninguno)	
6	6.4.5	Altura de los nudillos				
7	6.4.4	Agarre de codo				
8	6.1.12	Ancho de cadera, parado				
9	6.3.8	Ancho de pie				
10	6.3.7	Longitud de pie				
11	6.3.9	Largo de cabeza				
12	6.3.10	Ancho de cabeza				
13	6.3.12	Circunferencia de cabeza				
14	6.4.11	Circunferencia de cintura				
15	6.3.3	Ancho de mano		Cinta antropométrica		
16	6.3.1	Longitud de mano				
17	6.2.1	Altura sentada	Sentado	Flexómetro		Tabla L, Banquito y Apoyo de pies
18	6.2.2	Altura de los ojos, sentado				
19	6.2.4	Altura de los hombros, sentado				
20	6.2.13	Altura de las rodillas, sentado				
21	6.2.11	Altura se poplítea, sentado				
22	6.4.8	Distancia de glúteos a la rodilla		Antropómetro	Banquito y Apoyo de pies	
23	6.2.5	Altura de codos, sentado				
24	6.2.12	Altura de los muslos (Thigh clearance)				
25	6.2.9	Distancia de un codo al otro				
26	6.2.8	Ancho de hombros				
27	6.2.10	Ancho de caderas, sentado				

Fuente: Elaboración propia

Con base en la tabla anterior, cada parámetro se recolectó siguiendo el orden presentado en esa tabla para asegurar que tanto el antropometrista como la persona medida encontraran el proceso de medición más cómodo. Este orden específico redujo los cambios de posición, así como el uso de instrumentos y herramientas, permitiendo que las mediciones se realizaran de manera más eficiente. El uso de la base de apoyo para los pies facilitó la correcta realización de las mediciones sentadas para las personas de baja estatura. Como resultado, se lograron tiempos de toma de medida más cortos y se incrementó el orden en el área de trabajo.

Las mediciones finales de los 27 parámetros se tomaron a 20 personas voluntarias mediante el método tradicional. En la muestra se encontraban 12 mujeres y 8 hombres. Las medidas se registraron en el formato de medidas capturadas (ver Anexo 2), en la celda correspondiente a

mediciones con el método tradicional. Todas las medidas se expresaron en centímetros. Las mediciones finales recolectadas por el método tradicional se muestran a continuación (ver tabla 19)

Tabla 19- Medidas antropométricas finales recolectadas por el método tradicional, muestra (n=20)

Medidas antropométricas finales de toda la muestra (n=20) recolectadas por el metodo tradicional (cm)																					
N°	Parámetro	Sujeto (F/M)																			
		S1 (M)	S2 (F)	S3 (F)	S4 (F)	S5 (F)	S6 (F)	S7 (M)	S8 (F)	S9 (F)	S10 (M)	S11 (F)	S12 (M)	S13 (M)	S14 (M)	S15 (F)	S16 (F)	S17 (F)	S18 (M)	S19 (F)	S20 (M)
1	Estatura	168.1	165.3	159.8	158.5	156	166.5	167.4	167.3	157.8	180.9	164.4	183.7	178	172.3	150	163.6	168.2	159	159.9	170.7
2	Altura de los ojos	156.2	154.8	147.6	149.1	144.9	154.3	156.3	154.2	145.5	167.7	152.1	170.6	161.7	161.3	136.6	149.4	157.4	147	147.7	161.1
3	Altura de los hombros	139	138.6	132.2	131.7	126.9	103.8	138.7	137.4	130.2	146.8	136.3	149.4	147.9	142.1	121.9	136.5	137.9	133	133.1	140.5
4	Profundidad de tórax	23.9	25.8	26.2	30	25.8	24.1	23.4	33.5	25.4	24.5	25.2	25.2	29	26.7	25.1	23.7	25	26	25.7	25.2
5	Altura de los codos	104	100.8	98.3	98.2	98.4	104.7	102.5	102.5	92.9	109.7	101	113.7	109.4	105.9	91.3	101	101.5	98	98.4	109.9
6	Altura de los nudillos	77.9	72.7	71.7	69.2	71.1	70.8	76.3	74.4	65.7	77.9	72.6	78.5	75.8	73.2	66.2	68.2	72.8	73	73.2	77.2
7	Agarre de codo	34.4	36.1	32.7	32.9	31.8	35.3	34.9	35.9	35.1	39.5	32.6	38.9	39.7	37.1	30.6	34.7	37.2	33.8	33.8	39.3
8	Ancho de cadera, parado	35.6	35.2	30.4	36.4	36.5	33.2	35.5	34.5	33.8	38.6	35.1	37.7	42.5	35.1	30.7	34.1	38.7	33.3	33.3	38
9	Ancho de pie	9.6	8.9	8.1	9.1	9.3	8.4	10.1	10	8.3	10.1	8.3	9.6	10.4	9	8.1	7.8	9	8.6	8.6	10.5
10	Longitud de pie	24	23.6	22.3	23.3	22.1	22.2	26.2	24.1	22.9	26.6	23.1	26.3	26.1	25.4	21.1	23.2	25.4	23.8	23.8	26.3
11	Largo de cabeza	19.7	17.6	19.3	19.5	18.9	20.2	18.7	19	18.9	18.4	18.6	19.5	19.8	18.1	20.1	18.7	17.8	18.1	18.1	19
12	Ancho de cabeza	16.2	16.3	14.5	15.2	14.9	15.8	15.1	14.8	15.3	16	14.4	15.2	15.2	15	14.7	14.9	15.4	14.6	14.6	14.9
13	Circunferencia de cabeza	57.4	56.5	55.2	58.3	56.6	59.8	58.1	55.9	56.7	57.1	54.4	56.6	56.9	54.6	56.2	54.4	55.6	55.8	55.8	55.6
14	Circunferencia de cintura	93.4	80.1	69	82.4	71	70.1	89.3	83	73.9	92.1	28.6	92.6	110.6	88.9	66.4	74.1	74.3	75.7	75.7	97.3
15	Ancho de mano	8.2	8	7.8	7.8	7.7	8.2	8.6	7.2	7.6	10.8	7.5	8.7	8.6	8	6.6	7.2	8.1	7.6	7.6	8.7
16	Longitud de mano	17.1	17.5	16.5	17.2	16.3	17.4	18.6	16.8	17	19.3	17.6	18.9	17.6	19.9	15.3	16.5	18.6	16.9	16.9	19.2
17	Altura sentada	89.4	85.1	82.6	86.3	82.4	86.5	90.2	89.4	81.2	93.1	85.6	96.4	91.7	90.7	81.8	85.3	91.5	86	85.9	90.5
18	Altura de los ojos, sentado	77.8	75.7	72.3	77.6	71.5	74.1	77.4	75.9	69.1	81.4	73.4	84.6	77.7	77.5	69.9	72.3	78.1	74	73.9	79.9
19	Altura de los hombros, sentado	89.4	55.6	54.3	57.6	56.3	57.9	62.5	59.8	54.2	59.5	58.2	65.5	65.3	60.4	54.8	58.4	60.5	60	59.6	60.9
20	Altura de las rodillas, sentado	51.4	52.4	49.4	44.8	46.5	51.6	47.2	51.7	48.7	54.4	48.1	55	55.2	53.5	43.3	49.2	49.3	45	45.1	52
21	Altura se poplitea, sentado	41.8	41.7	41	39.5	38.7	41.5	41.1	40	40.8	43.1	41.2	45	43.4	42.6	36	41.7	40.3	39	39.3	42.2
22	Distancia de glúteos a la rodilla	57.5	61	56.3	56.8	56.8	57.6	57.6	58.5	54.7	62.5	57.6	62.5	69.9	59.5	51.3	57.6	58.6	55.3	55.3	56.9
23	Altura de codos, sentado	27	19.5	20.5	25.7	27.2	23.8	26.3	35.4	35.8	24.5	23.9	27.8	23.1	24.5	24	23.8	24.5	25	25.2	24.3
24	Altura de los muslos	15.6	13.6	13.5	14.6	14.08	12.8	14.1	17.6	11.9	19.6	12.5	16.3	20.7	16	12.8	13.7	15.1	13.3	13.3	19.1
25	Distancia de un codo al otro	51.9	46.4	41	45.7	38.8	41.3	45.3	48.1	43.7	48.4	43.3	51.8	55.2	50.6	39.1	44.1	47.7	43.3	43.3	51.8
26	Ancho de hombros	48.5	45.3	41.3	43	41.8	41.1	43.2	46.5	41.6	50.9	42	49.8	52.6	49.2	38.6	41.7	42	41.2	41.2	50
27	Ancho de caderas, sentado	38.6	38.4	35.2	38.5	38.7	38.2	38.4	44.1	39	43.1	38.8	40.4	46.2	40.5	36.4	38.8	42.4	37.1	37.1	41.1

Fuente: Elaboración propia

La tabla # presenta los datos recolectados de la muestra especificada para el estudio (n=20), compuesta por estudiantes de la Facultad de Ingeniería en UNITEC, con edades entre 18 y 23 años. Los parámetros medidos en los voluntarios incluyen 27 medidas, seleccionadas de acuerdo con estudios previos para la creación de tablas antropométricas. La tabla muestra, en sus encabezados, el sujeto (S) medido, el orden de evaluación (#) y el género (F/M). Por ejemplo, en el caso del S14 (M), se indica que fue la decimocuarta persona evaluada y que es de género masculino.

Tabla 20- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método tradicional en hombres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el método tradicional de hombres (n=8)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatura	172.51	8.08	159	183.7
2	Altura de los ojos	160.24	7.31	147	170.6
3	Altura de los hombros	142.18	5.55	133	149.4
4	Profundidad de tórax	25.487	1.776	23.4	29
5	Altura de los codos	106.64	5.03	98	113.7
6	Altura de los nudillos	76.225	2.12	73	78.5
7	Agarre de codo	37.2	2.494	33.8	39.7
8	Ancho de cadera, parado	37.037	2.823	33.3	42.5
9	Ancho de pie	9.737	0.672	8.6	10.5
10	Longitud de pie	25.588	1.097	23.8	26.6
11	Largo de cabeza	18.912	0.696	18.1	19.8
12	Ancho de cabeza	15.275	0.547	14.6	16.2
13	Circunferencia de cabeza	56.513	1.122	54.6	58.1
14	Circunferencia de cintura	92.49	9.69	75.7	110.6
15	Ancho de mano	8.65	0.953	7.6	10.8
16	Longitud de mano	18.438	1.106	16.9	19.9
17	Altura sentada	91	2.99	86	96.4
18	Altura de los ojos, sentado	78.79	3.17	74	84.6
19	Altura de los hombros, sentado	65.44	9.95	59.5	89.4
20	Altura de las rodillas, sentado	51.71	3.76	45	55.2
21	Altura se poplítea, sentado	42.275	1.765	39	45
22	Distancia de glúteos a la rodilla	60.21	4.69	55.3	69.9
23	Altura de codos, sentado	25.313	1.574	23.1	27.8
24	Altura de los muslos	16.837	2.678	13.3	20.7
25	Distancia de un codo al otro	49.79	3.9	43.3	55.2
26	Ancho de hombros	48.17	3.92	41.2	52.6
27	Ancho de caderas, sentado	40.68	2.9	37.1	46.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21-Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método tradicional en mujeres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el metodo tradicional de mujeres (n=12)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatura	161.44	5.41	150	168.2
2	Altura de los ojos	149.47	5.66	136.6	157.4
3	Altura de los hombros	130.54	9.76	103.8	138.6
4	Profundidad de tórax	26.292	2.749	23.7	33.5
5	Altura de los codos	99.08	3.82	91.3	104.7
6	Altura de los nudillos	70.717	2.81	65.7	74.4
7	Agarre de codo	34.058	1.975	30.6	37.2
8	Ancho de cadera, parado	34.325	2.35	30.4	38.7
9	Ancho de pie	8.658	0.623	7.8	10
10	Longitud de pie	23.092	1.111	21.1	25.4
11	Largo de cabeza	18.892	0.816	17.6	20.2
12	Ancho de cabeza	15.067	0.563	14.4	16.3
13	Circunferencia de cabeza	56.283	1.534	54.4	59.8
14	Circunferencia de cintura	70.72	14.24	28.6	83
15	Ancho de mano	7.608	0.446	6.6	8.2
16	Longitud de mano	16.967	0.814	15.3	18.6
17	Altura sentada	85.3	3.059	81.2	91.5
18	Altura de los ojos, sentado	73.65	2.829	69.1	78.1
19	Altura de los hombros, sentado	57.267	2.195	54.2	60.5
20	Altura de las rodillas, sentado	48.342	2.911	43.3	52.4
21	Altura se poplítea, sentado	40.142	1.635	36	41.7
22	Distancia de glúteos a la rodilla	56.842	2.39	51.3	61
23	Altura de codos, sentado	25.77	5.03	19.5	35.8
24	Altura de los muslos	13.79	1.494	11.9	17.6
25	Distancia de un codo al otro	43.542	3.09	38.8	48.1
26	Ancho de hombros	42.175	2.035	38.6	46.5
27	Ancho de caderas, sentado	38.8	2.399	35.2	44.1

Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar en la tabla anterior, algunas mediciones presentaron más desviación que otras. En particular, para ambos géneros, las mediciones de las manos tuvieron una menor desviación estándar, mientras que la altura de los hombros mostró una mayor variación. Los datos estadísticos de la muestra revelaron que los rangos de estatura variaron más en los hombres que

en las mujeres, mientras que la circunferencia de cintura fue un parámetro que presentó mayor variabilidad en las mujeres. Los datos descriptivos de la muestra brindaron una visión general del conjunto de datos, lo cual fue esencial para realizar un análisis detallado posteriormente.

5.2.3 RECOLECCIÓN DE MEDICIONES CON EL MÉTODO DE FOTOGRAMETRÍA

5.2.3.1 *Pilotaje de mediciones con el método de fotogrametría*

El pilotaje permitió explorar un enfoque innovador para la captura y análisis de medidas antropométricas mediante el uso de tecnología de imágenes avanzadas. Este método, basado en fotogrametría con la aplicación de medición del iPhone equipada con tecnología LiDAR, se implementó con una muestra de 4 voluntarios bajo condiciones controladas. Durante el proceso, se adoptaron protocolos específicos para asegurar una iluminación uniforme y un posicionamiento adecuado del sujeto, factores que influyeron significativamente en la calidad de las mediciones. El tiempo promedio para realizar cada medición fue de aproximadamente 15 minutos.

La fotogrametría se presentó como una herramienta prometedora para la medición de parámetros antropométricos en posición de pie, especialmente en situaciones donde la velocidad de captura de datos y la ausencia de contacto físico directo son cruciales. Este método resultó particularmente útil en contextos que requerían evaluar a un gran número de personas en un tiempo limitado, proporcionando una solución rápida y eficiente para la recolección de datos en una postura erguida.

Tabla 22- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método de fotogrametría (Posición de pie)

Mejoras identificadas en la prueba piloto del metodo de fotogrametria (Posicion de pie)			
N°	Parámetro	Observaciones	Mejora
1	Estatura	La fotogrametría mostró buena reproducibilidad en condiciones controladas. La variabilidad aumentó con cambios en la iluminación y el ángulo.	Se estableció una iluminación uniforme y un ángulo de captura constante para reducir la variabilidad.
2	Altura de los ojos	Las mediciones variaron con el ángulo de la cámara y la posición del sujeto.	Se estableció una iluminación uniforme y un ángulo de captura constante para reducir la variabilidad.
3	Altura de los hombros	La precisión de la medición se vio afectada por la posición relativa de la cámara y el sujeto.	Se colocaron puntos adhesivos en los hombros del voluntario como referencia para mejorar la consistencia en la medición.
4	Altura de los nudillos	La medición fue consistente cuando se realizó con una configuración óptima, pero variable con ajustes de iluminación.	Se implementaron condiciones de iluminación y ángulo constante
5	Altura de los codos	Variaciones observadas debido a cambios en el ángulo de captura y la distancia de la cámara.	Se mantuvo una distancia fija y un ángulo constante durante las mediciones para reducir la variabilidad.
6	Agarre de codo	Las mediciones mostraron variabilidad cuando no se mantuvo una posición estable del sujeto.	Se utilizaron puntos adhesivos como referencia para asegurar una posición consistente durante la medición.
7	Profundidad de tórax	La medición mostró buena precisión en condiciones controladas, pero menos en entornos variables.	Se utilizó un entorno controlado con iluminación uniforme para mejorar la consistencia de la medición.
8	Ancho de cadera	Los resultados fueron precisos en condiciones óptimas, pero mostraron variabilidad en diferentes posiciones del sujeto.	Se colocaron puntos adhesivos en la cadera del voluntario como referencia para asegurar una alineación adecuada durante la medición.
9,16	Circunferencia de cintura, Circunferencia de cabeza	N/A	N/A
10-13	Ancho de mano, Longitud de mano, Ancho de pie, Longitud de pie	Las mediciones fueron adecuadas en condiciones óptimas, pero variaron con ajustes de configuración.	Se establecieron configuraciones para la cámara y el sujeto para mantener la precisión de las mediciones.
14	Largo de cabeza	La medición mostró buena reproducibilidad en un entorno controlado.	Se colocaron puntos adhesivos en la cabeza del voluntario como referencia para mantener una configuración uniforme durante cada medición.
15	Ancho de cabeza	La precisión fue afectada por cambios en el ángulo de captura y la posición del sujeto.	Se usaron puntos adhesivos como referencia en la cabeza para mejorar la precisión de la medición.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del pilotaje indicaron que la fotogrametría tenía una buena reproducibilidad para los parámetros medidos en posición de pie cuando se aplicaban controles adecuados, como la iluminación uniforme y el posicionamiento correcto del sujeto. No obstante, se observaron algunas variaciones bajo ciertas condiciones, lo que sugirió la necesidad de realizar ajustes adicionales para mejorar la precisión y consistencia del método. Estos hallazgos subrayan la importancia de optimizar la posición de pie para maximizar la fiabilidad de las mediciones obtenidas mediante fotogrametría.

En esta recopilación, se agruparon los parámetros medidos en la posición sentada durante la prueba piloto con la tecnología LiDAR del iPhone, que presentaban observaciones y mejoras similares. Este agrupamiento organizó la información de manera más clara y eficiente, destacando

los aspectos comunes que requerían ajustes para mejorar la precisión y consistencia de las mediciones en una postura sentada.

Tabla 23- Mejoras identificadas en la prueba piloto del método de fotogrametría (Posición Sentado)

Mejoras identificadas en la prueba piloto del metodo tradicion (Posicion de sentado)			
N°	Parámetro	Observaciones	Mejora
17	Altura sentada	La medición fue precisa en condiciones óptimas, pero mostró variabilidad con cambios en la configuración.	Se utilizaron marcas de referencia adhesivas para el voluntario y se mantuvo una configuración constante para mejorar la precisión.
18, 19	Altura de los ojos sentado, Altura de los hombros sentado	Las mediciones fueron consistentes cuando se mantuvieron condiciones controladas y una posición fija.	Se aseguró que el sujeto permaneciera en la misma posición durante todas las mediciones, utilizando un entorno constante para reducir la variabilidad.
20, 21, 27	Altura de codos estirados sentado, Altura de los muslos sentado (Thigh clearance), Ancho de caderas sentado	La fotogrametría mostró buena capacidad para medir en condiciones ideales, pero mostró variabilidad en diferentes configuraciones.	Se implementaron condiciones estándar y una posición fija del sujeto para asegurar consistencia en las mediciones.
22, 23, 24, 26	Altura de las rodillas sentado, Altura poplíteo, Distancia de glúteos a la rodilla sentado, Ancho de hombros sentado	La precisión fue alta en un entorno controlado, con algunas variaciones en configuraciones diferentes.	Se establecieron configuraciones de medición estándar y se aseguró una posición fija del sujeto para mejorar la precisión y reducir la variabilidad.
25	Distancia de un codo al otro	La fotogrametría mostró una buena capacidad para medir el ancho de los hombros en condiciones controladas.	Se establecieron condiciones estándar para cada medición para mantener la precisión.

Fuente: Elaboración propia

Al consolidar las recomendaciones y los hallazgos para los parámetros medidos en posición sentada, se facilitó la identificación de áreas clave que requerían mejoras específicas. Este proceso permitió garantizar que las mediciones cumplieran con los estándares de calidad y precisión establecidos para el estudio. Además, al identificar los puntos comunes de mejora, se promovió una mayor eficiencia en la implementación de ajustes necesarios, asegurando que el método de fotogrametría lograra resultados consistentes y precisos en entornos controlados.

La siguiente tabla # presenta los elementos esenciales del método fotogramétrico utilizado durante el estudio, enfocándose en su practicidad y rapidez, las condiciones necesarias para una implementación adecuada, y las recomendaciones para mejorar la calidad de los datos obtenidos. Este método dependió de factores como una iluminación adecuada, capacitación efectiva del personal, y una configuración óptima del equipo para garantizar la precisión de los resultados.

Tabla 24- Observaciones Generales del Método Tradicional

Observaciones Generales del Método Fotogramétrico	Detalle
Practicidad y rapidez	El método fotogramétrico presentó ventajas significativas en términos de practicidad y rapidez, permitiendo la captura de múltiples mediciones en un corto período de tiempo. No obstante, estos beneficios dependen en gran medida de la calidad del equipo y la configuración utilizada.
Condiciones críticas	Es indispensable que se cuente con una excelente iluminación, una adecuada capacitación del personal, y un ángulo de captura óptimo para garantizar la precisión y consistencia de las mediciones. Cualquier variación en estos factores podría afectar los resultados obtenidos.
Recomendación	Se recomienda asegurar que las condiciones de iluminación, la capacitación del operador y la configuración del ángulo de captura estén optimizadas antes de realizar las mediciones. Adicionalmente, complementar este método con revisiones periódicas de los parámetros técnicos ayudaría a mantener la calidad de los datos recolectados.

Fuente: Elaboración propia

Para asegurar la precisión en los resultados del método fotogramétrico, se identificó la necesidad de mantener condiciones óptimas de iluminación y de contar con personal capacitado adecuadamente. Además, se recomendó realizar ajustes en la configuración del equipo para mejorar la consistencia de los datos recolectados. Estas consideraciones fueron cruciales para maximizar la eficiencia del proceso de medición y minimizar posibles errores, garantizando que los datos recolectados fueran de alta calidad y confiabilidad.

5.2.3.2 *Recolección de medidas finales método de fotogrametría con el uso de la App Measure*

Para las mediciones finales utilizando el método de fotogrametría, se empleó una aplicación de medición disponible en el iPhone, que utilizaba tecnología LiDAR para captar datos de mediciones longitudinales. Esta aplicación facilitó la captura de dimensiones mediante la cámara del teléfono, haciendo el proceso de recolección más cómodo tanto para el antropometrista como para el sujeto medido, al eliminar la necesidad de contacto directo.

Durante el uso de la aplicación, se debía alinear el teléfono de manera que los puntos de referencia indicados en la App coincidieran con los puntos específicos donde se deseaba realizar la medición. La aplicación procesaba las imágenes en tiempo real y proporcionaba las medidas, las cuales se

registraban en la segunda columna del formato de medidas capturadas (ver Anexo 2). Las mediciones para cada parámetro se recopilaron de una muestra de 20 voluntarios, quienes también habían sido sometidos a las mediciones tradicionales.

Para realizar correctamente las mediciones utilizando la aplicación de medición del iPhone, la persona que será medida debe situarse preferiblemente en un espacio limpio, libre de objetos alrededor, y contra una pared de un solo color. Además, se deben considerar algunos elementos para mejorar el orden en la recolección de datos, como la postura que debe adoptar el sujeto, el orden de los parámetros y el tipo de alineación necesario para registrar los puntos de medida en la aplicación. Estos elementos están especificados en la siguiente tabla:

Tabla 25- Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método de fotogrametría

Elementos para la recolección de mediciones con el método fotogrametría						
Orden	Parámetro	Posición	Herramienta	Alineación para capturar la medición		
1	Estatura	De pie	App Measure	Vertical		
2	Altura de los ojos					
3	Altura de los hombros			Horizontal		
4	Profundidad de tórax					
5	Altura de los codos			Vertical		
6	Altura de los nudillos					
7	Agarre de codo			Horizontal		
8	Ancho de cadera, parado					
9	Ancho de pie					
10	Longitud de pie					
11	Largo de cabeza			No es posible realizar esta medición con la app		
12	Ancho de cabeza					
13	Circunferencia de cabeza			Sentado	App Measure	Horizontal
14	Circunferencia de cintura					
15	Ancho de mano	Vertical				
16	Longitud de mano					
17	Altura sentada		Horizontal			
18	Altura de los ojos, sentado					
19	Altura de los hombros, sentado		Vertical			
20	Altura de las rodillas, sentado					
21	Altura se poplíteas, sentado		Horizontal			
22	Distancia de glúteos a la rodilla					
23	Altura de codos, sentado	Vertical				
24	Altura de los muslos					
25	Distancia de un codo al otro	Horizontal				
26	Ancho de hombros					
27	Ancho de caderas, sentado					

Fuente: Elaboración propia

Como se pudo observar en la tabla #, las mediciones debieron realizarse en el mismo orden en que se realizaron las mediciones tradicionales. Este orden de medición no afectó la eficiencia del proceso, ya que no se requirió un cambio de herramientas y se mantuvo la misma secuencia que en el método tradicional, facilitando así el registro de las medidas en el formato. En la tabla, las celdas rellenas de negro indicaron que esos parámetros no pudieron ser recolectados con la aplicación de medición, ya que se trató de mediciones de circunferencia. La aplicación Measure solo permitió capturar datos longitudinales, por lo que esos parámetros no se recolectaron al utilizar este método de fotogrametría.

Se recolectaron y registraron 25 mediciones de los parámetros longitudinales que la aplicación permitía capturar, excluyendo las dos circunferencias. Estas 25 mediciones se realizaron en una muestra de 20 voluntarios, compuesta por 12 mujeres y 8 hombres, resultando en un total de 500 medidas capturadas con la aplicación Measure del iPhone, todas documentadas en centímetros. Cabe recalcar que la aplicación no captura medidas con precisión milimétrica, por lo que las medidas se registraron en números enteros. A continuación, se presenta la tabla 16, que muestra todas las mediciones recolectadas.

Tabla 26-Medidas antropométricas finales recolectadas por el método de fotogrametría, muestra (n=20)

Medidas antropométricas finales de toda la muestra (n=20) recolectadas por el método fotogrametría con la App Measure (cm)																					
N°	Parámetro	Sujeto (F/M)																			
		S1 (M)	S2 (F)	S3 (F)	S4 (F)	S5 (F)	S6 (F)	S7 (M)	S8 (F)	S9 (F)	S10 (M)	S11 (F)	S12 (M)	S13 (M)	S14 (M)	S15 (F)	S16 (F)	S17 (F)	S18 (M)	S19 (F)	S20 (M)
1	Estatura	170	167	159	161	157	165	166	166	156	182	163	185	177	174	153	162	166	161	158	165
2	Altura de los ojos	154	156	146	142	147	152	157	154	144	166	150	173	165	159	135	149	155	150	149	152
3	Altura de los hombros	143	142	132	131	128	137	139	138	128	150	132	143	147	139	123	135	137	130	133	137
4	Profundidad de tórax	26	33	39	21	27	26	23	34	26	21	25	22	24	25	22	22	23	21	26	26
5	Altura de los codos	114	99	96	94	95	104	102	94	94	110	99	108	105	104	89	98	103	97	98	104
6	Altura de los nudillos	73	67	68	63	64	70	76	73	66	80	71	80	77	76	65	65	71	67	69	70
7	Agarre de codo	27	36	34	38	32	33	34	35	37	38	33	38	39	36	30	32	38	30	33	33
8	Ancho de cadera, parado	35	36	32	38	40	32	34	33	33	39	32	36	41	37	30	35	39	32	31	32
9	Ancho de pie	10	25	9	10	10	9	10	9	10	10	9	10	11	10	8	8	10	11	9	9
10	Longitud de pie	25	8	25	25	23	23	26	24	24	26	22	26	25	25	22	23	24	26	23	23
11	Largo de cabeza	20	21	19	20	21	21	19	22	20	23	19	20	19	19	22	20	20	16	19	21
12	Ancho de cabeza	18	16	15	15	14	16	15	15	14	15	17	13	15	15	16	16	15	14	14	16
13	Circunferencia de cabeza																				
14	Circunferencia de cintura																				
15	Ancho de mano	8	8	9	8	7	8	9	7	7	9	7	9	8	8	7	7	8	7	8	8
16	Longitud de mano	18	18	18	20	16	17	19	16	17	20	17	19	20	19	15	16	18	17	17	17
17	Altura sentada	90	86	85	89	88	89	90	91	87	102	87	99	95	91	85	87	94	91	88	89
18	Altura de los ojos, sentado	75	69	71	78	75	81	77	79	73	82	76	86	81	70	71	75	80	79	78	81
19	Altura de los hombros, sentado	56	56	52	56	52	57	63	63	55	62	58	62	64	55	54	59	63	57	62	57
20	Altura de las rodillas, sentado	52	52	51	49	46	50	47	54	48	55	51	55	54	51	42	50	49	45	45	50
21	Altura se poplitea, sentado	44	42	37	37	37	37	41	37	39	43	40	43	58	41	33	38	37	37	39	37
22	Distancia de glúteos a la rodilla	88	59	56	59	58	56	57	60	56	60	51	62	66	65	55	58	57	48	55	56
23	Altura de codos, sentado	23	21	21	24	25	36	26	27	19	23	21	23	22	22	23	21	25	21	26	36
24	Altura de los muslos	15	21	15	20	19	18	14	22	17	20	13	19	22	16	13	16	15	15	14	18
25	Distancia de un codo al otro	53	46	38	51	36	39	45	41	38	53	43	49	53	44	40	46	43	44	44	39
26	Ancho de hombros	38	44	42	45	32	43	43	45	42	51	38	49	51	53	39	44	40	40	40	43
27	Ancho de caderas, sentado	39	44	34	40	41	40	38	44	38	47	40	41	47	45	38	39	43	37	39	40

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se observa que las filas correspondientes a los parámetros 13 y 14 están marcadas en negro, ya que representan las medidas de circunferencia de cabeza y circunferencia de cintura, las cuales no pueden ser capturadas por la aplicación, dado que esta mide en dos dimensiones, como una imagen. El encabezado "S(#)(F/M)" se refiere al número del sujeto medido y al género de la persona, lo que facilita la organización de los datos.

Tabla 27-Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de fotogrametría en hombres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el metodo fotogrametría de hombres (n=8)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatura	172.5	8.5	161	185
2	Altura de los ojos	159.5	7.91	150	173
3	Altura de los hombros	141	6.21	130	150
4	Profundidad de tórax	23.5	2.07	21	26
5	Altura de los codos	105.5	5.18	97	114
6	Altura de los nudillos	74.88	4.61	67	80
7	Agarre de codo	34.38	4.24	27	39
8	Ancho de cadera, parado	35.75	3.2	32	41
9	Ancho de pie	10.125	0.641	9	11
10	Longitud de pie	25.25	1.035	23	26
11	Largo de cabeza	19.625	1.996	16	23
12	Ancho de cabeza	15.125	1.458	13	18
13	Ancho de mano	8.25	0.707	7	9
14	Longitud de mano	18.625	1.188	17	20
15	Altura sentada	93.38	4.81	89	102
16	Altura de los ojos, sentado	78.88	4.88	70	86
17	Altura de los hombros, sentado	59.5	3.59	55	64
18	Altura de las rodillas, sentado	51.13	3.68	45	55
19	Altura se poplítea, sentado	43	6.61	37	58
20	Distancia de glúteos a la rodilla	62.75	11.7	48	88
21	Altura de codos, sentado	24.5	4.87	21	36
22	Altura de los muslos	17.375	2.825	14	22
23	Distancia de un codo al otro	47.5	5.29	39	53
24	Ancho de hombros	46	5.68	38	53
25	Ancho de caderas, sentado	41.75	4.03	37	47

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de fotogrametría en mujeres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el metodo fotogrametría de mujeres (n=12)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatura	161.08	4.52	153	167
2	Altura de los ojos	148.25	6	135	156
3	Altura de los hombros	133	5.2	123	142
4	Profundidad de tórax	27	5.54	21	39
5	Altura de los codos	96.92	4.17	89	104
6	Altura de los nudillos	67.667	3.172	63	73
7	Agarre de codo	34.25	2.563	30	38
8	Ancho de cadera, parado	34.25	3.306	30	40
9	Ancho de pie	10.5	4.62	8	25
10	Longitud de pie	22.17	4.57	8	25
11	Largo de cabeza	20.333	1.073	19	22
12	Ancho de cabeza	15.25	0.965	14	17
13	Ancho de mano	7.583	0.669	7	9
14	Longitud de mano	17.083	1.311	15	20
15	Altura sentada	88	2.558	85	94
16	Altura de los ojos, sentado	75.5	3.87	69	81
17	Altura de los hombros, sentado	57.25	3.89	52	63
18	Altura de las rodillas, sentado	48.917	3.288	42	54
19	Altura se poplítea, sentado	37.75	2.179	33	42
20	Distancia de glúteos a la rodilla	56.667	2.425	51	60
21	Altura de codos, sentado	24.08	4.48	19	36
22	Altura de los muslos	16.917	3.088	13	22
23	Distancia de un codo al otro	42.08	4.27	36	51
24	Ancho de hombros	41.17	3.71	32	45
25	Ancho de caderas, sentado	40	2.828	34	44

Fuente: Elaboración propia

En las tablas 27 y 28, que presentan las estadísticas descriptivas de los datos recolectados mediante el método de fotogrametría, las medias y desviaciones estándar de cada uno de los parámetros de medición permiten analizar la variabilidad y las tendencias de los datos capturados con la aplicación Measure. Se observa que el parámetro con mayor variación en los datos de los hombres es la distancia glúteo-rodilla, mientras que el parámetro con mayor desviación estándar en las mujeres es la altura de los ojos. Estas estadísticas descriptivas ofrecen una perspectiva general de las características de los datos recopilados.

5.2.4 RECOLECCIÓN DE MEDICIONES CON EL MÉTODO DE ESCANEEO 3D

5.2.4.1 *Pilotaje de mediciones con el método de escaneo 3D*

Durante la prueba piloto del método de escaneo 3D, participaron 4 voluntarios para evaluar la precisión y efectividad de esta tecnología en la medición de parámetros antropométricos. Se aplicaron puntos de referencia sobre los cuerpos de los voluntarios para garantizar la uniformidad en cada escaneo. Los escaneos se realizaron con el escáner 3D Shining, permitiendo capturar dimensiones detalladas sin contacto físico. Los datos obtenidos se procesaron y analizaron con el software EXScan H 1.2.1.1, generando modelos tridimensionales precisos para un análisis posterior y ajustando el protocolo para mejorar la calidad de los datos en futuros estudios.

La calibración del escáner Shining 3D fue un paso fundamental durante el pilotaje del estudio para garantizar la precisión y consistencia de los datos recopilados. Este proceso incluyó tanto la calibración de blancos como la calibración de puntos, lo cual permitió ajustar el balance de colores y la precisión geométrica del escáner. Mediante el uso de herramientas especializadas como tarjetas de calibración de blancos y placas de calibración de puntos, se lograron corregir desajustes y mejorar la captura de detalles finos, asegurando que las mediciones antropométricas fueran precisas y consistentes a lo largo de todo el estudio.

Tabla 29- Requisitos de calibración del Escáner Shining 3D

N°	Requisito de Calibración	Descripción del Procedimiento
1	Calibración de Puntos	Empleo de una placa de calibración de puntos para ajustar la precisión del escáner en la captura de detalles y medidas geométricas exactas.
2	Calibración de Blancos	Uso de una tarjeta de calibración de blancos estándar para ajustar el balance de blancos del escáner, asegurando una correcta captura de color.
3	Ajuste de la Captura de Colores	Procedimiento estándar para calibrar el color antes de cada sesión de escaneo para garantizar la consistencia en la captura de imágenes.
4	Ajuste de la Precisión Geométrica en la Medición de Distancias y Ángulos	Calibraciones regulares utilizando la placa de calibración de puntos para mantener la precisión en las mediciones geométricas del escáner.

Fuente: Elaboración propia

La calibración del escáner Shining 3D destacó la necesidad de mantener la precisión del equipo para asegurar datos de alta calidad. Las calibraciones periódicas, como las de blancos y puntos, demostraron que incluso pequeñas variaciones en la configuración pueden afectar significativamente las mediciones. Estos ajustes ayudaron a minimizar errores y garantizar que el escáner estuviera correctamente ajustado, subrayando la importancia de una calibración regular para asegurar la eficiencia del escáner y la fiabilidad de los resultados en estudios antropométricos.

Durante el pilotaje inicial del estudio con el escáner 3D Shining, se implementaron 6 escaneos diferentes para capturar una gama amplia de medidas antropométricas. Estos escaneos incluyeron posiciones como "parado lateral codo 90°", "parado de frente", "pie derecho", "mano derecha", "cabeza", "sentado lateral codo 90°", y "sentado de espaldas codos 90°". Sin embargo, tras observar la redundancia y el tiempo prolongado requerido para realizar todos los escaneos, se decidió simplificar el protocolo a solo 4 escaneos: "posición de pie", "escaneo específico cintura", "posición de sentado" y "escaneo de mano". Esta simplificación permitió capturar toda la información mientras se reducía el tiempo de escaneo y se mejoraba la eficiencia del proceso.

Tabla 30- Tabla Comparativa de Escaneos Iniciales y Escaneos Simplificados

Escaneo Inicial	Escaneo Simplificado	Observaciones Iniciales	Ajustes Realizados
Parado lateral codo 90°	Posición del sujeto de pie	Escaneo diseñado para capturar detalles del codo y postura lateral.	Se integró en "posición de pie" para consolidar la captura de dimensiones corporales generales.
Parado de frente	Posición del sujeto de pie	Captura frontal para dimensiones generales del cuerpo.	Mantenido en "posición de pie" para una captura completa del cuerpo en una sola postura.
Pie derecho	Posición del sujeto de pie	Originalmente capturaba medidas precisas del pie derecha.	Se fusionó en "posición de pie completo" para incluir todas las medidas de las extremidades.
Mano derecha	Se mantuvo	Escaneo enfocado en capturar detalles complejos de la mano derecha.	Mantenido como "escaneo de mano" exclusivo para obtener medidas detalladas y precisas de la mano.
Cabeza	Posición del sujeto de pie	Proporcionaba datos de medidas específicas de la cabeza.	Incorporado en "posición de pie completo" para optimizar el tiempo de escaneo sin perder datos.
Sentado lateral codo 90°	Posición de sentado	Captura de postura sentada, especialmente el codo a 90°.	Mantenido en "posición de sentado completo" para medir dimensiones corporales en postura de sentado.
Sentado de espaldas ambos codos 90°	Posición de sentado	Captura de postura sentada de espaldas con ambos codos a 90°.	Combinado con "posición de sentado completo" para una captura más eficiente de la postura.
N/A	Escaneo específico cintura	N/A	Se añadió un escaneo exclusivo de la cintura para capturar con precisión la circunferencia de la misma

Fuente: Elaboración propia

La reducción de los escaneos de 7 a 4 durante el pilotaje con el escáner 3D Shining mejoró significativamente la eficiencia en la medición antropométrica. El protocolo inicial, que separaba cada postura y parte del cuerpo, resultó redundante y demasiado extenso. Al combinar escaneos similares, como los de pie derecho y cabeza en una "posición de pie completo", y añadir un escaneo específico para la cintura, se redujo el tiempo y se simplificó el proceso sin perder precisión en los datos. Este cambio destacó la importancia de la flexibilidad y adaptación en la planificación experimental para mejorar la eficacia del estudio. Los 4 escaneos finales fueron los siguientes:

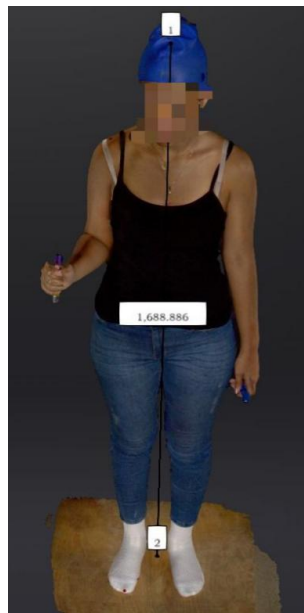


Ilustración 6- Escaneo en posición de pie

Fuente: Elaboración propia

El escaneo en posición de pie (Ver ilustración 6) permitió capturar las siguientes dimensiones corporales:

- Estatura
- Altura de los ojos
- Altura de los hombros
- Altura de los nudillos
- Altura de los codos
- Agarre de codo
- Profundidad de tórax

- Ancho de cadera
- Ancho de pie
- Longitud de pie
- Largo de cabeza
- Ancho de cabeza
- Circunferencia de cabeza



Ilustración 7- Escaneo en posición sentado

Fuente: Elaboración propia

El escaneo en posición de sentada (Ver ilustración 7) permitió capturar las siguientes dimensiones corporales:

- Altura sentada
- Altura de los ojos sentado
- Altura de los hombros sentado
- Altura de codos estirados, sentado
- Altura de los muslos sentado (Thigh clearance)
- Altura de las rodillas sentado
- Altura poplíteica (Parte posterior de la rodilla sentado)
- Distancia de glúteos a la rodilla sentado
- Distancia de un codo al otro
- Ancho de hombros sentado
- Ancho de caderas sentado

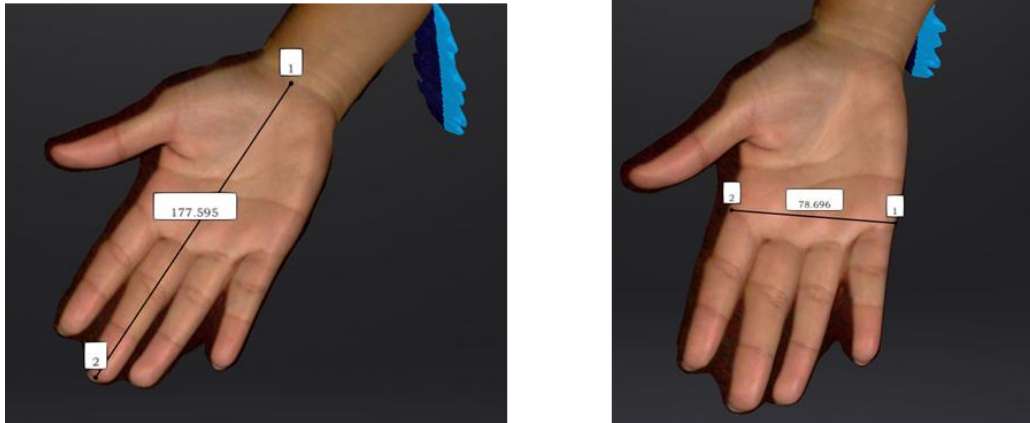


Ilustración 8- Escaneo en posición de la mano

Fuente: Elaboración propia

El escaneo de la mano (Ver ilustración 8) permitió capturar las siguientes dimensiones corporales:

- Largo de mano
- Ancho de mano

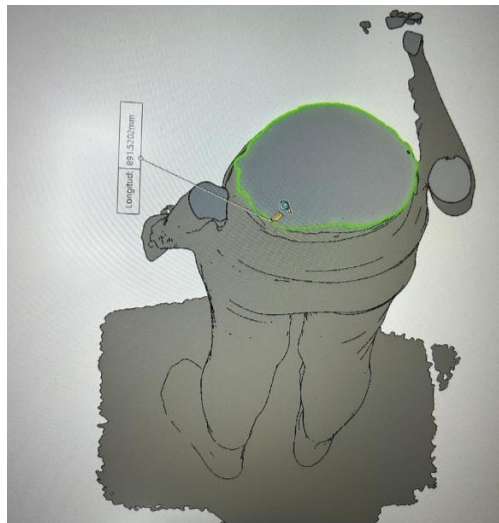


Ilustración 9- Escaneo de la cintura

Fuente: Elaboración propia

El escaneo de la cintura 360° (ver ilustración 9) permitió capturar las siguientes dimensiones corporales:

- Circunferencia de cintura

Durante el pilotaje del estudio con el escáner 3D Shining, se identificó que ciertos parámetros, específicamente las circunferencias de la cintura y la cabeza requerían un análisis más preciso que el proporcionado por el software del escáner. Para estos parámetros, los datos escaneados se exportaron a SolidWorks, un software especializado en modelado 3D, donde se generaron sólidos tridimensionales. Este proceso facilitó la obtención de medidas exactas del diámetro de las circunferencias, permitiendo un análisis más detallado y riguroso de las dimensiones antropométricas requeridas.

Tabla 31- Medición de parámetros de circunferencias extraído en SolidWorks

N°	Parámetro	Descripción
1	Circunferencia de cintura	Medición del contorno de la cintura del sujeto.
2	Circunferencia de cabeza	Medición del contorno de la cabeza del sujeto.

Fuente: Elaboración propia

La exportación de datos a SolidWorks (ver ilustración 10) para el cálculo preciso de circunferencias subrayó una limitación del software del escáner 3D en el manejo de mediciones complejas de diámetros. Aunque el escáner capturaba imágenes tridimensionales detalladas, el análisis geométrico detallado de circunferencias, como las de cintura y cabeza, requería un software más robusto capaz de manejar cálculos precisos de diámetros. Esta necesidad reflejó la importancia de complementar el escaneo 3D con herramientas de software adicionales para garantizar la precisión y la fiabilidad de los datos, especialmente en estudios antropométricos avanzados donde se necesita alta exactitud en las medidas geométricas.

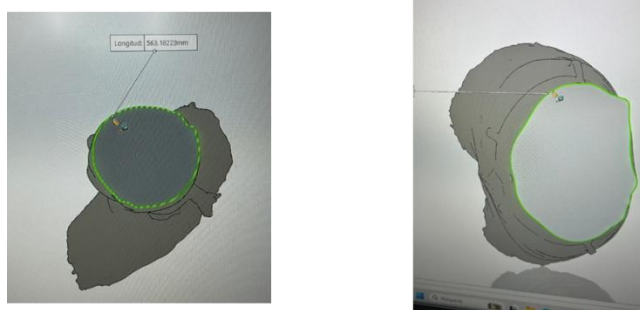


Ilustración 10-Parámetros de circunferencia extraídos en SolidWorks

Fuente: Elaboración propia

Durante el pilotaje con el escáner 3D Shining, se observó que la luminosidad del entorno tenía un impacto significativo en la precisión de las mediciones. El escáner utiliza luces LED integradas para capturar datos detallados de las dimensiones del cuerpo. Sin embargo, la presencia de fuentes de luz externas o una iluminación inadecuada puede interferir con el funcionamiento del escáner, causando distorsiones en las imágenes y afectando la calidad de los datos recolectados. Para mitigar este problema, se implementaron controles de iluminación en el entorno de escaneo, asegurando una luz constante y sin reflejos para optimizar la precisión del escaneo 3D.

Tabla 32- Influencia de la Luminosidad en la Calidad y Precisión del Escaneo 3D

Observación	Descripción	Solución Implementada
Intensidad de luz	Se detectaron reflejos no deseados y sombras que distorsionaban los datos capturados debido a una iluminación demasiado intensa o mal distribuida.	Se optó por reducir la intensidad de la luz y utilizar fuentes de luz difusa para minimizar los reflejos y mejorar la calidad de las imágenes obtenidas.
Variabilidad en la distribución de la luz	Las mediciones mostraban inconsistencias debido a la variabilidad en la distribución de la luz, afectando la precisión de las dimensiones capturadas.	Se trabajó en un entorno de baja luminosidad y se aseguraron condiciones de iluminación uniforme para garantizar datos consistentes y precisos.

Fuente: Elaboración propia

El ajuste de la iluminación demostró ser una estrategia fundamental para optimizar la precisión del escaneo 3D en estudios antropométricos. Al controlar la luminosidad, se logró minimizar las interferencias causadas por reflejos y sombras, lo cual mejoró significativamente la calidad y consistencia de los datos recopilados. Esta adaptación resaltó la importancia de un entorno de escaneo bien controlado, donde factores como la luminosidad deben ser cuidadosamente manejados para garantizar resultados confiables en investigaciones avanzadas.

La ilustración 11 muestra comparativas del escaneo 3D muestran al mismo sujeto bajo dos condiciones diferentes: una con control de luminosidad y otra sin control. Durante el proceso inicial de escaneo, se observaron interferencias en los resultados debido a la falta de control sobre la iluminación externa, lo que afectó la precisión de las medidas obtenidas. Ante esta situación, y al no identificar el problema en el momento, se decidió continuar el escaneo al día siguiente, permitiendo un cambio en la vestimenta del sujeto. En el segundo intento, se implementó un control estricto de la luminosidad, lo que resultó en una mejora notable en la claridad y precisión del escaneo 3D.

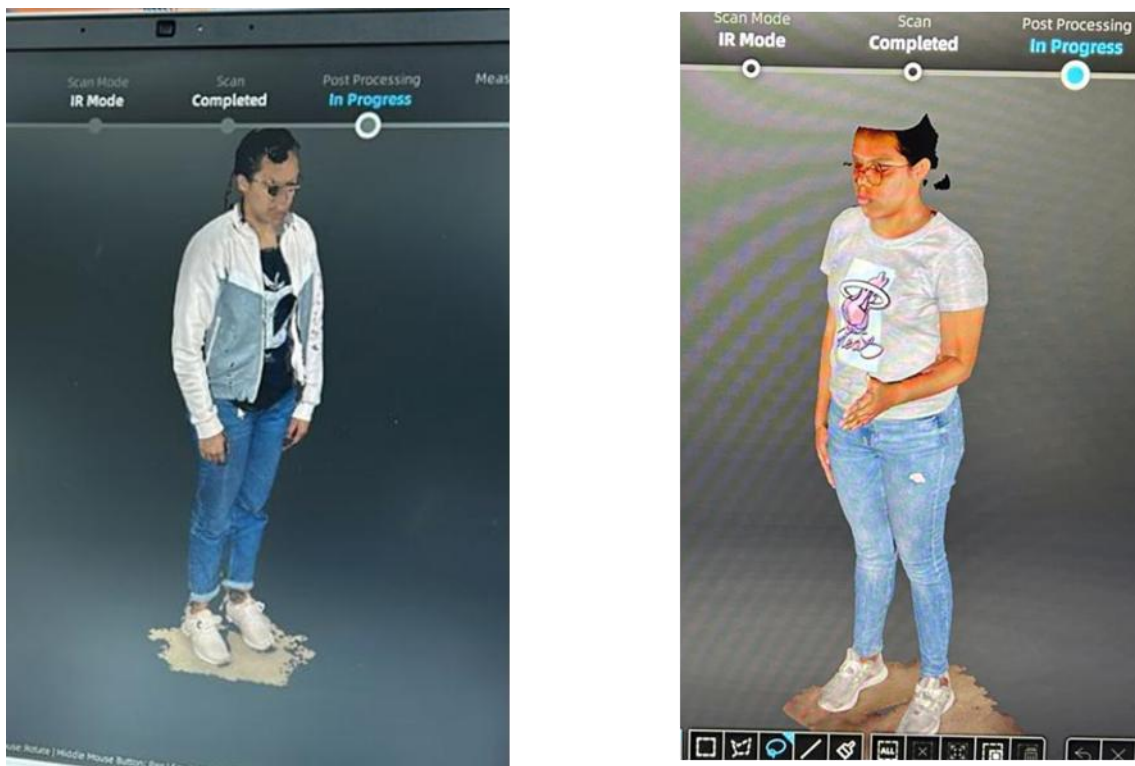


Ilustración 11- Pilotaje de comparativa de Escaneos 3D: Efectos de la Luminosidad Controlada vs. No Controlada

Fuente: Elaboración propia

El análisis de las imágenes comparativas destaca la importancia de mantener un entorno de escaneo controlado, especialmente en lo que respecta a la iluminación. La interferencia de fuentes de luz externa, junto con las luces LED del escáner 3D, puede causar reflexiones y sombras que afectan la precisión de las medidas. Esta experiencia resalta la necesidad de ajustar cuidadosamente las condiciones de iluminación para asegurar la calidad de los datos obtenidos. Continuar el escaneo al día siguiente, bajo condiciones optimizadas, permitió lograr mediciones más precisas, subrayando la importancia de la flexibilidad en estudios antropométricos avanzados. Antes de la implementación del gorro de silicona, los escaneos 3D realizados con el escáner Shining presentaban problemas significativos debido a los reflejos causados por el brillo natural del cabello de los sujetos. Estas interferencias provocaban errores en las mediciones, datos inconsistentes, y una mayor necesidad de ajustes y repetición de escaneos, lo que incrementaba el tiempo total de trabajo.

Tabla 33- Tabla comparativa de un antes y despues de la implementación del gorro de silicona para el escaneo 3D

Aspecto	Antes de la Implementación del Gorro de Silicona	Después de la Implementación del Gorro de Silicona
Precisión de las Mediciones	Medición inconsistente debido a reflejos del cabello que distorsionaban los resultados.	Mayor precisión en las mediciones gracias a la eliminación de reflejos del cabello.
Calidad de los Datos	Los datos capturados eran propensos a errores, especialmente en áreas con mucho cabello.	Datos más uniformes y precisos, con una mejor representación de la forma del cráneo y la cabeza.
Variabilidad entre Sujetos	Alta variabilidad debido a las diferencias en el brillo del cabello de los participantes.	Variabilidad reducida; los gorros proporcionaron condiciones de escaneo más uniformes.
Consistencia en los Resultados	Resultados inconsistentes que requerían múltiples escaneos para corregir errores.	Mayor consistencia en los resultados desde el primer escaneo, reduciendo la necesidad de repeticiones.
Tiempo de Escaneo	Mayor tiempo requerido para obtener resultados precisos debido a la necesidad de ajustes.	Reducción del tiempo total de escaneo gracias a la captura de datos más limpia y precisa.
Facilidad de Procesamiento	Necesidad de procesamiento adicional para corregir errores y eliminar datos ruidosos.	Procesamiento más eficiente con menos corrección manual de errores, optimizando la eficiencia del flujo de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Con la introducción de gorros de silicona de textura mate, se lograron escaneos más precisos y consistentes. Los gorros eliminaron los reflejos problemáticos y estandarizaron las condiciones del escaneo, reduciendo la variabilidad entre sujetos y mejorando la calidad general de los datos. Esta mejora no solo optimizó la precisión de las mediciones, sino que también aumentó la eficiencia del proceso al reducir el tiempo y los recursos necesarios para obtener resultados confiables.

La comparación de escaneos 3D con y sin gorro de silicona muestra la importancia de controlar factores externos para mejorar la precisión del escaneo. Sin el gorro, los reflejos del cabello causaban distorsiones y errores en los datos. La introducción del gorro de silicona mate eliminó estos reflejos, resultando en mediciones más precisas y consistentes, y redujo la necesidad de repetir escaneos, optimizando el tiempo de procesamiento.

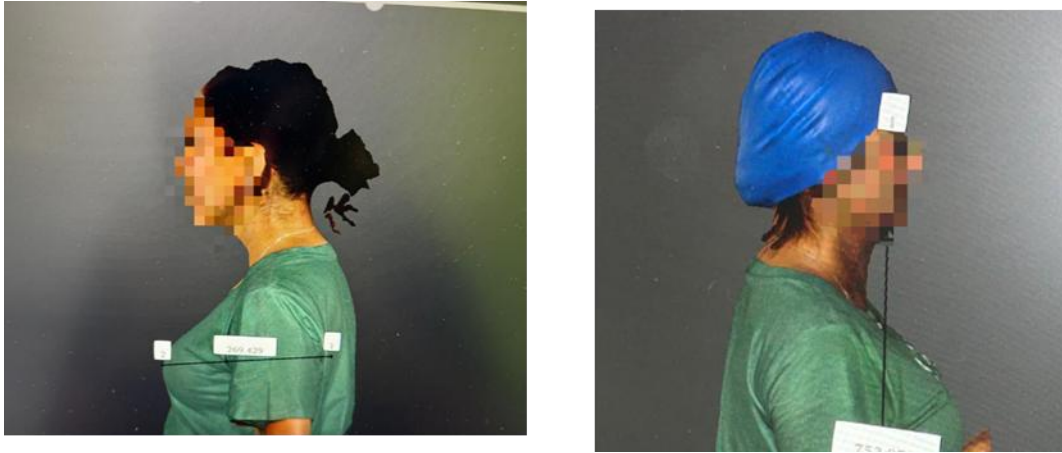


Ilustración 12- Escaneo 3D con y sin el uso del gorro de silicona

Fuente: Elaboración propia

Las imágenes comparativas resaltan la importancia de minimizar factores que afectan la recolección de datos en estudios antropométricos. El uso del gorro de silicona eliminó reflejos y estandarizó las condiciones de escaneo, mejorando la fiabilidad de los resultados. Este ajuste en el protocolo demostró que pequeñas mejoras pueden aumentar significativamente la eficiencia y calidad del proceso de medición.

La comparación de escaneos 3D realizados con y sin control de vestimenta muestra que la ropa con colores brillantes, patrones complejos o texturas no uniformes causó errores significativos en las mediciones, como reflejos indeseados y distorsiones en la superficie escaneada. Esto generó datos inconsistentes y aumentó la necesidad de correcciones manuales. Al escanear directamente sobre la piel o con ropa de colores neutros y sin patrones, se obtuvieron resultados más precisos y uniformes.

Tabla 34- Tabla comparativa de Impacto de la Vestimenta en la Precisión del Escaneo 3D

Aspecto	Sin Control de Vestimenta	Con Control de Vestimenta
Precisión de las Mediciones	Medición afectada por el brillo de la ropa, reflejos y patrones que causan distorsiones en la superficie escaneada.	Mayor precisión cuando se eliminan los reflejos y distorsiones escaneando directamente sobre la piel.
Calidad de los Datos	Presencia de datos distorsionados y áreas no definidas debido a interferencias visuales.	Datos más claros y uniformes sin distorsiones, especialmente en áreas críticas como las extremidades.
Variabilidad entre Sujetos	Alta variabilidad en las mediciones debido a diferentes tipos de tela y colores de la vestimenta.	Variabilidad reducida al estandarizar el tipo de vestimenta o escanear sin ropa que interfiera.
Consistencia en los Resultados	Resultados inconsistentes, con necesidad de múltiples repeticiones para corregir errores causados por la vestimenta.	Mayor consistencia en los resultados desde el primer escaneo al eliminar interferencias.
Tiempo de Escaneo	Aumento del tiempo de escaneo por ajustes y repeticiones necesarias debido a errores introducidos por la ropa.	Reducción del tiempo de escaneo al evitar errores, especialmente cuando se escanea directamente sobre la piel.
Facilidad de Procesamiento	Mayor necesidad de corrección manual y procesamiento de imágenes debido a los artefactos introducidos por la ropa.	Procesamiento más rápido y eficiente con menos corrección de errores cuando se escanea sin interferencias de vestimenta.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis destacan que el uso de ropa puede introducir artefactos que afectan negativamente la precisión de los escaneos 3D, especialmente debido a reflejos y distorsiones visuales. La decisión de escanear directamente sobre la piel o con vestimenta controlada eliminó estas interferencias, redujo la variabilidad entre sujetos y mejoró la eficiencia del proceso de escaneo. Este ajuste en el protocolo subraya la importancia de controlar las condiciones externas para maximizar la precisión y consistencia de los datos en estudios antropométricos avanzados.

5.2.4.2 *Recolección de medidas finales por el método de escaner 3D, con la herramienta EinScan H1 Shining 3D*

Para llevar a cabo la recolección de datos mediante el escaneo 3D y capturar las medidas con precisión, se utilizaron varias herramientas y software. El EinScan H1 de Shining 3D se encargó de capturar las proporciones de las personas y generar modelos digitales. Estos modelos fueron procesados posteriormente con el software EXScan H, que es el programa compatible con los escáneres Shining y se encargó del procesamiento del escaneo. Finalmente, el software

SolidWorks y la herramienta interna de medición del EXScan H permitieron extraer las medidas específicas de cada parámetro del modelo digital.

Además, para garantizar una correcta captación de las medidas, se consideraron diversos factores, como la posición que debía adoptar el sujeto medido para realizar el escaneo, el instrumento de medición en este caso el EinScan H1 Shining 3D, el software para la extracción de las medidas y el escaneo correspondiente a cada medición. Estos elementos se detallan en la tabla 35. Los escaneos se clasificaron de la siguiente manera:

1. Escaneo de pie: Este escaneo se realiza alrededor del sujeto en un giro de 360 grados. Permite extraer 13 de los 27 parámetros a medir.
2. Escaneo de cintura: Se trata de un escaneo seccionado, enfocado únicamente en la cintura del sujeto, también en un giro de 360 grados. Con este escaneo se puede extraer la medición de 1 parámetro.
3. Escaneo de mano: La mano, debido a sus micro movimientos y movimientos involuntarios, puede complicar la precisión del escaneo. Por esta razón, se optó por escanear la mano por separado para mejorar la resolución. Este escaneo permite capturar las medidas de 2 parámetros.
4. Escaneo sentado: Junto con el escaneo de pie, este es uno de los escaneos más extensos. Permite extraer 11 mediciones de parámetros

Tabla 35- Elementos a considerar para la recolección de mediciones con el método de escaneo 3D

Elementos para la recolección de mediciones con el método escaner 3D					
Orden	Parámetro	Posición del sujeto	Herramienta	Clasificación escaneo	Software de extracción de la medición
1	Estatura	De pie	Escaner EinScan H1 Shining 3D	Escaneo de pie	Software EXScan H
2	Altura de los ojos				
3	Altura de los hombros				
4	Profundidad de tórax				
5	Altura de los codos				
6	Altura de los nudillos				
7	Agarre de codo				
8	Ancho de cadera, parado				
9	Ancho de pie				
10	Longitud de pie				
11	Largo de cabeza				
12	Ancho de cabeza				
13	Circunferencia de cabeza				
14	Circunferencia de cintura	Sentado	Escaner EinScan H1 Shining 3D	Escaneo de cintura	Software SolidWorks
15	Ancho de mano			Escaneo de mano	Software EXScan H
16	Longitud de mano				
17	Altura sentada			Escaneo sentado	Software EXScan H
18	Altura de los ojos, sentado				
19	Altura de los hombros, sentado				
20	Altura de las rodillas, sentado				
21	Altura se poplítea, sentado				
22	Distancia de glúteos a la rodilla				
23	Altura de codos, sentado				
24	Altura de los muslos				
25	Distancia de un codo al otro				
26	Ancho de hombros				
27	Ancho de caderas, sentado				

Fuente: Elaboración propia

La revisión de la Tabla 35 reveló que uno de los aspectos principales en la toma de mediciones mediante escaneo tridimensional fue el tipo de escaneo y el software de extracción de medidas. Fue fundamental conocer qué tipo de escaneo se utilizó para cada parámetro y qué software se empleó para capturar dichas mediciones, con el fin de evitar reprocesos y retrasos en el proceso de recolección de medidas antropométricas. Cabe destacar que las mediciones extraídas con el software EXScan H también pueden ser capturadas con SolidWorks; sin embargo, las medidas que se ven en la tabla que fueron extraídas con SolidWorks solo pueden ser recolectadas por este.

Se recolectaron 27 mediciones de los parámetros de 20 sujetos, las cuales fueron registradas en el formato de medidas capturadas (ver Anexo 2). El orden y las posiciones del usuario empleados fueron los mismos que los definidos para el método tradicional y el fotométrico. Ambos softwares de extracción proporcionaron las medidas en milímetros, por lo que se realizó una conversión a centímetros para que las mediciones de los tres métodos estuvieran en la misma unidad. A continuación, se presenta la tabla con los datos recolectados.

Tabla 36- Medidas antropométricas finales recolectadas por el método de escaneo 3D, muestra (n=20)

Medidas antropométricas finales de toda la muestra (n=20) recolectadas por el método del escaneo 3D con la herramienta EnScan H1 Shining 3D (cm)																					
N°	Parámetro	Sujeto (F/M)																			
		S1 (M)	S2 (F)	S3 (F)	S4 (F)	S5 (F)	S6 (F)	S7 (M)	S8 (F)	S9 (F)	S10 (M)	S11 (F)	S12 (M)	S13 (M)	S14 (M)	S15 (F)	S16 (F)	S17 (F)	S18 (M)	S19 (F)	S20 (M)
1	Estatura	160.60	166.35	159.15	157.50	155.78	165.49	168.53	168.60	158.85	181.60	164.65	183.59	178.09	172.58	149.85	163.89	168.89	160.04	160.49	170.01
2	Altura de los ojos	150.74	155.49	147.54	149.07	142.92	151.65	154.64	154.82	147.29	169.74	154.36	171.82	165.34	163.30	139.66	153.26	155.82	149.30	147.70	162.81
3	Altura de los hombros	134.35	139.88	131.02	132.10	126.60	135.79	139.04	137.37	130.46	148.95	138.25	149.21	148.30	142.27	123.14	137.11	139.29	129.22	133.28	141.59
4	Profundidad de tórax	21.92	26.36	21.75	26.94	25.23	24.08	25.13	29.10	25.13	27.38	23.72	24.23	28.23	26.15	23.13	24.43	24.70	19.87	23.96	24.88
5	Altura de los codos	97.95	102.32	97.19	98.12	96.17	99.89	104.14	101.94	95.28	108.48	101.42	110.63	108.22	104.37	91.11	99.29	103.63	95.91	99.28	105.44
6	Altura de los nudillos	81.70	71.31	70.14	68.67	69.70	73.83	75.01	77.55	62.00	77.15	71.91	80.31	76.20	72.87	66.63	69.07	68.82	69.78	72.02	77.16
7	Agarre de codo	33.28	35.54	31.36	31.66	30.38	36.22	35.45	35.25	35.42	40.35	33.18	40.13	40.11	37.59	31.29	34.50	36.77	32.98	34.60	38.45
8	Ancho de cadera, parado	37.49	36.64	31.81	39.10	38.03	34.56	39.40	40.17	35.46	40.27	35.85	38.31	44.66	37.09	34.50	36.31	39.35	31.34	34.32	39.28
9	Ancho de pie	9.80	8.90	8.10	10.05	9.79	8.54	10.27	9.17	23.18	9.43	8.96	9.99	10.64	9.55	9.02	8.48	9.12	9.45	9.06	10.27
10	Longitud de pie	24.90	23.83	22.95	24.16	22.26	22.24	26.53	22.70	8.89	26.40	23.56	26.30	26.06	25.60	21.69	22.56	25.89	24.84	24.02	24.51
11	Largo de cabeza	20.31	18.51	19.45	20.41	20.15	20.98	20.46	19.75	20.53	21.06	20.75	20.54	20.19	19.51	20.32	19.45	18.94	20.21	19.37	19.87
12	Ancho de cabeza	16.16	16.63	14.83	16.75	15.58	15.98	16.35	16.06	15.98	16.78	16.27	15.98	16.37	15.88	15.07	15.51	15.71	15.71	15.54	15.81
13	Circunferencia de cabeza	58.51	56.32	54.74	58.46	57.67	59.63	58.13	57.63	58.90	58.21	54.58	57.06	57.06	55.67	56.37	54.23	55.63	56.87	55.80	57.33
14	Circunferencia de cintura	102.04	89.15	77.46	88.69	77.81	83.08	96.95	83.23	78.66	100.74	37.65	101.06	116.89	95.71	79.38	84.10	81.95	75.93	75.70	97.53
15	Ancho de mano	8.81	8.10	7.30	7.41	7.14	7.73	8.32	6.99	7.00	19.62	7.39	8.61	8.38	8.57	6.70	7.01	7.87	7.52	7.68	8.88
16	Longitud de mano	17.10	16.80	16.22	16.79	15.87	16.76	17.67	16.46	16.59	9.03	16.70	19.06	17.59	19.09	14.88	16.23	17.76	16.58	16.86	19.03
17	Altura sentada	90.46	85.39	83.06	86.61	85.38	89.08	92.55	90.45	84.14	95.87	85.53	95.51	91.37	91.70	84.61	87.57	91.62	89.35	88.53	90.45
18	Altura de los ojos, sentado	77.07	71.38	71.44	75.40	70.60	76.47	76.89	76.75	71.65	79.52	74.73	82.73	77.32	80.00	68.57	74.66	79.16	77.84	75.86	77.07
19	Altura de los hombros, sentado	59.46	56.96	53.84	57.43	53.17	59.52	60.70	59.48	54.54	60.38	59.13	62.29	60.10	59.72	54.21	59.14	61.08	56.09	59.65	57.66
20	Altura de las rodillas, sentado	51.41	53.75	49.34	47.11	47.51	49.45	52.83	51.78	49.90	57.15	50.48	56.01	57.24	53.34	42.54	51.47	50.05	48.25	48.63	52.83
21	Altura se poplitea, sentado	42.03	42.19	40.06	36.01	37.27	40.49	39.25	39.04	39.72	42.82	40.84	43.12	41.41	39.27	35.70	39.75	39.35	38.07	38.28	39.86
22	Distancia de glúteos a la rodilla	52.04	60.58	56.63	55.05	56.62	58.31	57.13	61.66	56.48	63.04	57.87	61.59	66.29	59.59	51.32	58.59	60.56	52.03	56.05	59.40
23	Altura de codos, sentado	24.31	23.23	22.54	24.99	22.37	24.62	25.15	25.24	22.81	22.28	22.26	25.20	19.44	22.14	22.26	20.91	25.14	23.06	25.20	21.31
24	Altura de los muslos	16.07	12.90	13.78	14.84	15.85	12.96	16.10	19.00	13.84	19.31	13.97	17.89	20.29	19.78	12.42	15.30	15.14	11.91	15.15	19.27
25	Distancia de un codo al otro	53.24	49.59	42.99	44.96	43.01	40.62	53.12	48.99	47.04	52.09	43.32	52.53	59.55	50.23	40.97	47.25	43.35	42.62	44.40	51.22
26	Ancho de hombros	50.24	47.10	42.82	44.98	43.84	42.54	49.03	46.38	43.87	54.65	42.57	51.57	54.04	53.27	39.53	45.09	43.46	39.86	41.75	51.76
27	Ancho de caderas, sentado	38.47	39.69	34.91	39.60	39.39	36.37	39.82	43.12	36.35	41.81	38.84	40.48	47.76	40.67	35.91	40.03	43.43	33.80	36.47	43.02

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 36 presentada anteriormente se observa que los datos están representados en centímetros, con dos cifras decimales. Esto se debe a que los softwares proporcionan las medidas en milímetros, con tres cifras decimales, lo que ofrece una mayor precisión a la medida. En la Tabla #, los datos de las mediciones de los parámetros están presentados según el sujeto medido. El número que acompaña a la "S" en los encabezados indica el número de evaluación correspondiente a cada persona, y también se incluye información sobre si el sujeto medido es hombre o mujer, fueron 12 mujeres medidas y 8 hombres.

Tabla 37- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de escaneo 3D en hombres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el metodo escaneo 3D de hombres (n=8)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatura	161.62	5.71	149.85	168.89
2	Altura de los ojos	149.96	5.19	139.66	155.82
3	Altura de los hombros	133.69	5.24	123.14	139.88
4	Profundidad de tórax	24.877	1.916	21.747	29.099
5	Altura de los codos	98.8	3.51	91.11	103.63
6	Altura de los nudillos	70.14	3.82	62	77.55
7	Agarre de codo	33.847	2.184	30.379	36.771
8	Ancho de cadera, parado	36.34	2.458	31.809	40.166
9	Ancho de pie	10.2	4.12	8.1	23.18
10	Longitud de pie	22.06	4.3	8.89	25.89
11	Largo de cabeza	19.885	0.759	18.515	20.981
12	Ancho de cabeza	15.827	0.575	14.828	16.754
13	Circunferencia de cabeza	56.664	1.784	54.231	59.631
14	Circunferencia de cintura	78.07	13.42	37.65	89.15
15	Ancho de mano	7.36	0.418	6.7	8.095
16	Longitud de mano	16.493	0.685	14.882	17.759
17	Altura sentada	86.832	2.642	83.058	91.619
18	Altura de los ojos, sentado	73.889	3.113	68.568	79.158
19	Altura de los hombros, sentado	57.346	2.739	53.173	61.084
20	Altura de las rodillas, sentado	49.334	2.816	42.535	53.751
21	Altura se poplíteas, sentado	39.058	1.941	35.697	42.192
22	Distancia de glúteos a la rodil	57.478	2.811	51.323	61.657
23	Altura de codos, sentado	23.464	1.495	20.907	25.237
24	Altura de los muslos	14.597	1.759	12.42	19
25	Distancia de un codo al otro	44.708	2.932	40.619	49.589
26	Ancho de hombros	43.662	2.067	39.531	47.101
27	Ancho de caderas, sentado	38.675	2.764	34.909	43.43

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38- Estadística descriptiva de las mediciones antropométricas finales del método de escaneo 3D en mujeres (cm)

Estadísticos descriptivos de medidas recolectadas por el metodo escaneo 3D de mujeres (n=12)					
N°	Parámetro	Media	Desv.Est.	Mínimo	Máximo
1	Estatuta	161.62	5.71	149.85	168.89
2	Altura de los ojos	149.96	5.19	139.66	155.82
3	Altura de los hombros	133.69	5.24	123.14	139.88
4	Profundidad de tórax	24.877	1.916	21.747	29.099
5	Altura de los codos	98.8	3.51	91.11	103.63
6	Altura de los nudillos	70.14	3.82	62	77.55
7	Agarre de codo	33.847	2.184	30.379	36.771
8	Ancho de cadera, parado	36.34	2.458	31.809	40.166
9	Ancho de pie	10.2	4.12	8.1	23.18
10	Longitud de pie	22.06	4.3	8.89	25.89
11	Largo de cabeza	19.885	0.759	18.515	20.981
12	Ancho de cabeza	15.827	0.575	14.828	16.754
13	Circunferencia de cabeza	56.664	1.784	54.231	59.631
14	Circunferencia de cintura	78.07	13.42	37.65	89.15
15	Ancho de mano	7.36	0.418	6.7	8.095
16	Longitud de mano	16.493	0.685	14.882	17.759
17	Altura sentada	86.832	2.642	83.058	91.619
18	Altura de los ojos, sentado	73.889	3.113	68.568	79.158
19	Altura de los hombros, sentado	57.346	2.739	53.173	61.084
20	Altura de las rodillas, sentado	49.334	2.816	42.535	53.751
21	Altura se poplítea, sentado	39.058	1.941	35.697	42.192
22	Distancia de glúteos a la rodil	57.478	2.811	51.323	61.657
23	Altura de codos, sentado	23.464	1.495	20.907	25.237
24	Altura de los muslos	14.597	1.759	12.42	19
25	Distancia de un codo al otro	44.708	2.932	40.619	49.589
26	Ancho de hombros	43.662	2.067	39.531	47.101
27	Ancho de caderas, sentado	38.675	2.764	34.909	43.43

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en las Tablas 37 y 38 que el parámetro con la desviación estándar más alta es la medición de la circunferencia de cintura, la cual presenta hasta 13.42 cm de desviación estándar. Esto clasifica dicho parámetro como uno de los más inconsistentes, ya que, aunque en los métodos anteriores la circunferencia de cintura mostraba una alta variación entre las medidas de los sujetos, en el caso de las mediciones con escaneo 3D, la variación es incluso mayor. Las observaciones sobre las desviaciones y medias de cada parámetro, agrupadas según el género, nos ayudan a comprender mejor la composición general de los datos.

5.3 ANÁLISIS ANOVA PARA LA COMPARACIÓN DE MEDIDAS TRADICIONALES CONTRA LOS MÉTODOS ALTERNATIVOS DE FOTOGRAMETRÍA Y ESCANER 3D

Después de realizar una recolección exhaustiva de mediciones utilizando tres métodos distintos, fotogrametría, escaneo 3D y el método tradicional. Se llevó a cabo un análisis detallado para comparar la precisión de estas herramientas con respecto al método tradicional. El análisis se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA), que permite evaluar si las mediciones obtenidas con los tres métodos son estadísticamente similares. Esta evaluación es fundamental para determinar la validez de las nuevas técnicas y su eficacia en comparación con los métodos convencionales.

Para iniciar este proceso, se llevó a cabo una meticulosa preparación de los datos. Estos fueron organizados de manera cuidadosa para su ingreso en el software Minitab, estructurados en tablas detalladas que incluyen todas las fuentes de variabilidad del diseño de bloques. En estas tablas se especifican el tratamiento (método de medición: fotogrametría, escaneo 3D y tradicional), el factor de bloque (sujeto medido: nombre de los voluntarios) y la variable de respuesta (mediciones recolectadas en centímetros). Esta organización detallada de los datos es esencial para llevar a cabo un análisis ANOVA con Minitab (ver anexo 4).

A continuación, se calcularon estadísticas descriptivas clave, como las medias y las desviaciones estándar, para cada técnica de medición, proporcionando una visión preliminar de las diferencias entre los métodos. Posteriormente, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar las medias entre los métodos y detectar posibles diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones. Las hipótesis evaluadas fueron las siguientes (ver ecuación 2):

- Hipótesis nula (H_0): No hay diferencia significativa entre las mediciones obtenidas por los tres métodos.
- Hipótesis alternativa (H_a): Al menos uno de los métodos tiene una diferencia significativa en comparación con los otros.

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

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

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

Ecuación 4- Hipótesis evaluada en el análisis ANOVA para lo comparación de metodos

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se evaluó la normalidad y la homogeneidad de la varianza de los residuos para verificar que se cumplieran las suposiciones necesarias para el ANOVA. En caso de encontrar diferencias significativas, se realizaron pruebas post-hoc, como la de Tukey, para identificar qué pares de métodos presentaban diferencias notables. Finalmente, se evaluó la precisión de cada herramienta mediante el cálculo del error medio absoluto (EMA) y el error cuadrático medio (ECM), comparando estos resultados con las mediciones tradicionales. Esta comparación permite una interpretación integral de las diferencias y precisiones relativas entre los métodos utilizados.

5.3.1 ANÁLISIS PARÁMETRO 'ESTATURA'

Tabla 39- Estadística descriptiva del parámetro 'Estatura' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Estatura	3D	165.73	8.63
	Fotogrametria	165.65	8.45
	Tradicional	165.99	8.40

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40-Analisis ANOVA del parámetro 'Estatura'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	1.27	0.636	0.22	0.806
Sujeto	19	3999.77	210.514	71.58	0.000
Error	38	111.76	2.941		
Total	59	4112.80			

Fuente: Elaboración propia

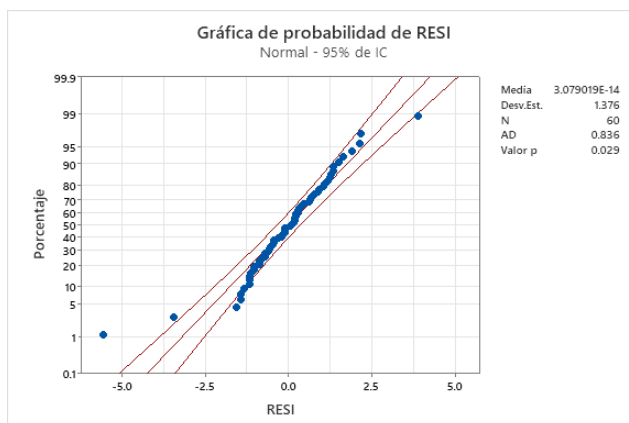


Ilustración 13-Gráfica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Estatura'

Fuente: Elaboración propia

El valor p del ANOVA reveló un valor mayor a 0.05 (ver tabla 40), indicando que no existe una diferencia significativa entre los métodos de medición para el parámetro 'Estatura'. No obstante, para validar el análisis, se realizó una prueba de normalidad de los residuos, obteniendo un valor p de 0.029 (ver ilustración 13), menor que el alfa de 0.05, lo que sugiere que los residuos no siguen una distribución normal y cuestiona la validez del ANOVA. Para mejorar la normalidad de los residuos, se decidió transformar los datos, identificando y excluyendo al sujeto con un residuo de -5.569 en una de sus mediciones. Posteriormente, se repitió el análisis ANOVA con los datos transformados para evaluar la validez del resultado bajo las nuevas condiciones.

Tabla 41- Analisis ANOVA del parámetro 'Estatura' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	3.51	1.755	1.05	0.360
Sujeto	18	3999.15	222.175	132.99	0.000
Error	36	60.14	1.671		
Total	56	4062.80			

Fuente: Elaboración propia

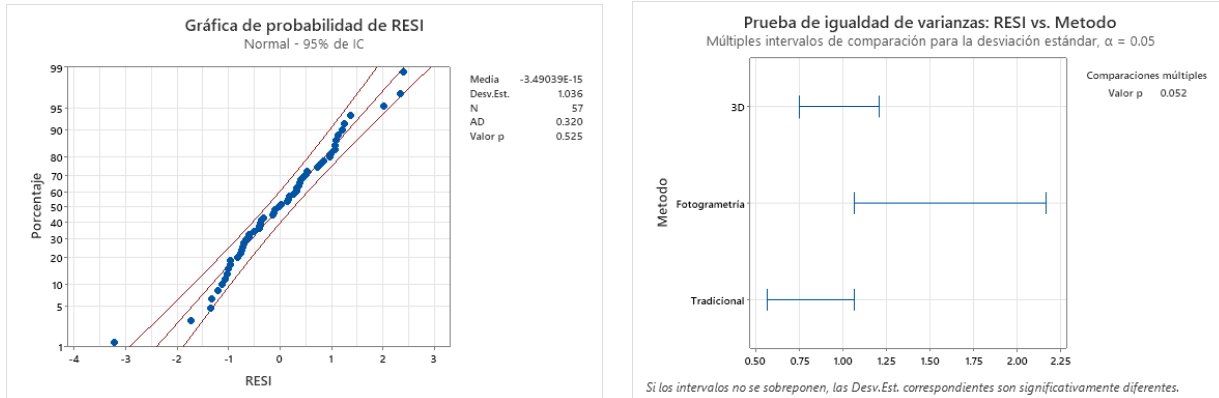


Ilustración 14-Gráficas de prueba de normalidad e igualdad de varianzas del parámetro 'Estatura'

Fuente: Elaboración propia

Se observó que, después de la transformación de los datos, el valor p del análisis ANOVA se mantuvo por encima de 0.05 (ver tabla 41). Esto sugiere que los tres métodos comparados son estadísticamente equivalentes. Además, se realizaron pruebas de normalidad e igualdad de varianzas para los residuos. Los resultados de estas pruebas también mostraron valores p superiores a 0.05 (ver ilustración 14), indicando que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Estos hallazgos confirman que los supuestos del ANOVA están satisfechos, lo que permite que las conclusiones del análisis sean válidas y fiables.

5.3.2 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE LOS OJOS'

Tabla 42- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los ojos' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los ojos	3D	154.36	8.52
	Fotogrametria	152.75	8.71
	Tradicional	153.81	8.20

Tabla 43- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los ojos'

Fuente: Elaboración propia

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	26.85	13.423	2.85	0.070
Sujeto	19	3918.77	206.251	43.79	0.000
Error	38	178.97	4.710		
Total	59	4124.59			

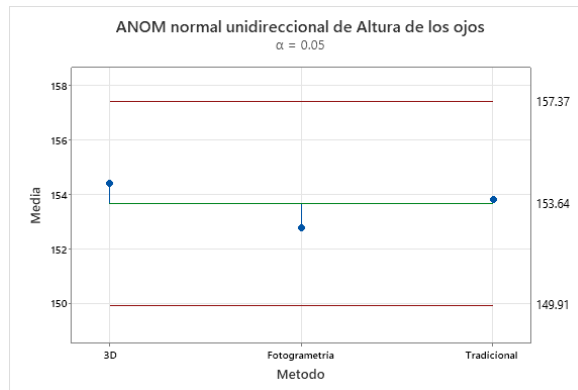
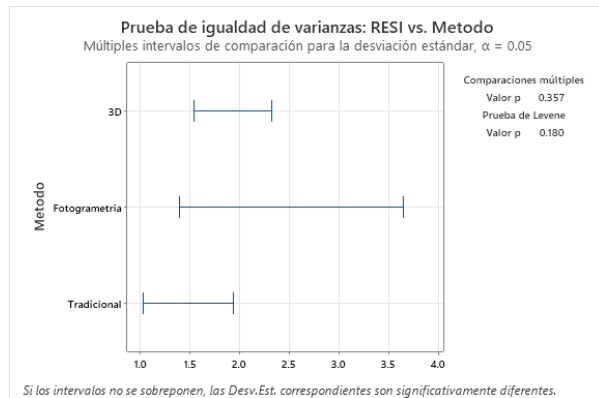
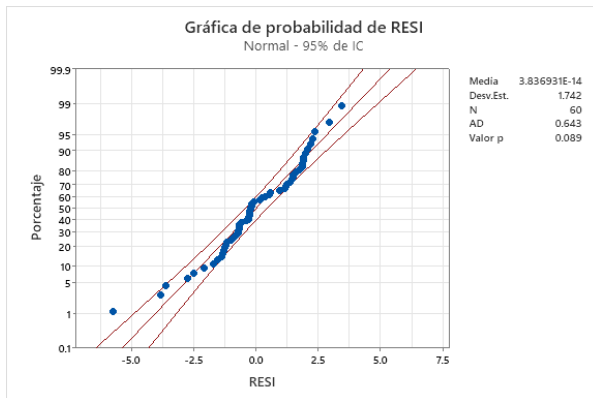


Ilustración 15- Grafica de analisis de media de las medidas de altura de los ojos según el método de medición

Fuente: Elaboración propia

El valor p obtenido del análisis ANOVA para el parámetro de altura de ojos fue superior a 0.05, lo que indica que no hay diferencias significativas entre las medidas obtenidas con los tres métodos de medición. Esto sugiere que los métodos son estadísticamente equivalentes para este parámetro. En la gráfica de análisis de medias (ver ilustración 15) se puede observar que ninguno de los tres métodos supera los límites establecidos, lo que confirma visualmente gracias al gráfico que el comportamiento de las medidas obtenidas con los diferentes métodos es similar.

Ilustración 16- Graficas de residuos del parámetro 'Altura de los ojos'



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se verificaron los supuestos del ANOVA mediante pruebas de normalidad e igualdad de varianzas. La prueba de normalidad arrojó un valor p de 0.089 y la prueba de igualdad de varianzas mostró un valor p de 0.18. Estos resultados indican que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Dado que se cumplen los supuestos del ANOVA y los resultados son válidos, se puede concluir que ambos métodos propuestos para la captura de mediciones antropométricas son adecuados para medir el parámetro de altura de ojos.

5.3.3 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE LOS HOMBROS'

Tabla 44- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los hombros' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los hombros	3D	136.86	7.16
	Fotogrametria	136.20	6.79
	Tradicional	136.63	7.08

Fuente: Elaboración propia

Tabla 45-Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de los hombros'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	4.50	2.251	0.66	0.521
Sujeto	19	2670.49	140.552	41.38	0.000
Error	38	129.07	3.397		
Total	59	2804.06			

Fuente: Elaboración propia

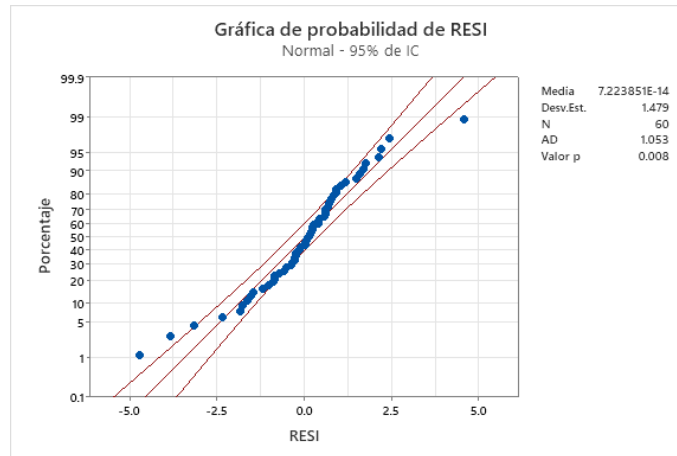


Ilustración 17-Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura de los hombros'

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis ANOVA para el parámetro de altura de hombros con el objetivo de comparar los métodos de medición: tradición, escáner 3D y fotogrametría, así verificar la hipótesis de que no existen diferencias significativas entre las mediciones realizadas por los tres métodos. El valor p obtenido para la prueba de varianza fue de 0.521, lo que permite aceptar la hipótesis nula (ver ecuación 4) de que las mediciones son iguales.

Sin embargo, al realizar las pruebas de los supuestos del ANOVA, la prueba de normalidad arrojó un valor $p=0.008$ que es menor a 0.05, lo que sugiere que los residuos no siguen una distribución normal y, por ende, cuestiona la validez de los resultados del ANOVA. En la gráfica de probabilidades de residuos se observaron tres valores que estaban fuera de las líneas rojas (ver ilustración 17), indicando anomalías en la normalidad del modelo. Tras identificar que dos de los valores anormales provenían principalmente del sujeto número uno, se procedió a extraer las

medidas de dicho sujeto. Posteriormente, se repitió el análisis ANOVA con los datos ajustados para validar los resultados.

Tabla 46- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los hombros' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	12.69	6.345	2.74	0.078
Sujeto	18	2654.95	147.497	63.70	0.000
Error	36	83.36	2.316		
Total	56	2751.00			

Fuente: Elaboración propia

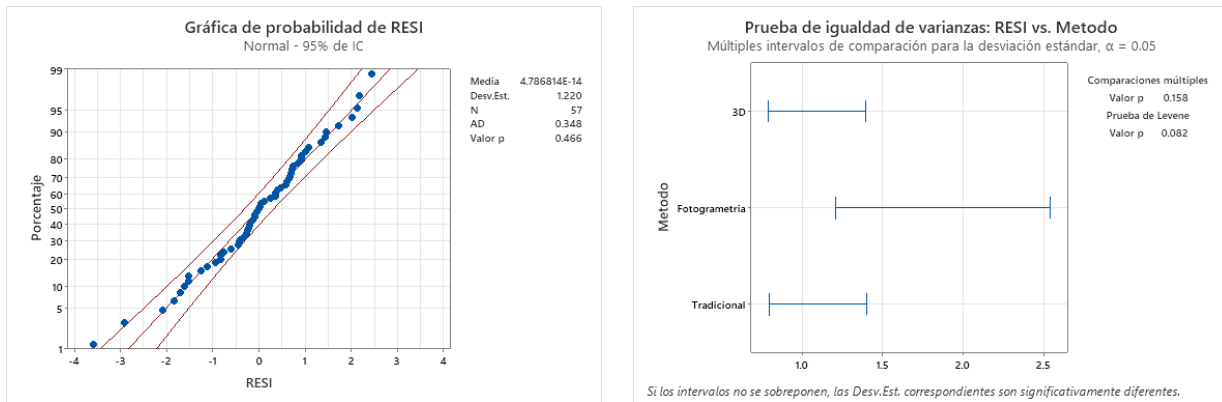


Ilustración 18-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de los hombros'

Fuente: Elaboración propia

Se realizó nuevamente el análisis ANOVA con los datos transformados y se obtuvo un valor p mayor a 0.05, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre las mediciones obtenidas con los tres métodos. Posteriormente, se verificaron los supuestos del ANOVA mediante pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las cuales dieron un valor p de 0.466 y 0.082 (ver ilustración 18), ambos superiores a 0.05, lo que permite aceptar las Ho de que los datos siguen una distribución normal y que las varianzas son iguales. Por lo tanto, se puede concluir que el análisis ANOVA cumple con los supuestos necesarios y que los resultados son válidos, indicando que no existen diferencias significativas entre las mediciones realizadas por los tres métodos.

5.3.4 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'PROFUNDIDAD DE TÓRAX'

Tabla 47- Estadística descriptiva del parámetro 'Profundidad de tórax' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Profundidad de tórax	3D	24.816	2.220
	Fotogrametria	25.60	4.74
	Tradicional	25.745	2.589

Tabla 48- Analisis ANOVA del parámetro 'Profundidad de tórax'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	9.995	4.998	0.61	0.550
Sujeto	19	335.547	17.660	2.15	0.022
Error	38	312.211	8.216		
Total	59	657.753			

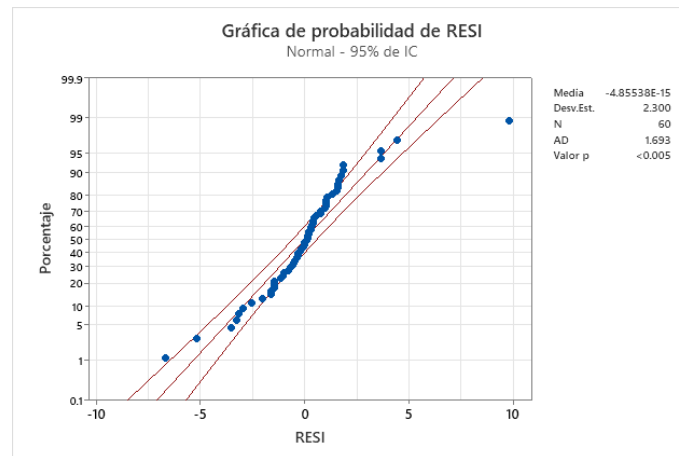


Ilustración 19-Gráfica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Profundidad de tórax'

El análisis ANOVA reveló que no había diferencias significativas entre las medidas obtenidas con los distintos métodos, ya que el valor p fue de 0.550, lo que permite aceptar la hipótesis nula. Sin embargo, al verificar los supuestos de normalidad de los residuos y homogeneidad de varianzas, la prueba de normalidad arrojó un valor p, < 0.05(ver ilustración 19), lo que rechaza la hipótesis

nula y concluye que los datos no siguen una distribución normal. Debido a esto, los resultados del ANOVA no se pueden considerar precisos. Por lo tanto, se realizó un ajuste de los datos, que incluyó la eliminación de los datos del sujeto 3, ya que presentaba residuos con valores de 9.8 y -6.66, los cuales podrían afectar significativamente la normalidad de los datos.

Tabla 49- Analisis ANOVA del parámetro 'Profundidad de tórax' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	7.871	3.935	0.92	0.407
Sujeto	18	294.723	16.373	3.83	0.000
Error	36	153.896	4.275		
Total	56	456.489			

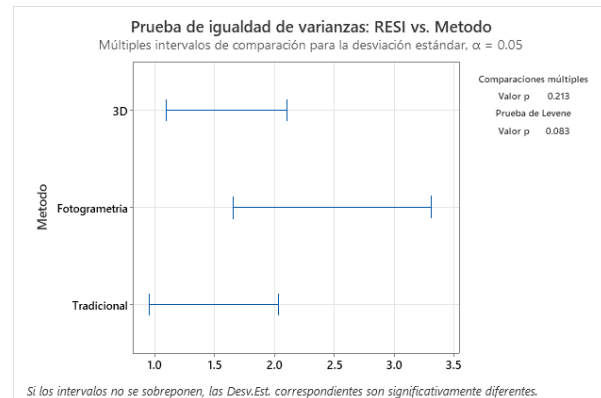
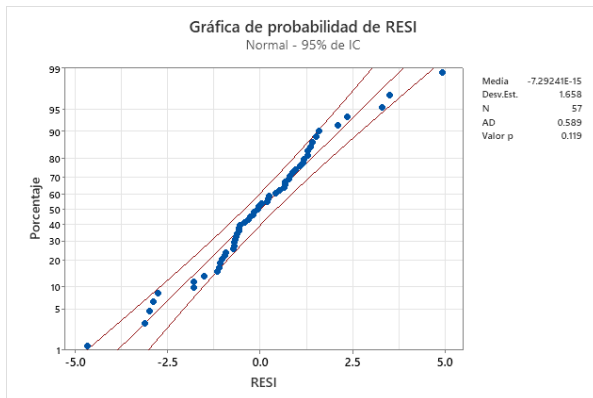


Ilustración 20-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Profundidad de tórax'

Después de realizar los ajustes necesarios, se repitió el análisis ANOVA para evaluar nuevamente si existían diferencias significativas entre las medidas obtenidas con los diferentes métodos. El valor p obtenido para los métodos fue superior a 0.05, lo que indica que no hay diferencias significativas entre las mediciones de los métodos. Posteriormente, se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, obteniendo valores p de 0.119 y 0.083, respectivamente. Estos resultados permiten confirmar la normalización e igualdad de varianza para los residuos. Por lo tanto, se puede asegurar que los resultados del análisis ANOVA son válidos y que no existen diferencias significativas entre las mediciones de los métodos.

5.3.5 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE LOS CODOS'

Tabla 50- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los codos' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los codos	3D	101.04	4.98
	Fotogrametria	100.35	6.21
	Tradicional	101.94	5.84

Tabla 51-Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los codos'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	25.43	12.715	1.85	0.172
Sujeto	19	1590.17	83.693	12.16	0.000
Error	38	261.60	6.884		
Total	59	1877.19			

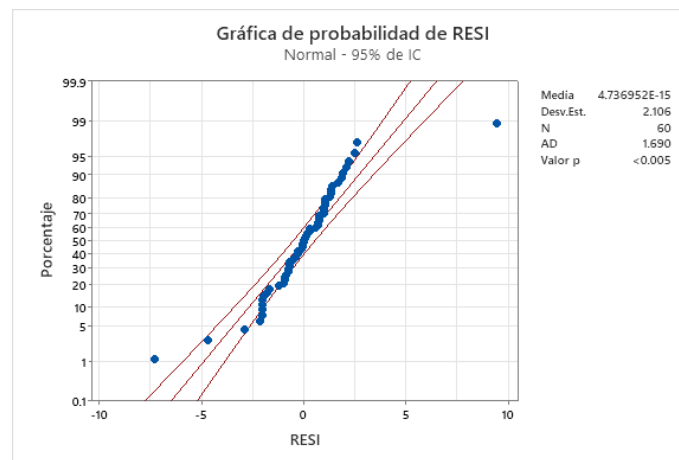


Ilustración 21-Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura de los codos'

El valor p del ANOVA fue de 0.172, lo que es mayor a 0.05 (ver tabla 50) e indica que no hay diferencias significativas entre los métodos. Sin embargo, para validar los supuestos del ANOVA, se realizó una prueba de normalidad que arrojó un valor p menor a 0.05 (ver ilustración 21), sugiriendo que los residuos no siguen una distribución normal y cuestionando la validez del análisis ANOVA. Para mejorar la normalidad de los residuos, se decidió transformar los datos,

identificando y excluyendo al sujeto 1, quien presentaba dos mediciones fuera de los límites normales. Tras esta modificación, se evaluaron nuevamente los datos con el análisis ANOVA.

Tabla 52- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los codos' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	48.78	24.391	8.22	0.001
Sujeto	18	1534.28	85.238	28.72	0.000
Error	36	106.85	2.968		
Total	56	1689.91			

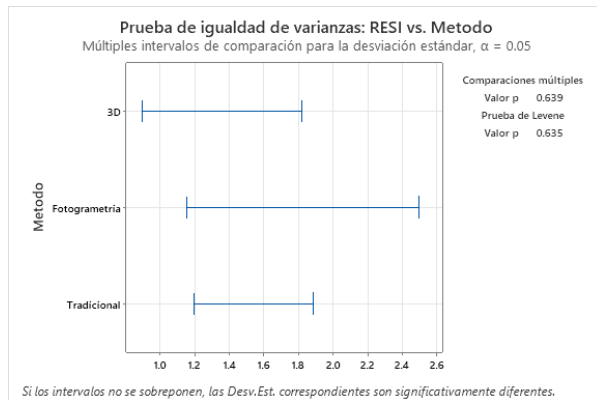
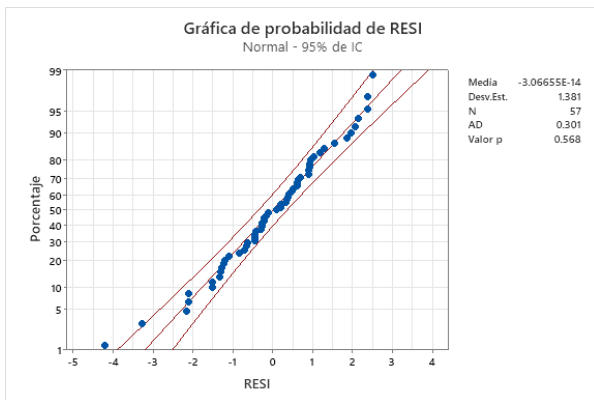


Ilustración 22-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de los codos'

Después de transformar los datos, el análisis ANOVA arrojó un valor p de 0.001, que es menor a 0.05 (ver tabla 52). Esto indica que existen diferencias significativas entre los tres métodos evaluados, sugiriendo que las medidas no son estadísticamente equivalentes. A continuación, se realizó un análisis de Tukey para identificar las diferencias específicas entre los métodos, tras confirmar que los supuestos del ANOVA se cumplían. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas mostraron valores p mayores a 0.05, lo que valida los supuestos del ANOVA. Por lo tanto, el análisis ANOVA es válido, y las conclusiones derivadas del análisis de Tukey son confiables y precisas.

Tabla 53-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de codos'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Tradicional	19	101.832	A
3D	19	101.202	A
Fotogrametria	19	99.632	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	Diferencia niveles de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	-1.570	0.559	(-2.938; -0.203)	-2.81	0.021
Tradicional - 3D	0.630	0.559	(-0.738; 1.997)	1.13	0.504
Tradicional - Fotogrametria	2.200	0.559	(0.832; 3.568)	3.94	0.001

Nivel de confianza individual = 98.06%

El análisis de Tukey realiza comparaciones múltiples entre las medidas de los distintos métodos evaluados en el estudio ANOVA, que había indicado diferencias significativas entre las medias. Esta prueba permite identificar específicamente qué grupos presentan diferencias en sus medidas y cuáles son estadísticamente iguales. Como se observa en la tabla 53, los métodos tradicional y 3D están agrupados bajo la categoría A, lo que indica que no hay diferencias significativas entre estos dos métodos. Por lo tanto, se concluye que el método 3D proporciona medidas de 'Altura de codos' precisas como el método tradicional y puede utilizarse de manera efectiva para la captación de esta medida antropométrica.

5.3.6 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE LOS NUDILLOS'

Tabla 54- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de los nudillos' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los nudillos	3D	72.56	4.77
	Fotogrametria	70.55	5.18
	Tradicional	72.805	3.760

Tabla 55-Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de los nudillos'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	61.22	30.610	7.17	0.002
Sujeto	19	1048.01	55.159	12.93	0.000
Error	38	162.14	4.267		
Total	59	1271.38			

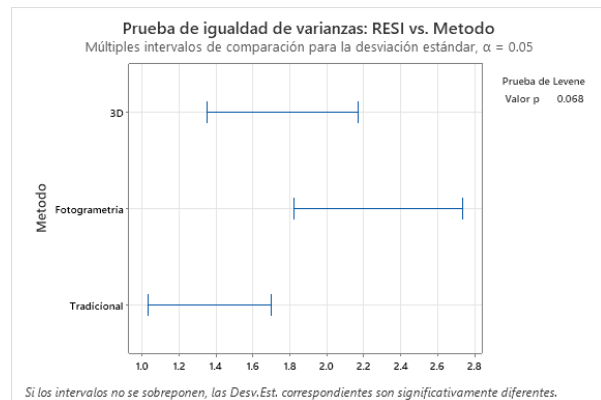
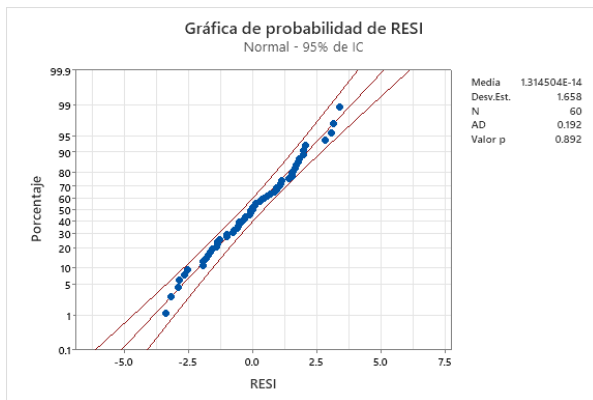


Ilustración 23-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de los nudillos'

Se realizó un análisis ANOVA para comparar los métodos de medición y determinar si existen diferencias significativas en las mediciones del parámetro 'altura de los nudillos'. El análisis ANOVA arrojó un valor p de 0.002, lo que rechaza la hipótesis nula (ver ecuación 4), y sugiere que hay diferencias significativas entre las mediciones. Para identificar cuáles medidas difieren entre sí, se debe realizar una prueba de Tukey. Pero antes de proceder con este análisis, se verificaron los

supuestos del ANOVA, obteniendo valores p superiores a 0.05 para ambos supuestos. Esto indica que los residuos siguen una distribución normal y sus desviaciones homogéneas, lo que confirma que el modelo ANOVA es adecuado para los datos y que los resultados obtenidos son válidos.

Tabla 56-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de los nudillos'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Tradicional	20	72.8050	A
3D	20	72.5594	A
Fotogrametria	20	70.5500	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	-2.009	0.653	(-3.603; -0.416)	-3.08	0.011
Tradicional - 3D	0.246	0.653	(-1.348; 1.839)	0.38	0.925
Tradicional - Fotogrametria	2.255	0.653	(0.661; 3.849)	3.45	0.004

Nivel de confianza individual = 98.05%

La prueba de Tukey, realizada con un nivel de confianza del 95%, mostró que el Método Tradicional (media = 72.8050) y el Método 3D (media = 72.5594) pertenecen a la misma categoría (A), lo que indica que no hay diferencias significativas entre estos dos métodos. En cambio, la Fotogrametría (media = 70.5500) se clasifica en una categoría diferente (B), sugiriendo que presenta diferencias significativas en comparación con ambos métodos anteriores. Así, el análisis revela que la Fotogrametría es significativamente distinta de los métodos Tradicional y 3D en la medición de la altura de los nudillos, mientras que el Método 3D ofrece medidas tan precisas como el Método Tradicional.

5.3.7 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'AGARRE DE CODO'

Tabla 57- Estadística descriptiva del parámetro 'Agarre de codo' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Agarre de codo	3D	35.225	3.028
	Fotogrametria	34.300	3.230
	Tradicional	35.240	2.719

Tabla 58- Análisis ANOVA del parámetro 'Agarre de codo'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	11.60	5.798	2.20	0.124
Sujeto	19	412.93	21.733	8.26	0.000
Error	38	99.98	2.631		
Total	59	524.51			

Fuente: Elaboración propia

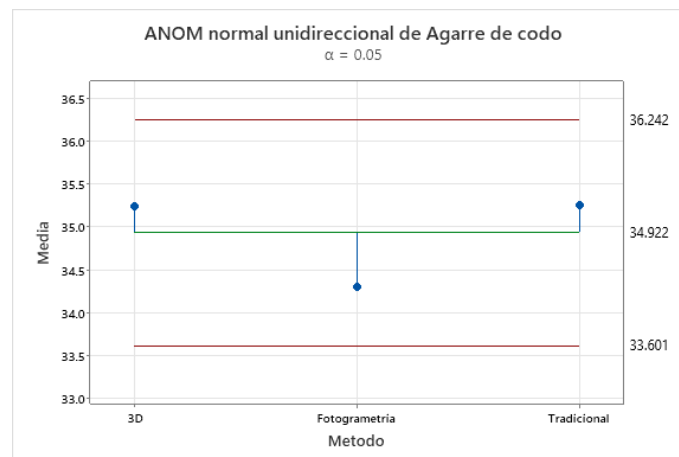


Ilustración 24- Grafica de análisis de media de las medidas de 'Agarre de codo' según el método de medición

Fuente: Elaboración propia

El análisis ANOVA para el parámetro de 'Agarre de codo' arrojó un valor p de 0.124, que es superior al umbral de 0.05, indicando que no hay diferencias significativas entre las mediciones

obtenidas con los tres métodos evaluados. Esto sugiere que los métodos son estadísticamente equivalentes para este parámetro. Adicionalmente, la gráfica de análisis de medias (ver ilustración 24) muestra que ninguno de los métodos supera los límites establecidos en rojo. Esto confirma visualmente que el comportamiento de las mediciones es consistente entre los métodos. Aunque la media obtenida con el método de fotogrametría parece más distante de las medias de los otros dos métodos, la diferencia es menor de un centímetro, lo que indica que las medidas son muy similares.

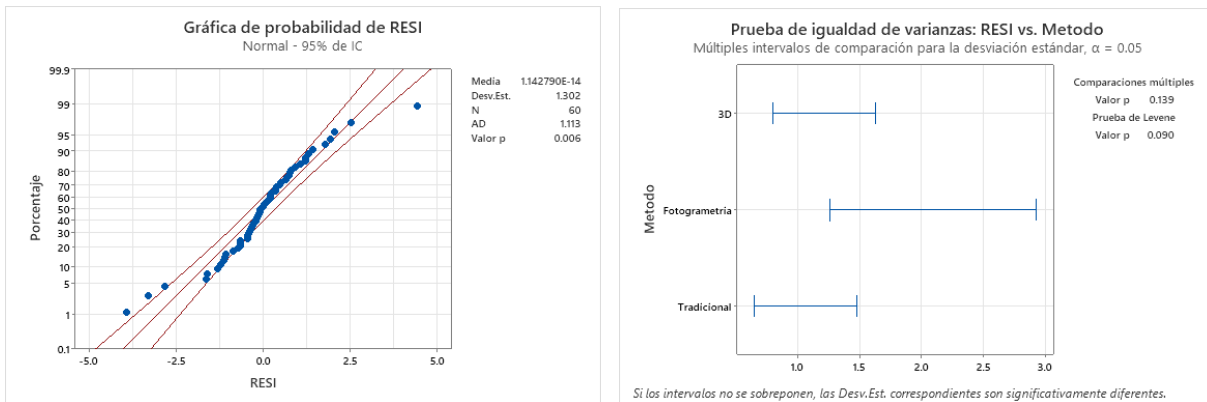


Ilustración 25- Graficas de residuos del parámetro 'Agarre de codo'

Fuente: Elaboración propia

A continuación (ver ilustración 25), se llevaron a cabo pruebas para verificar los supuestos del ANOVA, incluyendo pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. La prueba de normalidad y la prueba de homogeneidad de varianzas produjo un valor p menor el del Alpha que es de 0.05. Estos resultados sugieren que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Dado que los supuestos del ANOVA se cumplen, se concluye que ambos métodos propuestos para la captura de mediciones antropométricas son adecuados para medir el parámetro de 'Agarre de codo', y los resultados del análisis de variación son válidos.

5.3.8 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE CADERA, PARADO'

Tabla 59- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cadera, parado' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de cadera, parado	3D	37.197	3.123
	Fotogrametria	34.850	3.265
	Tradicional	35.265	3.010

Tabla 60-Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cadera, parado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	62.75	31.376	15.43	0.000
Sujeto	19	482.66	25.403	12.49	0.000
Error	38	77.28	2.034		
Total	59	622.69			

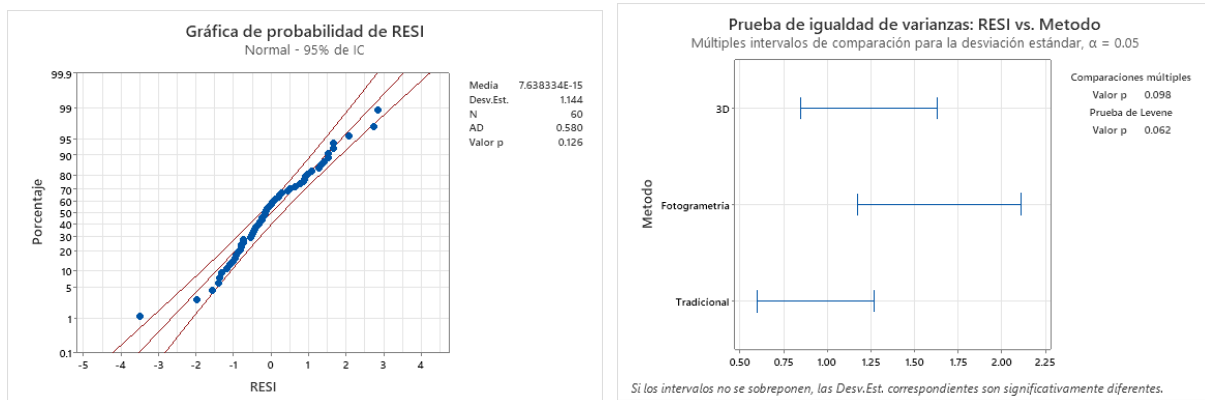


Ilustración 26- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Ancho de cadera, parado'

El análisis ANOVA obtuvo un valor $p=0$, que es inferior a 0.05 (ver tabla), indicando diferencias significativas entre los métodos evaluados. Esto requiere una comparación adicional para identificar las diferencias específicas entre los grupos. Antes de llevar a cabo estas comparaciones, se verificaron los supuestos del ANOVA. La prueba de normalidad mostró un valor $p=0.126$, y el análisis de homogeneidad de varianzas un valor $p= 0.062$ (ver ilustración 21), lo que sugiere que

los datos siguen una distribución normal y que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Estos resultados confirman la validez del análisis ANOVA. Con los supuestos confirmados, se procede con el análisis de Tukey, garantizando que los resultados del ANOVA sean confiables.

Tabla 61-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Ancho de cadera, sentado'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	37.1970	A
Tradicional	20	35.2650	B
Fotogrametria	20	34.8500	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	-2.347	0.451	(-3.447; -1.247)	-5.20	0.000
Tradicional - 3D	-1.932	0.451	(-3.032; -0.832)	-4.28	0.000
Tradicional - Fotogrametria	0.415	0.451	(-0.685; 1.515)	0.92	0.631

Nivel de confianza individual = 98.05%

El análisis de Tukey, realizado después del ANOVA, revela que el Método Tradicional y la Fotogrametría se agrupan en la categoría B, indicando que sus medias para el parámetro de 'Ancho de cadera, sentado' son estadísticamente similares. Esto sugiere que la Fotogrametría ofrece medidas parecidas al compararla a las del Método Tradicional. Sin embargo, el Método 3D se agrupa en una categoría diferente, lo que indica que sus medidas son significativamente distintas de las obtenidas con los otros métodos. Este resultado sugiere que el Método 3D puede no ser tan fiable para esta medición y sugiere la necesidad de investigar posibles factores que puedan estar afectando la precisión de sus resultados.

5.3.9 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE PIE'

Tabla 62- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de pie' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de pie	3D	9.374	0.669
	Fotogrametria	9.500	0.889
	Tradicional	9.115	0.820

Tabla 63-Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de pie'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	1.542	0.7710	3.24	0.050
Sujeto	19	27.221	1.4327	6.01	0.000
Error	38	9.056	0.2383		
Total	59	37.819			

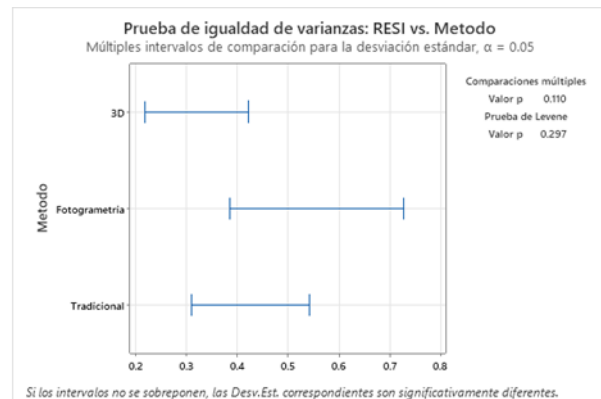
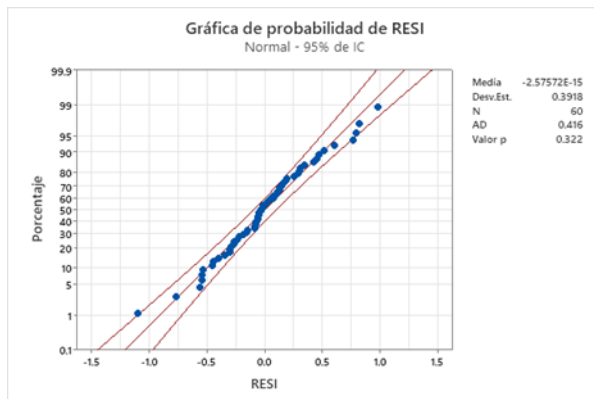


Ilustración 27-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Ancho de pie'

El análisis ANOVA para el parámetro 'Ancho de pie' arrojó un valor p de 0.05, igual al umbral de significancia, lo que sugiere que las diferencias entre los métodos de medición podrían ser marginales. Para determinar si existen diferencias específicas entre los grupos o si se acepta la hipótesis nula, se empleará la prueba de Tukey. Antes de realizar esta comparación, se verificaron

los supuestos del ANOVA: la normalidad de los datos y la igualdad de varianzas. La prueba de normalidad arrojó un valor p de 0.322, y el análisis de varianzas mostró un valor p de 0.297, confirmando que ambos supuestos se cumplen. Por lo tanto, se puede confiar en la validez del ANOVA y proceder con la prueba de Tukey para obtener conclusiones más precisas.

Tabla 64-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Ancho de pie'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	20	9.50000	A
3D	20	9.37441	A B
Tradicional	20	9.11500	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	0.126	0.154	(-0.251; 0.502)	0.81	0.697
Tradicional - 3D	-0.259	0.154	(-0.636; 0.117)	-1.68	0.226
Tradicional - Fotogrametria	-0.385	0.154	(-0.762; -0.008)	-2.49	0.044

Nivel de confianza individual = 98.05%

El análisis de Tukey, con un nivel de confianza del 95%, mostró que el Método Tradicional y el Método 3D se agrupan en la categoría B, indicando que no hay diferencias significativas entre ellos. Esto sugiere que el Método 3D es comparable al Método Tradicional en términos de precisión para el parámetro evaluado. En contraste, la Fotogrametría se agrupa en una categoría diferente, señalando que sus resultados difieren significativamente del Método Tradicional. Así, aunque el Método 3D y el Método Tradicional son equivalentes en precisión, la Fotogrametría no puede considerarse una opción igualmente precisa en comparación con el Método Tradicional.

5.3.10 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'LONGITUD DE PIE'

Tabla 65- Estadística descriptiva del parámetro 'Longitud de pie' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media
Longitud de pie	3D	24.209
	Fotogrametria	24.250
	Tradicional	24.130

Fuente: Elaboración propia

Tabla 66- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de pie'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	0.149	0.07441	0.13	0.880
Sujeto	19	109.636	5.77032	9.93	0.000
Error	38	22.085	0.58119		
Total	59	131.870			

Fuente: Elaboración propia

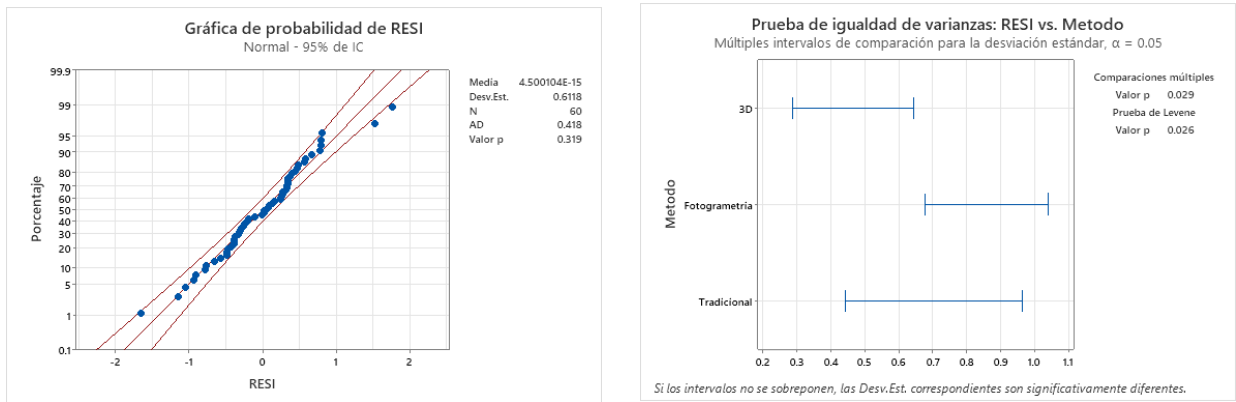


Ilustración 28- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Longitud de pie'

Fuente: Elaboración propia

Se realizó un análisis ANOVA que arrojó un valor p de 0.880 (ver tabla 66), indicando que no existen diferencias significativas entre los tres métodos evaluados. Luego, se verificaron los supuestos del ANOVA. La prueba de normalidad mostró un valor p de 0.319 (ver ilustración 28),

confirmando que los datos se distribuyen normalmente. No obstante, la prueba de homogeneidad de varianzas presentó un valor p menor a 0.05, sugiriendo que las varianzas no son homogéneas. Debido a esta violación del supuesto de igualdad de varianzas, se procederá a realizar una transformación de los datos para intentar alcanzar la homogeneidad de varianzas, ya que el resultado del ANOVA no puede ser validado completamente en estas condiciones.

Tabla 67- Analisis ANOVA del parámetro 'Longitud de pie' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	0.865	0.4323	0.98	0.386
Sujeto	18	109.115	6.0619	13.72	0.000
Error	36	15.911	0.4420		
Total	56	125.891			

Fuente: Elaboración propia

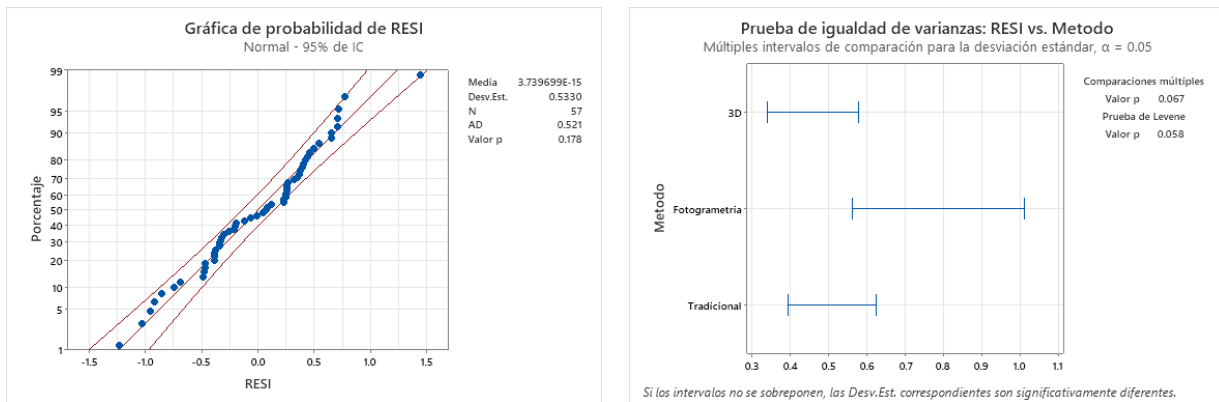


Ilustración 29-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Longitud de pie', con datos transformados

Fuente: Elaboración propia

Se analizó la gráfica de probabilidad de residuos (ver ilustración 28) y se identificaron los principales puntos atípicos que afectaban la consistencia de los datos. Se observaron dos valores residuales extremos del operador #20, que eran 1.7638 y -1.6562. Tras transformar estos datos, se realizó nuevamente el análisis ANOVA, que arrojó un valor p de 0.386. Además, los valores p de las pruebas para verificar los supuestos fueron 0.178 y 0.058, respectivamente. Esto permitió

concluir que no existían diferencias significativas entre las medidas según los métodos de medición, y el ANOVA se validó ya que se cumplieron los supuestos.

5.3.11 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'CIRCUNFERENCIA DE CINTURA

Tabla 68- Estadística descriptiva del parámetro 'Circunferencia de cintura' para los dos metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Circunferencia de cintura	3D	86.85	12.36
	Tradicional	81.26	11.83

Tabla 69- Analisis ANOVA del parámetro 'Circunferencia de cintura'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	1	313.0	312.963	39.77	0.000
Sujeto	19	5413.7	284.933	36.21	0.000
Error	19	149.5	7.870		
Total	39	5876.2			

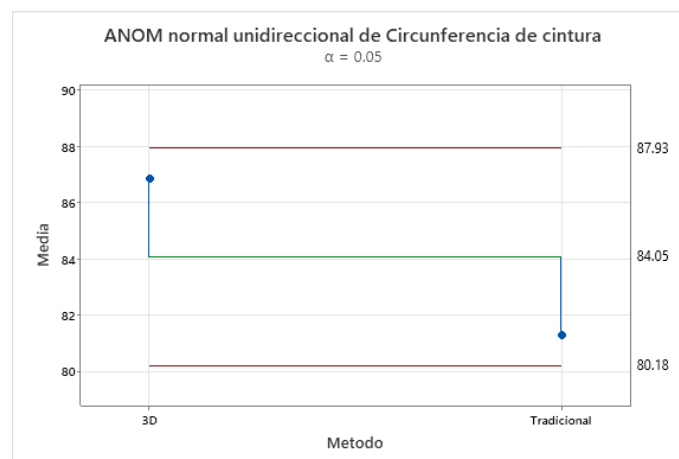


Ilustración 30- Grafica de análisis de media de las medidas de 'Circunferencia de cintura' según el método de medición

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar si existían diferencias significativas en la medición de la circunferencia de cintura entre los métodos tradicionales y el método 3D. Es

importante señalar que en este análisis se consideraron solo dos métodos, dado que el método de fotogrametría no es posible medir circunferencias, sino que únicamente permite la captura de medidas longitudinales. El resultado del ANOVA mostró un valor p de 0 (ver tabla 69), lo que indica una diferencia estadísticamente significativa entre los métodos de medición. Esta diferencia se visualiza gráficamente (ver ilustración 30), las discrepancias entre los métodos son notables. Para asegurar la validez de estos resultados, se realizaron pruebas para verificar los supuestos.

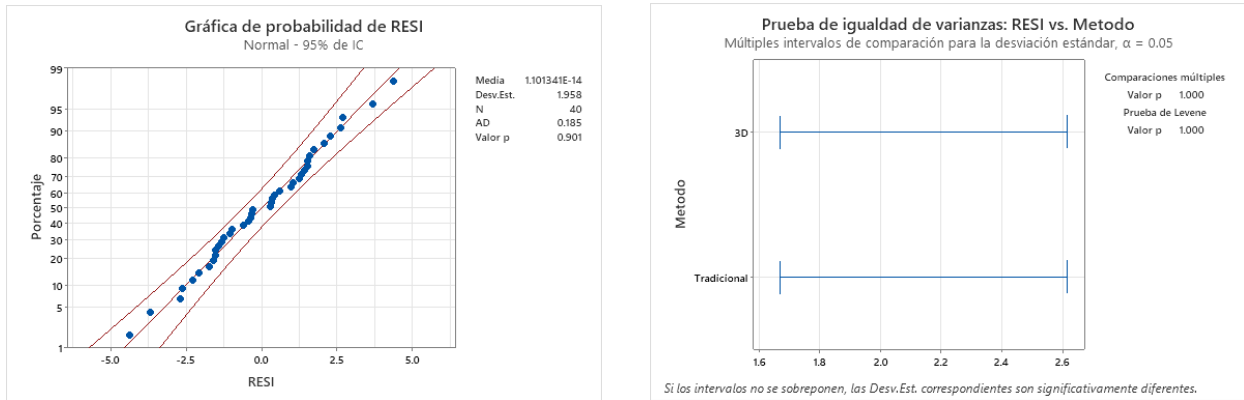


Ilustración 31- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Circunferencia de cintura'

Para verificar los supuestos del ANOVA, se realizaron pruebas de normalidad y de igualdad de varianzas. Los resultados de estas pruebas fueron valores p de 0.902 y 1, respectivamente (ver ilustración 31), lo que indica que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas son iguales. Por lo tanto, se puede concluir que los resultados del análisis ANOVA son válidos. Sin embargo, se determinó que el escáner 3D no proporciona mediciones precisas, ya que las mediciones obtenidas con este método difieren de las mediciones tradicionales.

Tabla 70- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Circunferencia de cintura'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	86.8518	A
Tradicional	20	81.2575	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T ajustado	Valor p
Tradicional - 3D	-5.594	0.887	(-7.451; -3.738)	-6.31	0.000

Nivel de confianza individual = 95.00%

5.3.12 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE MANO'

Tabla 71- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de mano' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de mano	3D	7.822	0.721
	Fotogrametria	7.850	0.745
	Tradicional	8.005	0.866

Tabla 72- Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de mano'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	0.3892	0.1946	1.21	0.309
Sujeto	19	28.5634	1.5033	9.35	0.000
Error	38	6.1096	0.1608		
Total	59	35.0622			

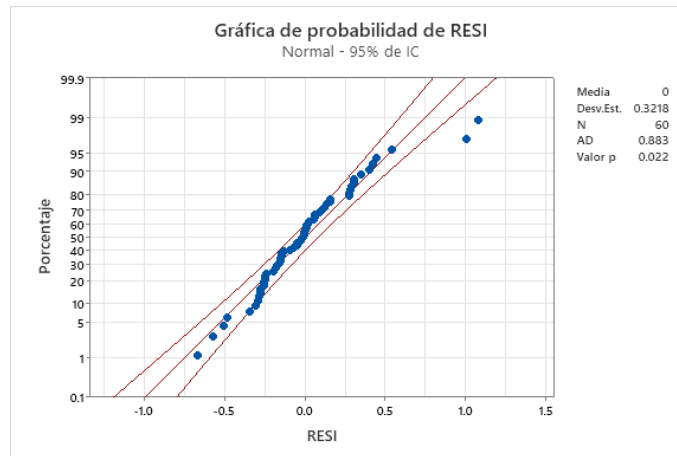


Ilustración 32-Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro ‘Ancho de mano’

El análisis ANOVA mostró que no había diferencias significativas entre las medidas obtenidas con los diferentes métodos, dado que el valor p fue 0.309, permitiendo aceptar la hipótesis nula. No obstante, al verificar los supuestos del ANOVA, la prueba de normalidad reveló un valor p de 0.022 (ver ilustración 32), que es menor que 0.05, indicando que los datos no siguen una distribución normal. Como resultado, los resultados del ANOVA no se consideran precisos. Para abordar este problema, se ajustaron los datos, excluyendo las mediciones del sujeto 10, cuyo residuo alto de 1.07667 podría haber afectado significativamente la normalidad de los datos.

Tabla 73- Análisis ANOVA del parámetro ‘Ancho de mano’ datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	0.0989	0.04946	0.42	0.663
Sujeto	18	19.2392	1.06884	9.00	0.000
Error	36	4.2774	0.11882		
Total	56	23.6155			

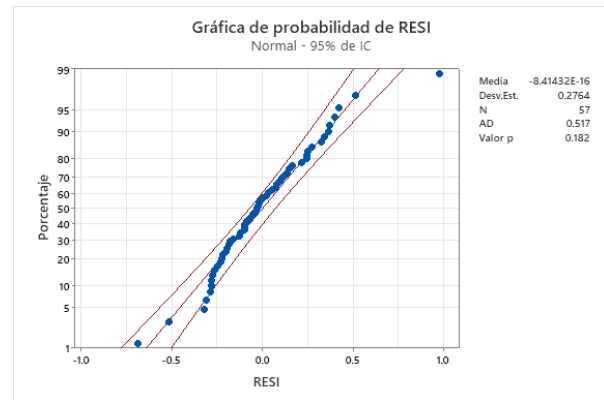
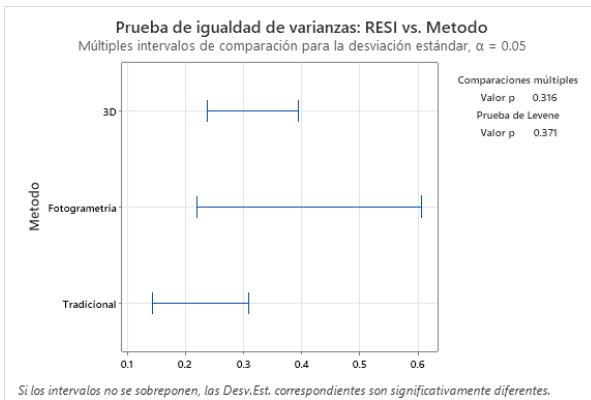


Ilustración 33 Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Ancho de mano', con datos transformados

Después de realizar los ajustes necesarios, se repitió el análisis ANOVA para evaluar si existían diferencias significativas entre las mediciones obtenidas. El valor p obtenido fue 0.663, superior a 0.05, lo que indica que no hay diferencias significativas entre los métodos de medición. A continuación, se llevaron a cabo las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, con valores p de 0.371 y 0.182, respectivamente. Estos resultados confirman que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas son iguales. Por lo tanto, los resultados del ANOVA son válidos y no se encuentran diferencias significativas entre los métodos de medición, lo que sugiere que cualquiera de los métodos puede ser utilizado para medir el 'ancho de mano'.

5.3.13 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'LONGITUD DE MANO'

Tabla 74- Estadística descriptiva del parámetro 'Longitud de mano' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Longitud de mano	3D	17.183	1.217
	Fotogrametria	17.700	1.455
	Tradicional	17.555	1.175

Tabla 75-Análisis ANOVA del parámetro 'Longitud de mano'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	2.843	1.4213	3.22	0.051
Sujeto	19	77.821	4.0958	9.29	0.000
Error	38	16.757	0.4410		
Total	59	97.420			

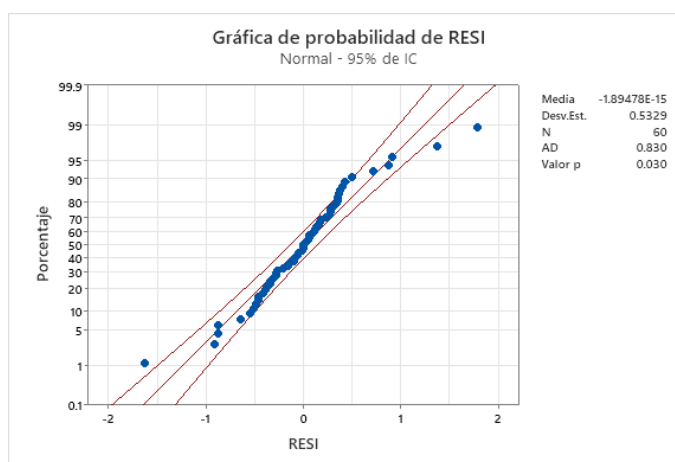


Ilustración 34-Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Longitud de mano'

Un valor p de 0.051 (ver tabla 74) está ligeramente por encima del umbral de significancia común de 0.05, lo que significa que no se rechaza la hipótesis nula en este nivel de significancia. Sin embargo, es crucial considerar la relevancia práctica de los resultados y realizar análisis adicionales para una interpretación más completa. Además, para validar los supuestos del ANOVA, se realizó una prueba de normalidad que arrojó un valor p menor a 0.05 (ver ilustración 21), indicando que los residuos no siguen una distribución normal y cuestionando la validez del análisis ANOVA. Para mejorar la normalidad de los residuos, se procederá a revisar y ajustar los datos.

Tabla 76-Análisis ANOVA del parámetro 'Longitud de mano' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	4.064	2.0320	5.83	0.006
Sujeto	18	75.091	4.1717	11.97	0.000
Error	36	12.541	0.3484		
Total	56	91.696			

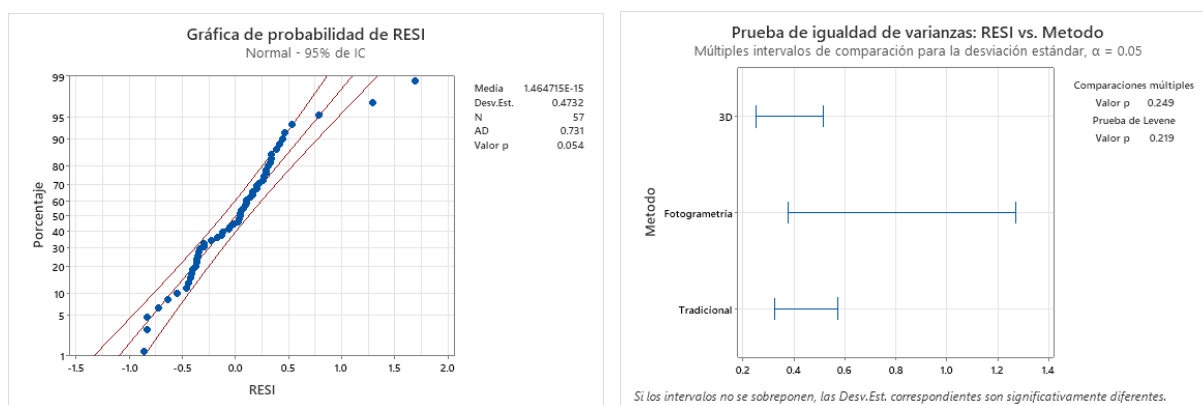


Ilustración 35-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Longitud de mano'

Se identificó que el sujeto 20 tenía datos atípicos en los residuos, por lo que se decidió excluirlo del análisis para garantizar la normalidad de los residuos y la igualdad de varianzas. Después de esta modificación, se repitió el análisis ANOVA, que ahora brinda un valor p de 0.006. Este valor es cercano al nivel de significancia, por lo que se procederá con una prueba de Tukey para comparar y verificar si existen diferencias significativas entre los grupos. La prueba de Tukey se realizó después de confirmar que los supuestos del ANOVA se cumplían, los cuales dieron valores p mayores a 0.05 en ambas pruebas, lo que valida los supuestos y asegura la precisión tanto del ANOVA como de las conclusiones de la prueba de Tukey.

Tabla 77-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Longitud de mano'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	19	17.7368	A
Tradicional	19	17.4684	A B
3D	19	17.0861	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

En el análisis de Tukey se observó que los tres grupos de datos no son significativamente iguales entre sí. Sin embargo, el método tradicional resulta ser similar al de fotometría y también al de 3D. Por otro lado, los métodos de fotometría y 3D muestran diferencias significativas entre sí. A pesar de estas diferencias, se concluye que cualquiera de los dos métodos alternativos basados en tecnología para la captura de medidas antropométricas del parámetro "longitud de mano" es aceptable y proporciona resultados comparables al método tradicional.

5.3.14 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'LARGO DE CABEZA'

Tabla 78- Estadística descriptiva del parámetro 'Largo de cabeza' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Largo de cabeza	3D	20.039	0.670
	Fotogrametria	20.050	1.504
	Tradicional	18.995	0.765

Tabla 79- Analisis ANOVA del parámetro 'Largo de cabeza'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	14.69	7.343	7.34	0.002
Sujeto	19	24.54	1.292	1.29	0.245
Error	38	38.03	1.001		
Total	59	77.27			

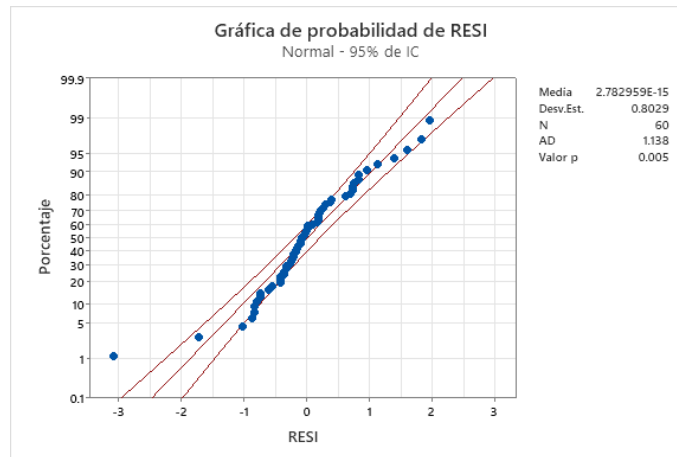


Ilustración 36- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Largo de cabeza'

El valor p del ANOVA fue de 0.002 (ver tabla 78), lo que es inferior a 0.05 e indica que existen diferencias significativas entre los métodos. Sin embargo, para validar los supuestos del ANOVA, se realizó una prueba de normalidad que arrojó un valor p menor a 0.05 (ver ilustración 36), sugiriendo que los residuos no siguen una distribución normal y cuestionando la validez del análisis ANOVA. Para mejorar la normalidad de los residuos, se procedió a transformar los datos, excluyendo al sujeto 18, quien presentaba un residuo de -3.09336, fuera del rango esperado. Con esta modificación, se repitió el análisis ANOVA para evaluar nuevamente los datos.

Tabla 80- Analisis ANOVA del parámetro 'Largo de cabeza' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	18.89	9.4448	15.07	0.000
Sujeto	18	21.65	1.2030	1.92	0.047
Error	36	22.56	0.6268		
Total	56	63.11			

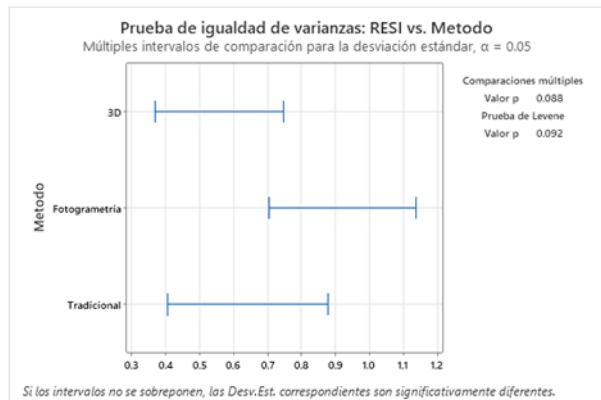
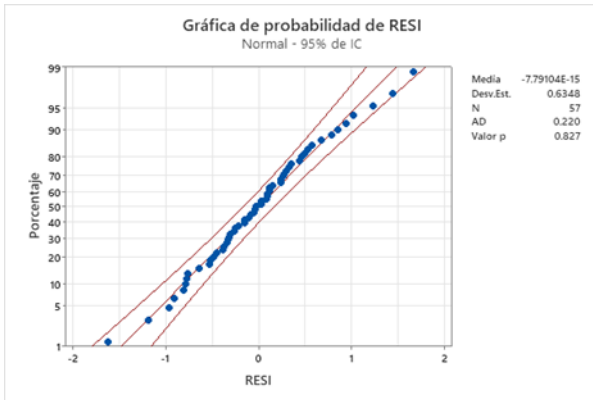


Ilustración 37- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Largo de cabeza'

Tras la transformación de los datos, el análisis ANOVA reveló un valor p de 0, que es menor a 0.05 (ver tabla 79). Esto indica que existen diferencias significativas entre los tres métodos evaluados, sugiriendo que las medidas no son estadísticamente equivalentes. A continuación, se realizó un análisis de Tukey para identificar las diferencias específicas entre los métodos, después de confirmar que se cumplían los supuestos del ANOVA. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas arrojaron valores p de 0.827 y 0.092, respectivamente, lo que confirma que los supuestos del ANOVA se mantienen. Por lo tanto, el análisis ANOVA es válido, y las conclusiones derivadas del análisis de Tukey son confiables y precisas.

Tabla 81-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Largo de cabeza'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	19	20.2632	A
3D	19	20.0297	A
Tradicional	19	18.9421	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	Diferencia de niveles de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	0.233	0.257	(-0.395; 0.862)	0.91	0.638
Tradicional - 3D	-1.088	0.257	(-1.716; -0.459)	-4.23	0.000
Tradicional - Fotogrametria	-1.321	0.257	(-1.949; -0.693)	-5.14	0.000

Nivel de confianza individual = 98.06%

El análisis de Tukey reveló que el método de fotogrametría y el escáner 3D no presentan diferencias significativas entre sí, indicando que ambos métodos producen resultados similares para la medición. Sin embargo, ambos métodos alternativos muestran diferencias significativas en comparación con el método tradicional. Esto sugiere que, aunque fotogrametría y escáner 3D son equivalentes entre sí, ninguno de ellos es adecuado para reemplazar el método tradicional, ya que ambos presentan discrepancias notables en comparación con las mediciones del método tradicional. Por lo tanto, se concluye que los métodos tecnológicos alternativos no son apropiados para capturar con precisión la medida del "Largo de cabeza".

5.3.15 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE CABEZA'

Tabla 82-Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cabeza' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de cabeza	3D	15.947	0.511
	Fotogrametria	15.200	1.152
	Tradicional	15.175	0.537

Tabla 83-Análisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cabeza'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	7.698	3.8488	7.81	0.001
Sujeto	19	16.896	0.8893	1.80	0.060
Error	38	18.736	0.4930		
Total	59	43.329			

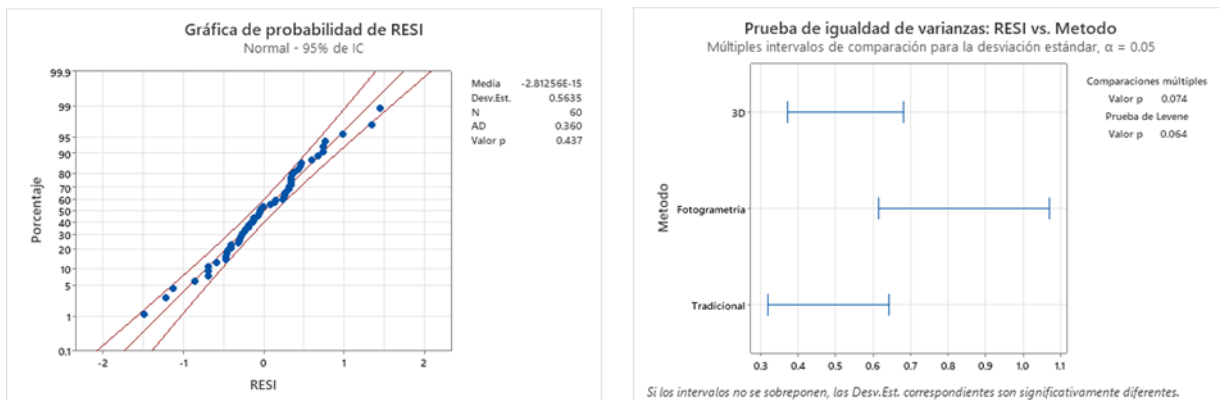


Ilustración 38-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Ancho de cabeza'

Para el parámetro 'Ancho de cabeza' el análisis ANOVA arrojó un valor p de 0.001(ver tabla 82), lo que es menor a 0.05, lo que sugiere que hay diferencias significativas entre los métodos evaluados. Sin embargo, al realizar una prueba de normalidad para validar los supuestos del ANOVA, se observa que arrojó un valor de p de 0.437 (ver ilustración 38) y el análisis de varianzas mostró un

valor p de 0.064, donde se puede confirmar que ambos supuestos se cumplen. Lo que indica que se puede confiar en la veracidad de ANOVA.

Tabla 84-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Ancho de cabeza'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	15.9470	A
Fotogrametria	20	15.2000	B
Tradicional	20	15.1750	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	-0.747	0.222	(-1.289; -0.205)	-3.36	0.005
Tradicional - 3D	-0.772	0.222	(-1.314; -0.230)	-3.48	0.004
Tradicional - Fotogrametria	-0.025	0.222	(-0.567; 0.517)	-0.11	0.993

Nivel de confianza individual = 98.05%

Se puede observar en el análisis de Tukey, aplicando un nivel del 95%, reveló que el método 3D se clasifica en la categoría A, mientras que los métodos de Fotogrametría y Tradicional se agrupan en la categoría B. Esto indica que no hay diferencias significativas entre los métodos Fotogrametría y Tradicional, sugiriendo una equivalencia en precisión entre estos dos. En comparación, el método 3D, al estar en una categoría distinta, muestra diferencias significativas en comparación con los otros dos métodos. El análisis indica que el método de fotogrametría puede ser una alternativa precisa para medir el parámetro evaluado, ya que sus resultados se comparan favorablemente con los del Método Tradicional.

5.3.16 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'CIRCUNFERENCIA DE CABEZA'

Tabla 85- Estadística descriptiva del parámetro 'Circunferencia de cabeza' para los dos métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Circunferencia de cabeza	3D	58.140	1.501
	Tradicional	56.400	1.349

Tabla 86- Análisis ANOVA del parámetro 'Circunferencia de cabeza'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	1	30.27	30.273	24.20	0.000
Sujeto	19	53.67	2.825	2.26	0.042
Error	19	23.76	1.251		
Total	39	107.70			

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias significativas en la medición de la circunferencia de cabeza utilizando métodos tradicionales y el método 3D. Es relevante mencionar que este análisis solo incluyó dos métodos, ya que el método de fotogrametría no fue considerado para medir circunferencias, limitándose a capturar medidas longitudinales. Los resultados del ANOVA indicaron un valor p de 0.000 (ver tabla 85), evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los métodos evaluados. Se realizar pruebas adicionales para asegurar la validez de estos hallazgos, confirmando los supuestos del modelo estadístico.

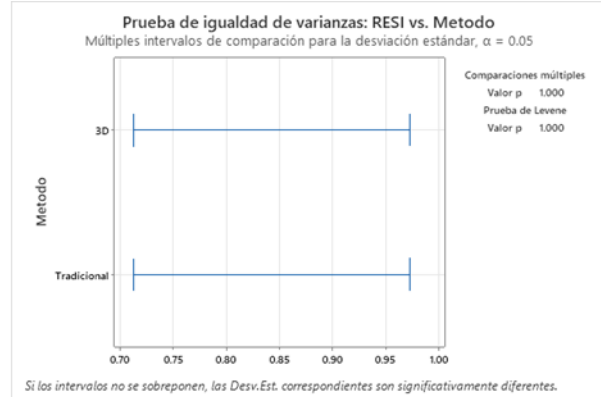
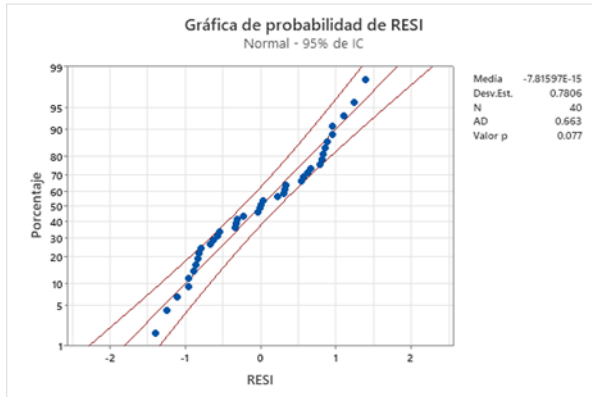


Ilustración 39- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Circunferencia de cabeza'

Para comprobar los supuestos del ANOVA, se llevaron a cabo pruebas de normalidad y de igualdad de varianzas. Los valores obtenidos de estas pruebas mostraron valores p de 0.077 y 1 respectivamente (ver ilustración 39), lo que sugiere que los residuos tienen una distribución normal y que las varianzas son homogéneas. Por lo tanto, se puede considerar que los resultados del análisis ANOVA son válidos. No obstante, se observó que el escáner 3D no proporciona mediciones precisas, ya que las mediciones obtenidas con este método presentan discrepancias en comparación con las mediciones tradicionales.

Tabla 87- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Circunferencia de cabeza'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	58.1399	A
Tradicional	20	56.4000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Tradicional - 3D	-1.740	0.354	(-2.480; -1.000)	-4.92	0.000

Nivel de confianza individual = 95.00%

5.3.17 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA SENTADA'

Tabla 88- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura sentada' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura sentada	3D	88.962	3.646
	Fotogrametria	90.150	4.428
	Tradicional	87.715	4.103

Tabla 89- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura sentada'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	59.30	29.652	15.99	0.000
Sujeto	19	874.61	46.032	24.83	0.000
Error	38	70.45	1.854		
Total	59	1004.36			

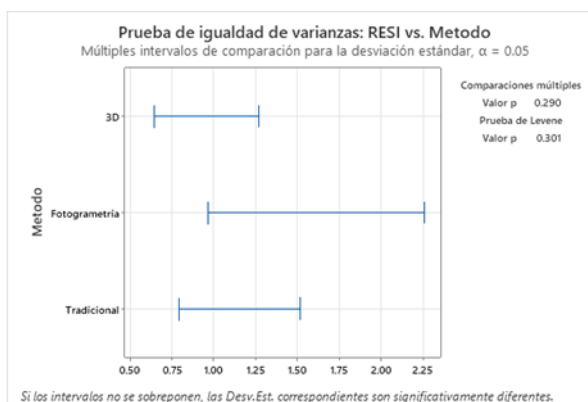
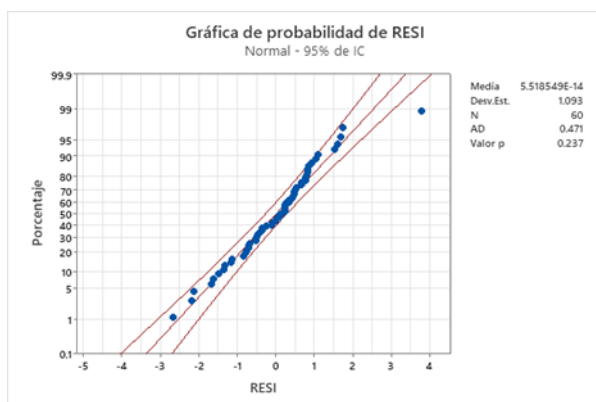


Ilustración 40- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura sentada'

El análisis ANOVA arrojó un valor $p=0$, que es inferior al umbral de 0.05 (ver tabla 87), indicando diferencias significativas entre los métodos evaluados. Esto requiere una comparación adicional para lograr identificar las diferencias específicas entre los grupos. Previamente a la realización de las comparaciones, se verificaron los supuestos del ANOVA. La prueba de normalidad obtuvo un valor $p=0.237$, y el análisis de homogeneidad de varianzas mostró un valor de $p=0.301$ (ver ilustración 40), sugiriendo que los datos siguen una distribución normal y que las varianzas entre

los grupos son homogéneas. Estos resultados respaldan la validez del análisis ANOVA. Con los supuestos confirmados, se procede el análisis de Tukey.

Tabla 90- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Altura sentada'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	20	90.1500	A
3D	20	88.9618	B
Tradicional	20	87.7150	C

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	Diferencia niveles de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	1.188	0.431	(0.138; 2.239)	2.76	0.024
Tradicional - 3D	-1.247	0.431	(-2.297; -0.196)	-2.90	0.017
Tradicional - Fotogrametria	-2.435	0.431	(-3.485; -1.385)	-5.66	0.000

Nivel de confianza individual = 98.05%

El análisis de Tukey, realizado tras el ANOVA, revela que el Método Tradicional, la Fotogrametría y el Método 3D se agrupan en categorías distintas. Esto indica que las medidas para el parámetro 'altura sentada' son significativamente diferentes entre estos métodos. El Método Tradicional y la Fotogrametría se ubican en categorías separadas, lo que sugiere que cada uno ofrece medidas distintas en comparación con el otro, adicionalmente el método 3D se encuentra en una categoría diferente lo que sugiere que no podría ser tan preciso y destaca la necesidad de investigar los factores que podrían estar afectando su precisión. Por lo que no se podría asegurar que las tecnologías propuestas sean funcionales para la realización de la medición

5.3.18 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE OJOS, SENTADO'

Tabla 91- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de ojos, sentado' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los ojos, sentado	3D	75.755	3.559
	Fotogrametria	76.85	4.51
	Tradicional	75.950	3.916

Tabla 92- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de ojos, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	13.65	6.824	1.54	0.227
Sujeto	19	750.52	39.501	8.93	0.000
Error	38	168.02	4.422		
Total	59	932.19			

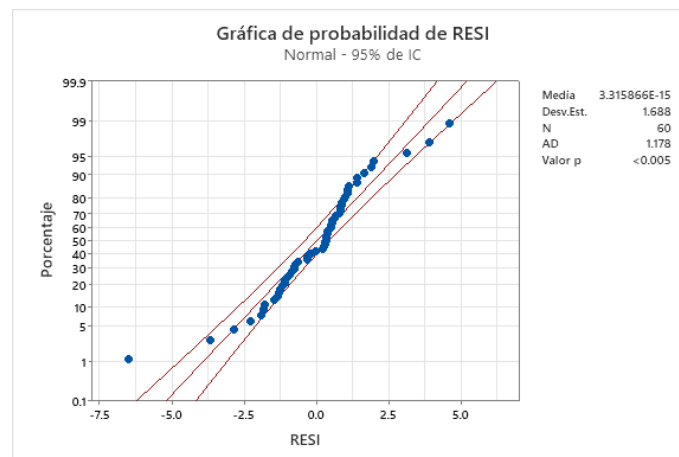


Ilustración 41- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura de ojos, sentado'

El análisis ANOVA indicó que no había diferencias significativas entre las medidas obtenidas con los distintos métodos, dado que el valor p fue 0.227, lo que permitió aceptar la hipótesis nula. Sin embargo, al revisar los supuestos del ANOVA, la prueba de normalidad reveló un valor p < 0.05 (ver ilustración 41), sugiriendo que los datos no seguían una distribución normal. Por lo tanto, los

resultados del ANOVA podrían no ser fiables. Para abordar esta cuestión, se ajustaron los datos excluyendo las mediciones de dos sujetos, cuyos residuos elevados de 4.59767 y -6.49883 podrían haber influido significativamente en la normalidad de los datos.

Tabla 93- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de ojos, sentado' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	41.04	20.520	11.01	0.000
Sujeto	17	694.85	40.873	21.93	0.000
Error	34	63.37	1.864		
Total	53	799.26			

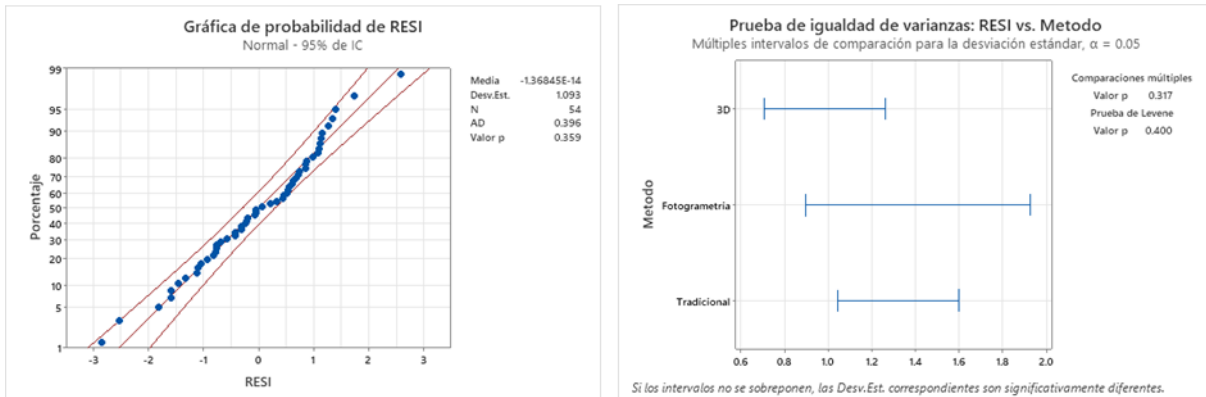


Ilustración 42- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de ojos, sentado', con datos transformados

Después de realizar los ajustes necesarios, se repitió el análisis ANOVA para determinar si había diferencias significativas entre las mediciones obtenidas. El valor p resultante fue 0, lo que indica que existen diferencias significativas entre los métodos de medición. Posteriormente, se llevaron a cabo pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, obteniendo valores p de 0.359 y 0.400, respectivamente. Estos resultados confirman que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas son homogéneas. Por lo tanto, los resultados del ANOVA son válidos. En consecuencia, se procedió a realizar una prueba de Tukey para determinar si algún grupo se comporta de manera similar en sus mediciones.

Tabla 94- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de ojos, sentado'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	18	77.6667	A
Tradicional	18	75.8778	B
3D	18	75.7623	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	niveles de medias	Diferencia	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D		1.904	0.455	(0.788; 3.021)	4.18	0.001
Tradicional - 3D		0.115	0.455	(-1.001; 1.232)	0.25	0.965
Tradicional - Fotogrametria		-1.789	0.455	(-2.905; -0.672)	-3.93	0.001

Nivel de confianza individual = 98.06%

El análisis de Tukey, realizado tras el ANOVA, muestra que tanto el Método Tradicional como el Método 3D se agrupan en la categoría B, lo que indica que sus medias para el parámetro de 'Altura de ojos, sentado' son estadísticamente similares. Esto sugiere que las medidas obtenidas con el escaneo 3D son comparables a las del Método Tradicional. En contraste, el método de fotogrametría se clasifica en una categoría diferente, lo que señala que sus medidas difieren significativamente de las obtenidas con los otros métodos. Este resultado indica que el método 3D proporciona mediciones precisas para el parámetro de 'Altura de ojos sentado', siendo una opción efectiva para mejorar el proceso de captación de esta medida.

5.3.19 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE HOMBROS SENTADO'

Tabla 95- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de hombros sentado' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los hombros, sentado	3D	58.227	2.628
	Fotogrametria	58.150	3.843
	Tradicional	58.940	3.224

Tabla 96- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de hombros sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	7.590	3.795	1.52	0.231
Sujeto	19	514.710	27.090	10.89	0.000
Error	38	94.565	2.489		
Total	59	616.865			

Fuente: Elaboración propia

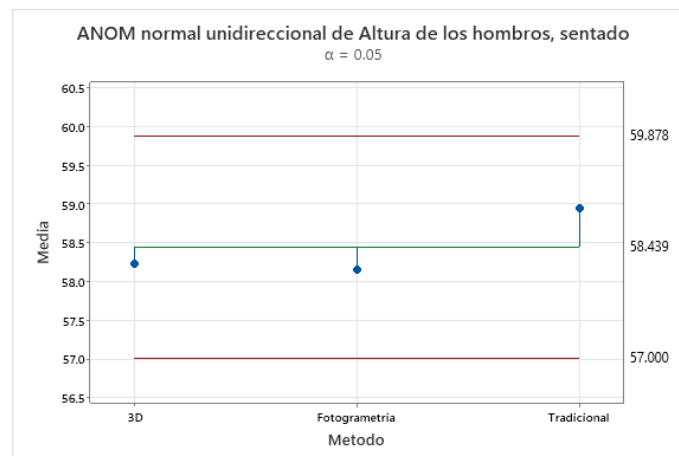


Ilustración 43- Grafica de análisis de media de las medidas de 'Altura de hombros sentado' según el método de medición

Fuente: Elaboración propia

El análisis ANOVA realizado para el parámetro 'Altura de hombros, sentado' arrojó un valor p de 0.231, que supera el umbral de 0.05. Esto indica que no hay diferencias significativas entre las

mediciones de los tres métodos evaluados, sugiriendo que estos métodos son estadísticamente equivalentes para este parámetro. Además, la gráfica de análisis de medias (ver ilustración 43) muestra que ninguno de los métodos supera los límites rojos establecidos, lo que respalda visualmente la consistencia de las mediciones entre ellos. Posteriormente, se realizó un análisis de los supuestos del ANOVA para asegurar la validez de los resultados obtenidos.

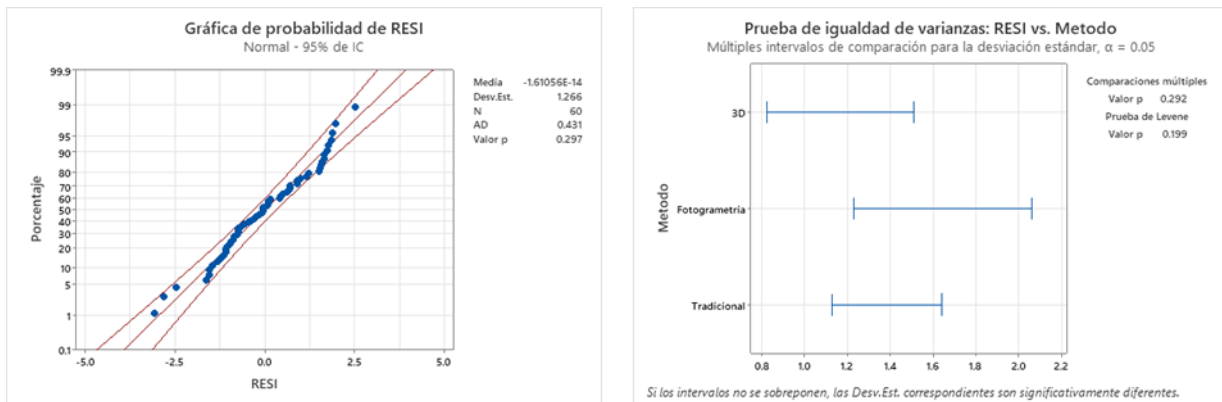


Ilustración 44- Gráficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de hombros sentado', con datos transformados

Fuente: Elaboración propia

En la evaluación de los supuestos del ANOVA, se llevaron a cabo pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas (ver ilustración 44). La prueba de normalidad arrojó un valor p de 0.297, y la prueba de homogeneidad de varianzas produjo un valor p de 0.199. Ambos valores p superan el umbral de significancia de 0.05. Estos resultados sugieren que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas entre los grupos son homogéneas. Dado que se cumplen los supuestos del ANOVA, se concluye que los métodos propuestos para la captura de mediciones antropométricas son adecuados para medir el parámetro de 'Agarre de codo' y que los resultados del análisis de variación son válidos.

5.3.20 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE LAS RODILLAS SENTADO'

Tabla 97- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de las rodillas, sentado	3D	51.053	3.571
	Fotogrametria	49.800	3.533
	Tradicional	49.805	3.481

Tabla 98- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	20.84	10.422	6.20	0.005
Sujeto	19	645.78	33.988	20.22	0.000
Error	38	63.89	1.681		
Total	59	730.51			

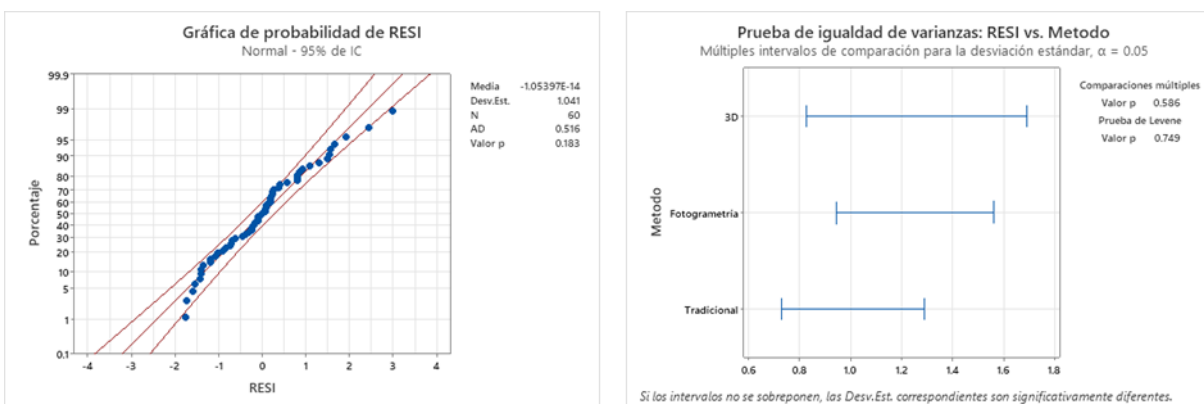


Ilustración 45- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'

Se realizó un análisis ANOVA para comparar los métodos de medición del parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'. El valor p obtenido fue 0.005, que es menor que el umbral de 0.05, indicando diferencias significativas entre los métodos. Sin embargo, dado que el valor p está cerca del límite, se requiere un análisis adicional para identificar qué grupos son diferentes. Por lo tanto, se realizó una prueba de Tukey para determinar específicamente las diferencias entre los grupos. Antes de

llevar a cabo este análisis, se verificaron los supuestos del ANOVA, obteniendo valores p superiores a 0.05 para ambos supuestos. Esto sugiere que los residuos siguen una distribución normal y que las varianzas iguales, confirmando la validez del modelo ANOVA y de los resultados.

Tabla 99-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura de las rodillas, sentado'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	51.0528	A
Tradicional	20	49.8050	B
Fotogrametria	20	49.8000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	-1.253	0.410	(-2.253; -0.253)	-3.06	0.011
Tradicional - 3D	-1.248	0.410	(-2.248; -0.248)	-3.04	0.012
Tradicional - Fotogrametria	0.005	0.410	(-0.995; 1.005)	0.01	1.000

Nivel de confianza individual = 98.05%

La prueba de Tukey, realizada con un nivel de confianza del 95%, mostró que el Método Tradicional y el método de Fotogrametría se encuentran en la misma categoría (B), lo que indica que no hay diferencias significativas entre ellos. Sin embargo, el método de 3D se clasifica en una categoría diferente en comparación con otros métodos, lo que sugiere que presenta diferencias significativas en estos casos. Este análisis confirma que el método de Fotogrametría proporciona mediciones precisas y puede ser utilizado de manera efectiva para medir el parámetro de 'Altura de las rodillas, sentado'.

5.3.21 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA POPLÍTEA, SENTADO'

Tabla 100- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura poplítea, sentado'

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura se poplítea, sentado	3D	39.726	2.042
	Fotogrametria	39.85	5.08
	Tradicional	41.040	1.923

Tabla 101- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura poplítea, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	21.05	10.525	1.75	0.187
Sujeto	19	412.03	21.686	3.61	0.000
Error	38	227.99	6.000		
Total	59	661.07			

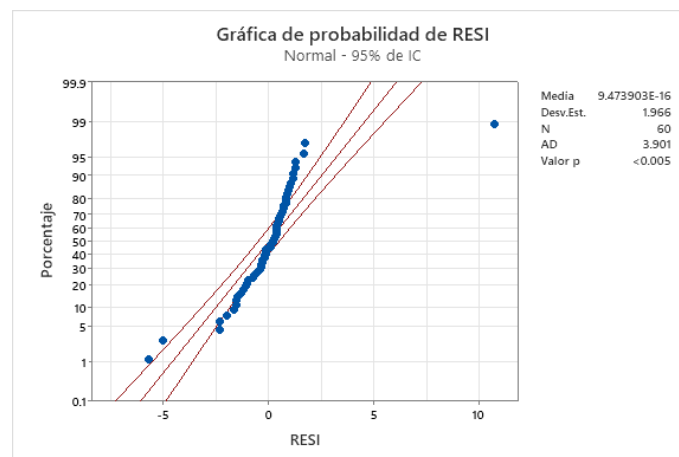


Ilustración 46- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura poplítea, sentado'

El valor p del ANOVA fue de 0.187 (ver tabla 78), lo cual es mayor que 0.05 y sugiere que no hay diferencias significativas entre los métodos evaluados. Sin embargo, para validar los supuestos del ANOVA, se realizó una prueba de normalidad que arrojó un valor p menor a 0.05 (ver ilustración 46), indicando que los residuos no siguen una distribución normal y cuestionando la validez del análisis ANOVA. Para abordar esta desviación, se transformaron los datos y se excluyó

al sujeto 13, que presentaba un residuo de 10.7513, considerablemente fuera del rango esperado. Tras esta modificación, se repitió el análisis ANOVA para reevaluar los datos.

Tabla 102-Análisis ANOVA del parámetro 'Altura poplítea, sentado' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	39.71	19.856	15.80	0.000
Sujeto	18	239.16	13.287	10.57	0.000
Error	36	45.24	1.257		
Total	56	324.12			

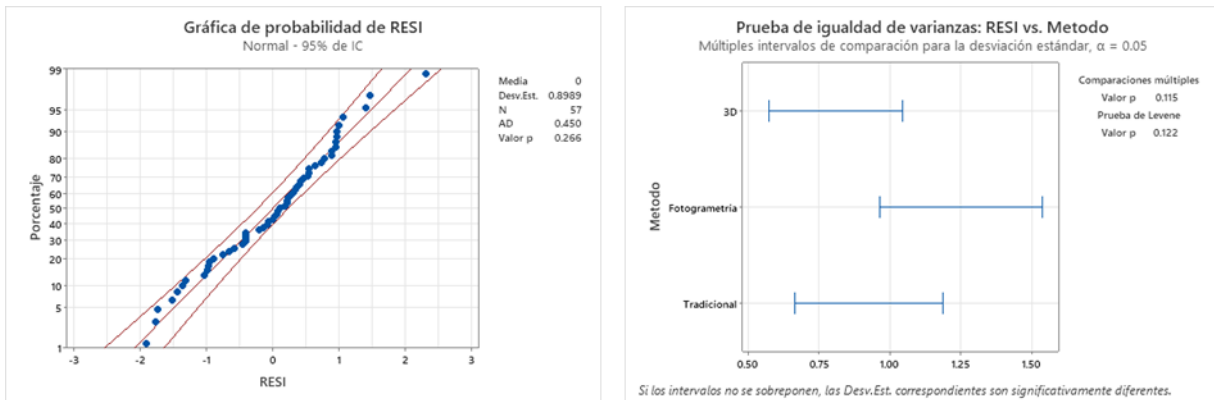


Ilustración 47- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura poplítea, sentado'

Después de realizar la transformación de los datos, se repitió el análisis ANOVA, obteniendo un valor p de 0, que es inferior a 0.05 (ver tabla 100). Esto sugiere que hay diferencias significativas entre los tres métodos evaluados. A continuación, se llevó a cabo un análisis de Tukey para determinar las diferencias específicas entre los métodos, asegurándose previamente de que se cumplieran los supuestos del ANOVA. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas arrojaron valores p de 0.266 y 0.122, respectivamente, lo que confirma que los supuestos del ANOVA se mantienen. Por lo tanto, el análisis ANOVA es válido, y las conclusiones derivadas del análisis de Tukey son confiables y precisas.

Tabla 103-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Altura poplítea, sentado'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Tradicional	19	40.9158	A
3D	19	39.6375	B
Fotogrametria	19	38.8947	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles de medias	Diferencia	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	-0.743	0.364	(-1.633; 0.147)	-2.04	0.117
Tradicional - 3D	1.278	0.364	(0.388; 2.168)	3.51	0.003
Tradicional - Fotogrametria	2.021	0.364	(1.131; 2.911)	5.56	0.000

Nivel de confianza individual = 98.06%

El análisis de Tukey mostró que los métodos 3D y fotogrametría no presentan diferencias significativas entre sí, lo que indica que sus mediciones son similares. Sin embargo, ambos métodos difieren significativamente del método tradicional, lo que sugiere que ninguno de los métodos propuestos ofrece mediciones más precisas en comparación con el método tradicional. Por lo tanto, no se puede concluir que las tecnologías 3D y de fotogrametría sean adecuadas para la recopilación precisa del parámetro de 'Altura poplítea, sentado'.

5.3.22 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'DISTANCIA DE GLÚTEOS A LA RODILLA, SENTADO'

Tabla 104- Estadística descriptiva del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Distancia de glúteos a la rodil	3D	58.042	3.795
	Fotogrametria	59.10	7.95
	Tradicional	58.050	3.941

Tabla 105- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	14.81	7.405	0.33	0.722
Sujeto	19	910.94	47.944	2.12	0.024
Error	38	857.59	22.568		
Total	59	1783.34			

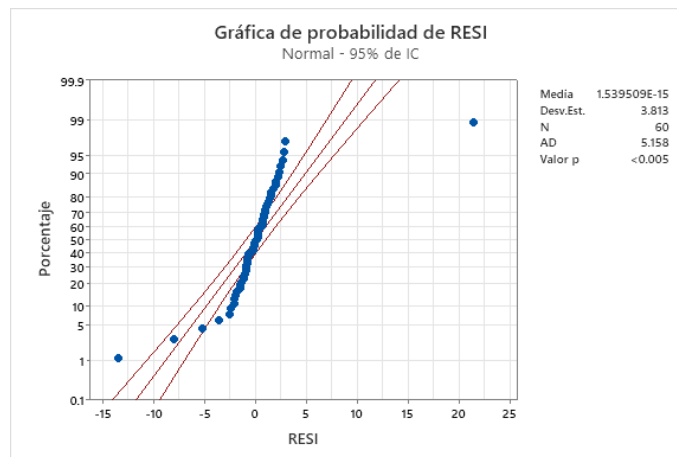


Ilustración 48- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado'

El análisis ANOVA indicó que no había diferencias significativas entre los métodos de medición, dado que el valor p fue de 0.722, lo que llevó a aceptar la hipótesis nula. Sin embargo, al evaluar los supuestos del ANOVA, la prueba de normalidad reveló un valor p menor a 0.05 (ver ilustración

48), lo que indica que los residuos no siguen una distribución normal y, por ende, cuestiona la precisión de los resultados del ANOVA. Para abordar esta discrepancia, se ajustaron los datos eliminando las mediciones del sujeto 1, quien tenía residuos con valores de 21.4517 y -13.4534, los cuales podrían haber afectado significativamente la normalidad de los datos.

Tabla 106- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	5.924	2.962	0.92	0.406
Sujeto	18	735.746	40.875	12.76	0.000
Error	36	115.338	3.204		
Total	56	857.008			

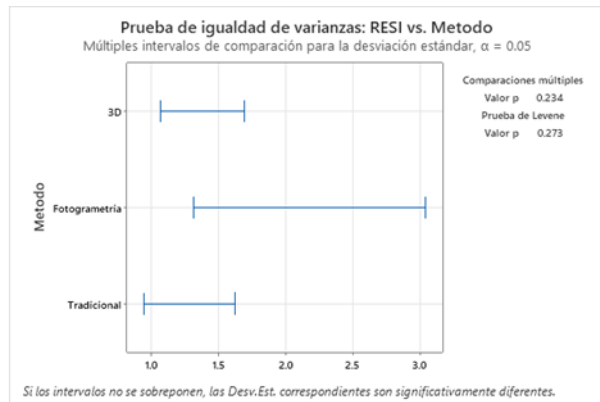
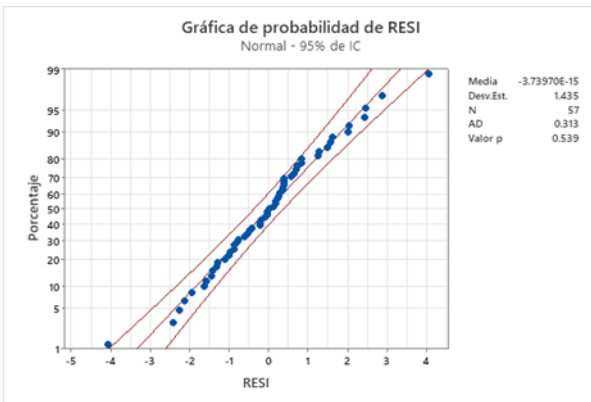


Ilustración 49-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Distancia de glúteos a la rodilla, sentado'

Tras realizar los ajustes necesarios, se repitió el análisis ANOVA para determinar si había diferencias significativas entre los distintos métodos de medición. El valor p obtenido fue superior a 0.406, lo que sugiere que no existen diferencias significativas entre las mediciones de los métodos evaluados. Además, se llevaron a cabo pruebas adicionales para verificar los supuestos del ANOVA, obteniendo valores p de 0.539 para la normalidad y 0.273 para la homogeneidad de varianzas. Estos resultados confirman que los residuos cumplen con los requisitos de normalidad

y varianza homogénea. Por lo tanto, se puede concluir que los resultados del ANOVA son válidos y que no hay diferencias significativas entre las mediciones de los métodos comparados.

5.3.23 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA DE CODOS, SENTADO'

Tabla 107- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de codos, sentado' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de codos, sentado	3D	23.222	1.688
	Fotogrametria	24.25	4.52
	Tradicional	24.420	2.115

Tabla 108- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de codos, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	16.80	8.402	1.09	0.346
Sujeto	19	234.35	12.334	1.60	0.106
Error	38	292.49	7.697		
Total	59	543.64			

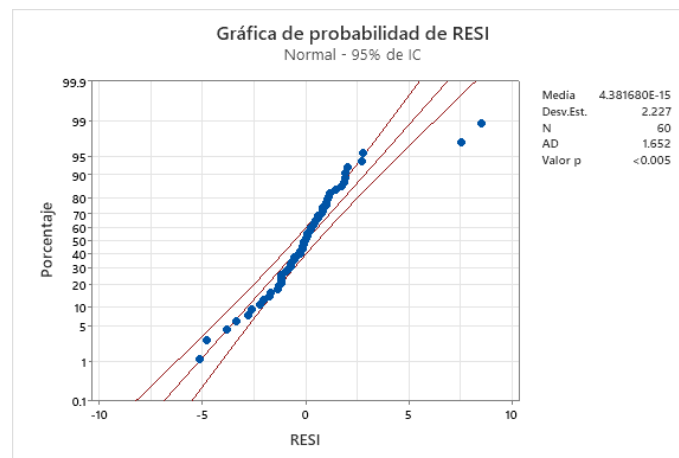


Ilustración 50- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Altura de codos, sentado'

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para comparar los tres métodos de medición evaluados. El análisis ANOVA arrojó un valor p de 0.346, lo que sugiere que no hay diferencias significativas entre los métodos y permite aceptar la hipótesis nula (ver ecuación 4). Sin embargo, para validar los resultados del ANOVA, es necesario verificar los supuestos del análisis, específicamente la normalidad de los residuos y la homogeneidad de varianzas. La prueba de normalidad arrojó un valor p menor a 0.05, lo que indica que los residuos no siguen una distribución normal y cuestiona la validez de los resultados del ANOVA. En respuesta, se realizó una transformación de los datos para identificar aquellos datos que afectaban la normalización.

Tabla 109- Analisis ANOVA del parámetro 'Altura de codos, sentado' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	23.16	11.578	5.42	0.009
Sujeto	17	141.37	8.316	3.89	0.000
Error	34	72.62	2.136		
Total	53	237.15			

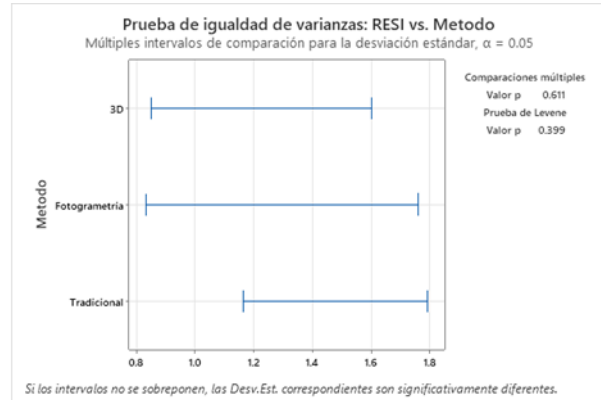
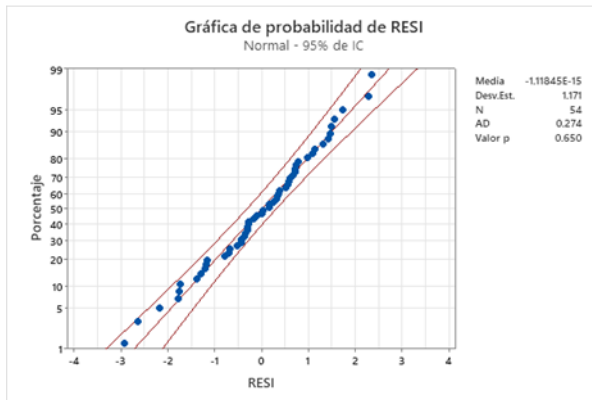


Ilustración 51- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de codos, sentado'

Se identificaron dos sujetos que causaban problemas para lograr una distribución normal en los datos (ver ilustración 50), ya que sus mediciones eran atípicas. Tras ajustar los datos, se repitió el análisis ANOVA, obteniendo un valor p de 0.009, que es menor a 0.05 (ver tabla 107). Este resultado indica que existen diferencias significativas entre los tres métodos evaluados, sugiriendo que las mediciones no son estadísticamente equivalentes. Además, se verificaron los supuestos

del ANOVA y se obtuvieron valores p superiores a 0.05 para ambos, confirmando que los datos siguen una distribución normal y presentan varianzas homogéneas. Posteriormente, se realizó un análisis de Tukey para identificar las diferencias específicas entre los métodos.

Tabla 110- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Altura de codos, sentado'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Tradicional	18	24.4611	A
3D	18	23.2505	B
Fotogrametria	18	22.9444	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles	Diferencia de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	-0.306	0.487	(-1.501; 0.889)	-0.63	0.806
Tradicional - 3D	1.211	0.487	(0.015; 2.406)	2.49	0.046
Tradicional - Fotogrametria	1.517	0.487	(0.321; 2.712)	3.11	0.010

Nivel de confianza individual = 98.06%

El análisis de Tukey indicó que no existen diferencias significativas entre los métodos 3D y fotogrametría, lo que sugiere que ambos ofrecen mediciones comparables. Sin embargo, ambos métodos presentan diferencias significativas en comparación con el método tradicional. Esto significa que ni el método 3D ni el de fotogrametría igualan la precisión del método tradicional. Por lo tanto, no se puede considerar que las tecnologías 3D y fotogrametría sean adecuadas para la medición precisa del parámetro 'Altura poplíteica, sentado'. Entre los métodos evaluados, el método 3D es el que se acerca más a las mediciones obtenidas con el método tradicional, pero aun así sus mediciones no son significativamente iguales.

5.3.24 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ALTURA MUSLO'

Tabla 111- Estadística descriptiva del parámetro 'Altura de muslo' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Altura de los muslos	3D	15.789	2.631
	Fotogrametria	17.100	2.918
	Tradicional	14.884	2.654

Tabla 112- Análisis ANOVA del parámetro 'Altura de muslo'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	49.66	24.829	9.58	0.000
Sujeto	19	328.61	17.295	6.67	0.000
Error	38	98.46	2.591		
Total	59	476.73			

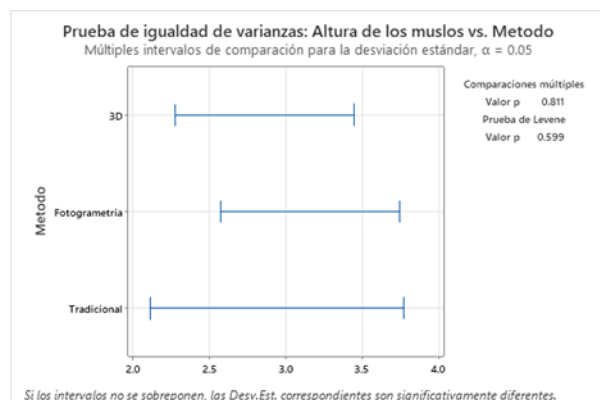
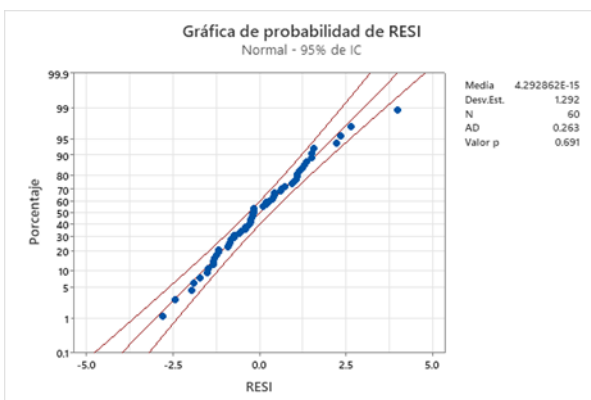


Ilustración 52-Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Altura de muslo'

El análisis ANOVA del parámetro 'altura de muslo' arrojó un valor p de 0, indicando que existe una diferencia significativa entre los grupos evaluados. Dado este resultado, se aplicará la prueba de Tukey para identificar cuáles grupos presentan diferencias específicas o coinciden entre sí. Antes

de llevar a cabo esta comparación, se verificaron los supuestos del ANOVA: la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas. Las pruebas de normalidad mostraron valores p mayores a 0.05 en ambos casos, lo que confirma que se cumplen estos supuestos. Por lo tanto, podemos confiar en la validez del ANOVA y proceder con la prueba de Tukey para obtener conclusiones más detalladas.

Tabla 113-Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Altura de muslo'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	20	17.1000	A
3D	20	15.7886	B
Tradicional	20	14.8840	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles de medias	Diferencia	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	1.311	0.509	(0.070; 2.553)	2.58	0.036
Tradicional - 3D	-0.905	0.509	(-2.146; 0.337)	-1.78	0.191
Tradicional - Fotogrametria	-2.216	0.509	(-3.458; -0.974)	-4.35	0.000

Nivel de confianza individual = 98.05%

El análisis de Tukey reveló que los métodos 3D y tradicional pertenecen a la misma agrupación, lo que indica que no hay diferencias significativas en las medidas obtenidas con estos métodos. En contraste, el método de fotogrametría se ubica en una agrupación distinta, lo que demuestra que sus resultados son significativamente diferentes de los obtenidos con los otros dos métodos. Por lo tanto, el análisis de Tukey nos permite concluir que el escaneo 3D representa una alternativa efectiva para la medición de la altura del muslo.

5.3.25 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'DISTANCIA DE UN CODO AL OTRO'

Tabla 114- Estadística descriptiva del parámetro 'Distancia de un codo al otro' para los tres métodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Distancia de un codo al otro	3D	47.55	5.07
	Fotogrametria	44.25	5.32
	Tradicional	46.11	4.55

Tabla 115- Analisis ANOVA del parámetro 'Distancia de un codo al otro'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	109.8	54.886	7.45	0.002
Sujeto	19	1140.7	60.037	8.15	0.000
Error	38	279.8	7.364		
Total	59	1530.3			

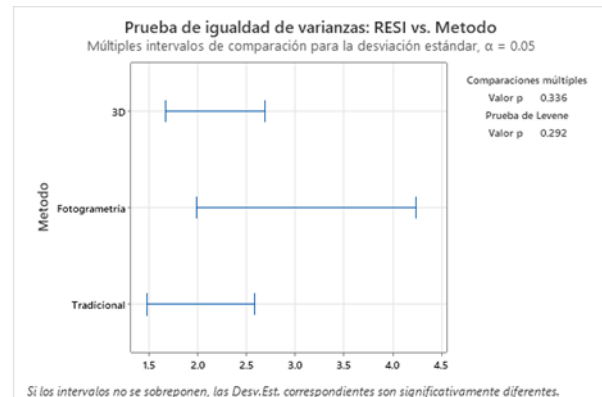
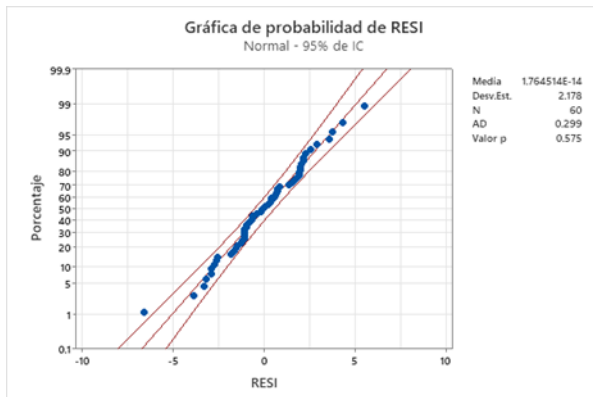


Ilustración 53- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Distancia de un codo al otro'

Se realizó el análisis ANOVA, obteniendo un valor p de 0.02, que es inferior a 0.05 (ver tabla 113). Esto sugiere que hay diferencias significativas entre los tres métodos evaluados. A continuación, se llevó a cabo un análisis para asegurándose previamente de que se cumplían los supuestos del ANOVA. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas arrojaron valores p de 0.575 y

0.292, respectivamente, lo que confirma que los supuestos del ANOVA se mantienen. Por lo tanto, el análisis ANOVA es válido, y las conclusiones derivadas del análisis de Tukey que se realizara son confiables y precisas.

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	20	47.5549	A
Tradicional	20	46.1050	A B
Fotogrametria	20	44.2500	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

El análisis de Tukey, con un nivel de confianza del 95%, revela que el método 3D, con una media de 47.5549, se clasifica en la categoría A, mientras que el método tradicional, con una media de 46.1050, abarca las agrupaciones A y B. Por su parte, el método de fotogrametría, con una media de 44.2500, se ubica en la agrupación B. Dado que tanto el método 3D como el de fotogrametría muestran resultados comparables al del método tradicional, se concluye que cualquiera de estas dos tecnologías puede ser utilizada eficazmente para la recolección de medidas antropométricas del parámetro 'Distancia de un codo al otro'.

5.3.26 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE HOMBROS'

Tabla 116- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de hombros' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de hombros	3D	46.42	4.76
	Fotogrametria	43.10	5.08
	Tradicional	44.475	4.250

Tabla 117- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de hombros'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	111.2	55.582	10.98	0.000
Sujeto	19	1071.0	56.371	11.13	0.000
Error	38	192.4	5.064		
Total	59	1374.6			

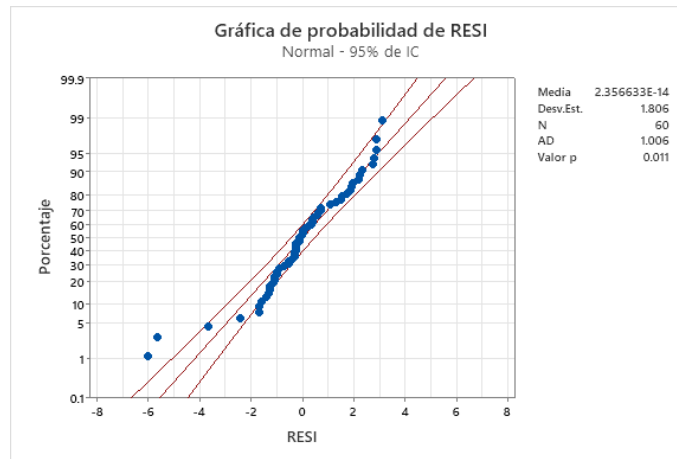


Ilustración 54- Grafica de prueba de igualdad de varianza para parámetro 'Ancho de hombros'

El valor p obtenido en el ANOVA fue de 0 (ver tabla 78), lo que es inferior a 0.05 y sugiere que hay diferencias significativas entre los métodos. No obstante, para asegurar la validez de los supuestos del ANOVA, se realizó una prueba de normalidad que arrojó un valor p menor a 0.011 (ver ilustración 54), lo que indica que los residuos no siguen una distribución normal y pone en duda la validez del análisis ANOVA. Para abordar este problema, se transformaron los datos y se excluyó a dos sujetos que presentaban residuos de -5.64924 y -6.01534, valores que estaban fuera del rango esperado. Con estos ajustes, se repitió el análisis ANOVA para reevaluar los datos.

Tabla 118- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de hombros' datos transformados

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	56.85	28.426	12.25	0.000
Sujeto	17	975.97	57.410	24.73	0.000
Error	34	78.93	2.321		
Total	53	1111.75			

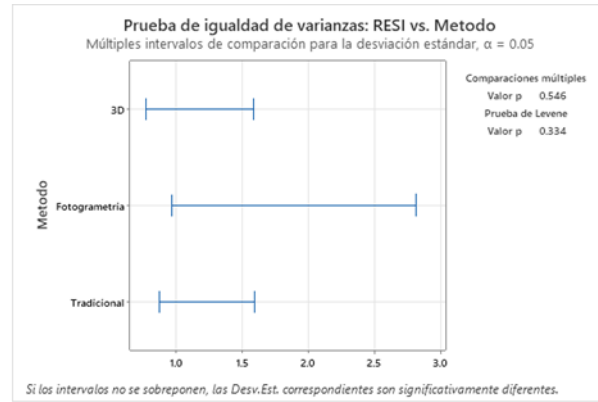
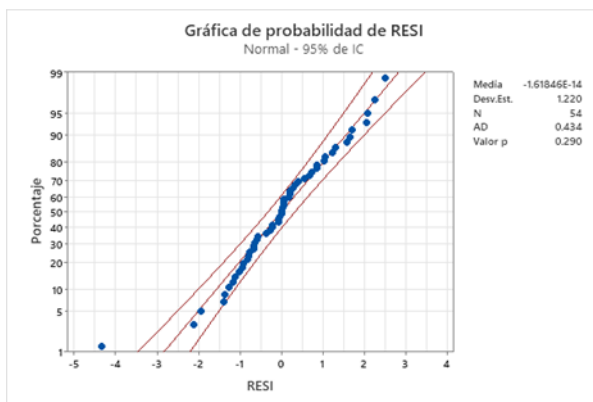


Ilustración 55- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Ancho de hombros'

Después de transformar los datos, el análisis ANOVA mostró un valor p de 0, que es inferior a 0.05 (ver tabla 116), lo que sugiere diferencias significativas entre los tres métodos evaluados, indicando que las medidas no son estadísticamente equivalentes. Seguidamente, se realizó un análisis de Tukey para determinar las diferencias específicas entre los métodos, tras confirmar el cumplimiento de los supuestos del ANOVA. Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas dieron valores p de 0.290 y 0.334, respectivamente, lo que confirma que los supuestos del ANOVA son válidos. Así, el análisis ANOVA es fiable, y las conclusiones del análisis de Tukey pueden considerarse precisas y confiables.

Tabla 119- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los metodos para el parámetro 'Ancho de hombros'

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
3D	18	46,3489	A
Tradicional	18	44,4000	B
Fotogrametria	18	44,0000	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo	Diferencia de niveles de medias	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T ajustado	Valor p
Fotogrametria - 3D	-2,349	0,508	(-3,595; -1,103)	-4,62	0,000
Tradicional - 3D	-1,949	0,508	(-3,195; -0,703)	-3,84	0,001
Tradicional - Fotogrametria	0,400	0,508	(-0,846; 1,646)	0,79	0,713

Nivel de confianza individual = 98,06%

La comparación por pares realizada mediante la prueba de Tukey revela que el método tradicional y el método de fotogrametría se agrupan en la misma categoría, lo que sugiere que sus medidas son comparables. En cambio, el método 3D no comparte ninguna letra con los otros métodos, indicando que sus resultados son significativamente distintos. Dado que la fotogrametría proporciona medidas precisas que han sido contrastadas con el método tradicional, podemos concluir que es una alternativa viable para medir el parámetro 'ancho de hombro'.

5.3.27 ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) PARA EL PARÁMETRO 'ANCHO DE CADERA SENTADO'

Tabla 120- Estadística descriptiva del parámetro 'Ancho de cadera, sentado' para los tres metodos

Estadísticas

Variable	Metodo	Media	Desv.Est.
Ancho de caderas, sentado	3D	39.497	3.357
	Fotogrametria	40.700	3.373
	Tradicional	39.365	2.994

Tabla 121- Analisis ANOVA del parámetro 'Ancho de cadera, sentado'

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Metodo	2	21.65	10.826	6.56	0.004
Sujeto	19	537.83	28.307	17.14	0.000
Error	38	62.74	1.651		
Total	59	622.23			

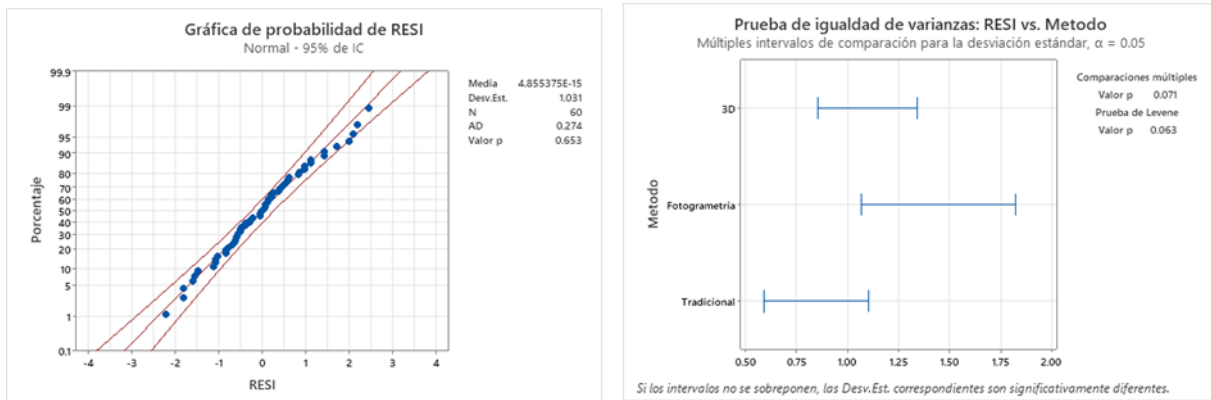


Ilustración 56- Graficas de prueba de normalidad e igualdad de varianza del parámetro 'Ancho de cadera sentado'

Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar si existían diferencias significativas entre los tres métodos de medición. El resultado del ANOVA mostró un valor p de 0.004 (ver tabla 69), lo que indica diferencias estadísticamente significativas entre los métodos. Para garantizar la

validez de estos resultados, se realizaron pruebas adicionales para verificar los supuestos del ANOVA. La prueba de normalidad arrojó un valor p de 0.653, y la prueba de igualdad de varianzas obtuvo un valor p de 0.063. Estos resultados confirman que los residuos están distribuidos normalmente y que las desviaciones son homogéneas. Por lo tanto, el análisis ANOVA es válido y sus resultados son fiables.

Tabla 122- Prueba de Tukey para comparación de las medias de los métodos para el parámetro 'Ancho de cadera, sentado

Comparaciones por parejas de Tukey: Metodo

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Metodo	N	Media	Agrupación
Fotogrametria	20	40.7000	A
3D	20	39.4965	B
Tradicional	20	39.3650	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Pruebas simultáneas de Tukey para diferencias de las medias

Diferencia de Metodo niveles de medias	Diferencia	EE de IC simultáneo de diferencia	95%	Valor T	Valor p ajustado
Fotogrametria - 3D	1.203	0.406	(0.212; 2.195)	2.96	0.014
Tradicional - 3D	-0.132	0.406	(-1.123; 0.860)	-0.32	0.944
Tradicional - Fotogrametria	-1.335	0.406	(-2.326; -0.344)	-3.29	0.006

Nivel de confianza individual = 98.05%

Dado que el valor p del ANOVA fue menor a 0.05, se procedió a realizar un análisis de comparación entre los diferentes grupos. El análisis mostró que los métodos 3D y tradicional se agrupan en la categoría B, indicando que sus medidas son similares. En contraste, el método de fotogrametría se encuentra en la agrupación A, que no comparte ninguna letra con los otros métodos. Esta información sugiere que el método 3D es una alternativa válida para medir el parámetro 'Ancho de cadera sentado', ya que sus resultados son consistentes y se han comparado favorablemente con el método tradicional.

5.3.28 RESULTADOS FINALES DEL ANÁLISIS ANOVA COMPARATIVO ENTRE LOS MÉTODOS DE ESCANEADO 3D Y FOTOGAMETRÍA PARA CADA PARÁMETRO ESTUDIADO

Se recolectaron los resultados de los análisis ANOVA, organizados por su valor p, para determinar si cada método alternativo mostraba diferencias significativas en comparación con el método tradicional. El objetivo es evaluar la viabilidad de emplear tecnologías alternativas para la recolección de mediciones antropométricas. A continuación, se presentan tres tablas que muestran los resultados obtenidos sobre la precisión de cada método alternativo para distintos parámetros. Las tablas se clasifican en función de los parámetros medidos en posiciones de pie (ver tabla #) y sentada (ver tabla #), y una tabla adicional que contiene los parámetros específicos de secciones del cuerpo como cabeza, mano, cintura y pie (ver tabla #).

Tabla 123- Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros en posición de pie

		Parámetros en posición de pie							
No	Parámetro	Método	Media	SEM	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Decisión	Valor-p (Tukey)	Comparación significativa
1	Estatura	Tradicional	165.88	1.98	8.61	p=0.36	P>α= 0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	166	2.01	8.78				
		Fotogrametría	165.42	1.98	8.62				
2	Altura de los ojos	Tradicional	153.81	1.83	8.2	p=0.070	P>α= 0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	154.36	1.91	8.52				
		Fotogrametría	152.75	1.95	8.71				
3	Altura de los hombros	Tradicional	136.51	1.66	7.25	p=0.078	P>α= 0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	136.99	1.68	7.33				
		Fotogrametría	135.84	1.55	6.78				
4	Profundidad de tórax	Tradicional	25.721	0.61	2.657	p=0.407	P>α= 0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	24.977	0.495	2.157				
		Fotogrametría	24.895	0.834	3.635				
5	Altura de los codos	Tradicional	101.83	1.37	5.98	p=0.001	P<α= 0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.504	T vs 3D: No significativo
		3D	101.2	1.16	5.06				
		Fotogrametría	99.63	1.25	5.46				
6	Altura de los nudillos	Tradicional	70.55	1.16	5.18	p=0.002	P<α= 0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.925	T vs 3D: No significativo
		3D	72.56	1.07	4.77				
		Fotogrametría	72.805	0.841	3.76				
7	Agarre de codo	Tradicional	35.24	0.608	2.719	p=0.124	P>α= 0.05, se toma Ho: No existen diferencias		
		3D	35.225	0.677	3.028				
		Fotogrametría	34.3	0.722	3.23				
8	Ancho de cadera, parado	Tradicional	35.265	0.673	3.01	p=0.000	P<α= 0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.000	T vs 3D: Significativo
		3D	37.197	0.698	3.123				
		Fotogrametría	34.85	0.73	3.265				

Basado en la tabla anterior, se observa que los parámetros métricos que pueden ser medidos con cualquiera de los dos métodos alternativos de medición, ya sea fotogrametría o escáner 3D, son los siguientes: 1 (estatura), 2 (altura de los ojos), 3 (altura de los hombros), 4 (profundidad del

tórax) y 7 (agarre de codo). Por otro lado, los parámetros 5 (altura de los codos) y 6 (altura de los nudillos) pueden ser medidos únicamente con el método del escáner 3D. Además, el parámetro 8 (ancho de cadera en posición de pie) puede ser medido con el método de fotogrametría, pero no con el escáner 3D.

Tabla 124- - Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros de partes seccionadas (mano, pie, cabeza y cintura)

Parametros partes seccionadas (Mano, Pie, Cabeza y Cintura)										
No	Parámetro	Método	Media	SEM	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Decisión	Valor-p (Tukey)	Comparación significativa	
9	Ancho de pie	Tradicional	9.115	0.183	0.82	p=0.05	P< α =0.05, se toma	p=0.226	T vs 3D: No significativo	
		3D	9.374	0.15	0.669		Ha: Existen diferencias significativas			
		Fotogrametría	9.5	0.199	0.889					p=0.044
10	Longitud de pie	Tradicional	24.016	0.371	1.617	p=0.386	P> α =0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas			
		3D	24.193	0.366	1.596					
		Fotogrametría	24.316	0.306	1.336					
11	Circunferencia de cintura	Tradicional	86.85	2.76	12.36	p=0.000	P< α =0.05, se toma	p=0.000	T vs F: Significativo	
		3D	81.26	2.65	11.83					Ha: Existen diferencias significativas
12	Ancho de mano	Tradicional	7.858	0.133	0.579	p=0.663	P> α =0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas			
		3D	7.758	0.156	0.68					
		Fotogrametría	7.789	0.164	0.713					
13	Longitud de mano	Tradicional	17.468	0.261	1.14	p=0.006	P> α =0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas			
		3D	17.086	0.268	1.168					
		Fotogrametría	17.737	0.341	1.485					
14	Largo de cabeza	Tradicional	18.942	0.171	0.747	p=0.000	P< α =0.05, se toma	p=0.000	T vs 3D: Significativo	
		3D	20.03	0.158	0.687					Ha: Existen diferencias significativas
		Fotogrametría	20.263	0.274	1.195					
15	Ancho de cabeza	Tradicional	15.175	0.12	0.537	p=0.001	P< α =0.05, se toma	p=0.004	T vs 3D: Significativo	
		3D	15.947	0.114	0.511					Ha: Existen diferencias significativas
		Fotogrametría	15.2	0.258	1.152					
16	Circunferencia de cabeza	Tradicional	56.4	0.302	1.349	p=0.000	P< α =0.05, se toma	p=0.000	T vs F: Significativo	
		3D	58.14	0.336	1.501					Ha: Existen diferencias significativas

En la tabla 122 se observa que los resultados obtenidos para algunos parámetros no fueron completamente satisfactorios con los métodos alternativos. Sin embargo, hay ciertos parámetros que pueden ser medidos con al menos uno de estos métodos. Específicamente, los parámetros longitud de pie (No 10), ancho de mano (No 12) y longitud de mano (No 13) pueden ser medidos utilizando cualquiera de los dos métodos alternativos que emplean tecnologías para la captura automática de datos, ya sea mediante escáner 3D o la aplicación Measure de iPhone.

En contraste, el parámetro ancho de pie (No 9) solo puede ser medido con escáner 3D, mientras que el ancho de cabeza (No 15) solo puede ser medido con fotogrametría. Además, los parámetros circunferencia de cintura (No 11), largo de cabeza (No 14) y circunferencia de cabeza

(No 16) no pueden ser medidos con ningún método alternativo disponible, por lo que deberán seguir siendo evaluados con el método tradicional.

Tabla 125- Tabla resumen de los resultados del análisis ANOVA de los métodos de medición para los parámetros en posición de sentado

Parámetros en posición de sentado									
No	Parámetro	Método	Media	SEM	Desv. Est.	Valor-p (ANOVA)	Decisión	Valor-p (Tukey)	Comparación significativa
17	Altura sentada	Tradicional	87.715	0.917	4.103	p=0.000	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.017	Tvs 3D: Significativo
		3D	88.962	0.815	3.646				
		Fotogrametría	90.15	0.99	4.428				
18	Altura de los ojos, sentado	Tradicional	75.878	0.971	4.121	p=0.000	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.965	Tvs 3D: No Significativo
		3D	75.762	0.815	3.459				
		Fotogrametría	77.667	0.932	3.956				
19	Altura de los hombros, sentado	Tradicional	58.94	0.721	3.224	p=0.231	P> α =0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	58.227	0.588	2.628				
		Fotogrametría	58.15	0.859	3.843				
20	Altura de las rodillas, sentado	Tradicional	49.805	0.778	3.481	p=0.05	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.012	Tvs 3D: Significativo
		3D	51.053	0.799	3.571				
		Fotogrametría	49.8	0.79	3.533				
21	Altura se poplíteo, sentado	Tradicional	40.916	0.434	1.891	p=0.000	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.003	Tvs 3D: Significativo
		3D	39.637	0.472	2.058				
		Fotogrametría	38.895	0.648	2.826				
22	Distancia de glúteos a la rodilla	Tradicional	58.079	0.928	4.047	p=0.406	P> α =0.05, se toma Ho: No existen diferencias significativas		
		3D	58.358	0.83	3.618				
		Fotogrametría	57.579	0.968	4.221				
23	Altura de codos, sentado	Tradicional	24.461	0.526	2.23	p=0.009	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.046	Tvs 3D: Significativo
		3D	23.251	0.398	1.689				
		Fotogrametría	22.944	0.514	2.182				
24	Altura de los muslos	Tradicional	14.884	0.593	2.654	p=0.000	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.191	Tvs 3D: No Significativo
		3D	15.789	0.588	2.631				
		Fotogrametría	17.1	0.653	2.918				
25	Distancia de un codo al otro	Tradicional	46.11	1.02	4.55	p=0.002	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.222	Tvs 3D: No Significativo
		3D	47.55	1.13	5.07				
		Fotogrametría	44.25	1.19	5.32				
26	Ancho de hombros	Tradicional	44.4	1.02	4.34	p=0.000	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.001	Tvs 3D: Significativo
		3D	46.35	1.16	4.91				
		Fotogrametría	44	1.03	4.38				
27	Ancho de caderas, sentado	Tradicional	39.365	0.669	2.994	p=0.004	P< α =0.05, se toma Ha: Existen diferencias significativas	p=0.944	Tvs 3D: No Significativo
		3D	39.497	0.751	3.357				
		Fotogrametría	40.7	0.754	3.373				

Con base en los resultados obtenidos de la evaluación de los métodos propuestos, analizados mediante ANOVA y detallados en la tabla 123, se pueden hacer las siguientes observaciones. Los parámetros 'altura de los hombros, sentado', 'distancia de glúteos a rodilla' y 'distancia de un codo a otro' pueden ser capturados con cualquiera de los dos métodos alternativos propuestos, ya sea fotogrametría o escáner 3D. Esto sugiere que ambos métodos son igualmente efectivos para medir estos parámetros específicos.

Sin embargo, hay ciertos parámetros que solo pueden ser capturados con uno de los métodos. El escáner 3D es necesario para medir 'altura de los ojos, sentado', 'altura de los muslos' y 'ancho de cadera, sentado', mientras que fotogrametría es la única opción para 'altura de las rodillas,

sentado' y 'ancho de hombros'. Por otro lado, los parámetros 'altura sentada', 'altura poplíteica, sentado' y 'altura de codo, sentado' deben seguir siendo medidos con el método tradicional, ya que ninguno de los dos métodos alternativos ofrece datos comparables a los obtenidos mediante el método tradicional.

Tabla 126-Resumen de en qué método alternativo se puede usar en cada parámetro

No	Parametro	Metodo	
		3D	Fotogrametria
1	Estatura	✓	✓
2	Altura de los ojos	✓	✓
3	Altura de los hombros	✓	✓
4	Profundidad de tórax	✓	✓
5	Altura de los codos	✓	
6	Altura de los nudillos	✓	
7	Agarre de codo	✓	✓
8	Ancho de cadera, parado		✓
9	Ancho de pie	✓	
10	Longitud de pie	✓	✓
11	Circunferencia de cintura		-
12	Ancho de mano	✓	✓
13	Longitud de mano	✓	✓
14	Largo de cabeza		
15	Ancho de cabeza		✓
16	Circunferencia de cabeza		-
17	Altura sentada		
18	Altura de los ojos, sentado	✓	
19	Altura de los hombros, sentado	✓	✓
20	Altura de las rodillas, sentado		✓
21	Altura se poplíteica, sentado		
22	Distancia de glúteos a la rodilla	✓	✓
23	Altura de codos, sentado		
24	Altura de los muslos	✓	
25	Distancia de un codo al otro	✓	✓
26	Ancho de hombros		✓
27	Ancho de caderas, sentado	✓	

En la tabla 124 se observa que el método que utiliza el escáner 3D EinScan H de Shining 3D presentó la mayor cantidad de parámetros que se pueden medir con esta herramienta y que

ofrece medidas precisas. Estos parámetros, comparados estadísticamente, no muestran diferencias significativas respecto a las mediciones tradicionales, lo que indica que las mediciones obtenidas con el escáner 3D son muy similares a las tradicionales. Sin embargo, es importante mencionar que las discrepancias en las mediciones que no mostraron similitudes estadísticamente significativas se debieron a diferencias menores en la medición.

Para mejorar los resultados, se podría mejorar la técnica y el uso del software EXScan H 1.2.1.1. Dado que el escáner proporciona una captura realmente detallada, mejorar la técnica de uso del software podría permitir medir un mayor número de parámetros con este método. Los factores ambientales y la vestimenta fueron los principales elementos que afectaron algunas de las mediciones, por lo que una mejor calibración y técnicas de escaneo podrían ayudar a mitigar estos problemas y aumentar la precisión general de los parámetros para el escáner 3D.

5.4 VALIDACIONES DE LA METODOLOGÍA PARA EL ESTUDIO DE COMPARACIÓN DE

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE MEDICINES ANTROPOMÉTRICOS

Para garantizar la fiabilidad y la correcta ejecución de las metodologías aplicadas en la investigación, se implementó un proceso exhaustivo compuesto por varias fases clave: la prueba piloto, la triangulación por expertos, y las pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R). Estas etapas fueron esenciales para validar las metodologías empleadas y realizar los ajustes necesarios, asegurando que los datos recopilados cumplieran con los estándares internacionales y las mejores prácticas en ergonomía y antropometría.

5.4.1 VALIDACIÓN MEDIANTE PILÓTALE

El proceso comenzó con la prueba piloto de los tres métodos de medición antropométrica: el método tradicional, la fotogrametría con iPhone (tecnología LiDAR), y el escáner 3D EinScan H Shining 3D. El objetivo de esta fase fue identificar posibles dificultades y limitaciones antes de llevar a cabo las mediciones definitivas. Durante el pilotaje, se observó que el método tradicional, si bien preciso, era considerablemente más lento en comparación con las técnicas tecnológicas.

Este aspecto condujo a que los voluntarios experimentaran fatiga debido a la duración prolongada del proceso, lo que subrayó la necesidad de ajustar la metodología para mejorar la eficiencia.

Por otro lado, tanto la fotogrametría como el escaneo 3D proporcionaron mediciones más rápidas, aunque se detectaron ciertos desafíos relacionados con la iluminación y el posicionamiento de los sujetos. Estas variables afectaron la precisión de las mediciones, especialmente en condiciones de sombra o con contraste excesivo. Sin embargo, mediante la realización de ajustes en las condiciones de iluminación y en la configuración de los dispositivos, se logró minimizar estos problemas. El pilotaje permitió, además, corregir estas limitaciones, optimizando los procedimientos para las mediciones definitivas.

Se implementaron durante el proceso de pilotaje pruebas de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) para evaluar la consistencia de las mediciones obtenidas. Estas pruebas tenían como objetivo determinar si las mediciones repetidas, utilizando los mismos métodos bajo condiciones controladas, generaban resultados similares. El análisis reveló que los tres métodos presentaban niveles aceptables de repetibilidad, aunque tanto la fotogrametría como el escaneo 3D destacaron en términos de velocidad y reducción de errores humanos en comparación con el método tradicional.

Estas pruebas no solo verificaron la fiabilidad de las técnicas utilizadas, sino que también evaluaron la capacidad de los operadores para seguir de manera consistente los procedimientos establecidos. Los resultados indicaron que, con la correcta aplicación de los métodos por parte de los operadores, se logró reducir significativamente los márgenes de error, garantizando así la precisión de los datos recopilados. El uso de las pruebas R&R fue fundamental para confirmar que los datos obtenidos durante el estudio eran válidos y reproducibles.

5.4.2 VALIDACIÓN MEDIANTE TRIANGULACIÓN DE EXPERTOS

Después de la prueba piloto, se llevó a cabo una fase crítica: la triangulación por expertos. En esta etapa participaron especialistas en ergonomía, antropometría y tecnología, quienes revisaron en detalle los procedimientos empleados durante el estudio. Estos expertos evaluaron todos los aspectos, desde la preparación de los sujetos hasta el análisis de los datos obtenidos, asegurando

que las metodologías empleadas fueran congruentes con los lineamientos de la norma ISO 7250-1:2017.

Los expertos también hicieron recomendaciones clave para mejorar la precisión y fiabilidad de las mediciones. Sugerencias como la colocación adecuada de puntos de referencia y mejoras en las herramientas utilizadas, tales como soportes y marcadores adhesivos en la fotogrametría, fueron esenciales para asegurar la consistencia en las mediciones. La retroalimentación proporcionada permitió verificar que los métodos aplicados no solo eran adecuados, sino que también garantizaban la obtención de resultados confiables, en línea con los estándares internacionales.

El proceso completo, desde la fase de pilotaje hasta la triangulación por expertos y las pruebas R&R, culminó en una verificación robusta de las metodologías empleadas en la investigación. Los ajustes implementados a lo largo de este proceso optimizaron los métodos de medición y garantizaron la fiabilidad de los resultados. Esto no solo permitió cumplir con los objetivos del estudio, sino que también estableció una base sólida para futuras investigaciones y la creación de bases de datos antropométricas locales que podrían ser utilizadas en múltiples áreas, como el diseño ergonómico, la salud laboral y la industria en general.

Este proceso de verificación también proporcionó una serie de recomendaciones clave para futuras investigaciones antropométricas en Honduras, enfatizando la importancia de incorporar tecnologías avanzadas, como la fotogrametría y el escaneo 3D, que permiten mayor precisión en la captura de datos y optimizan los tiempos de recolección. Se destacó la necesidad de utilizar métodos verificados y adaptados a las características de la población local, contribuyendo a la creación de bases de datos antropométricas más representativas y útiles para políticas ergonómicas y aplicaciones en diversas industrias.

VI. CONCLUSIONES

6.1 El estudio R&R reveló que tres de las herramientas evaluadas presentaron un porcentaje de varianza (%VE) inferior al 10%, indicando alta confiabilidad y consistencia en las mediciones. Sin embargo, el antropómetro y el software SolidWorks mostraron %VE de 28.73% y 20.12%, respectivamente, lo que sugiere una contribución moderada a la variabilidad, aunque el sistema de medición en general sigue siendo aceptable. Esta variabilidad moderada se debe a la falta de experiencia de uno de los operadores con estos instrumentos y software. Para controlar este factor de variabilidad, es fundamental que las mediciones sean realizadas por el operador que ha demostrado el mejor desempeño con cada herramienta. Esto mejorará la precisión del estudio comparativo y aumentará la validez de los resultados.

6.2 La realización de una prueba piloto previa a la recolección de datos finales resultó ser un elemento esencial para optimizar el proceso de medición antropométrica. Este ensayo inicial permitió acumular experiencia y establecer una base sólida para la ejecución de técnicas de recolección de datos. 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. En consecuencia, se puede afirmar que llevar a cabo una prueba piloto antes de la recolección de datos antropométricos no solo optimiza los procedimientos, sino que también mejora la precisión de los datos al refinar las técnicas.

La recolección final de los datos había dado como resultado la obtención de 1580 mediciones, distribuidas en 60 datos para cada parámetro longitudinal y 40 para los dos parámetros de circunferencia. Estas mediciones habían proporcionado una cantidad adecuada y numerosa de datos, lo que había permitido realizar una comparación exhaustiva de las herramientas estudiadas. Las mediciones se habían realizado con una muestra de 20 personas, de las cuales 12 eran mujeres y 8 hombres. Por ende, recolectar una base amplia y calidad en la recolección de datos asegura que las conclusiones posteriores en un estudio de comparación sean relevantes y bien fundamentadas.

6.3 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, 9 de ellos mostraron valores de diferencias menores a 1.9 cm. 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.

6.4 En estudios que implican mediciones antropométricas, la ausencia de un pilotaje previo puede resultar en baja eficiencia y errores en la captura de medidas debido al manejo inadecuado de las técnicas. Un pilotaje previo permite optimizar el proceso de medición, mejorando su precisión. Por otro lado, un estudio validado mediante la triangulación de expertos proporciona una visión más completa y equilibrada del tema investigado, incrementando la credibilidad de los hallazgos. La supervisión continua de este estudio por parte de tres expertos en estadística, software 3D y métodos ha contribuido significativamente a perfeccionar la metodología aplicada, asegurando una mayor solidez y fiabilidad en los resultados obtenidos.

6.5 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 tiene el potencial de convertirse en un método aún más eficaz para la captación de medidas. Su capacidad para registrar el escaneo permite acceder a las medidas directamente desde el archivo original, eliminando así la necesidad de convocar nuevamente al sujeto si se desea revisar o repetir alguna medición

VII. RECOMENDACIONES

7.1 RECOMENDACIONES DE INVESTIGACIÓN

7.1.1 Para futuras investigaciones de esta índole, se recomienda realizar un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) enfocado específicamente en parámetros clave como longitud, circunferencia y anchos. Este estudio debe tener en cuenta el impacto del factor humano en el uso de los instrumentos de medición, requiriendo la participación de voluntarios dispuestos a dedicar tiempo significativo al proceso. Al centrar el estudio R&R en mediciones antropométricas, se podrá evaluar con mayor precisión la exactitud y fiabilidad de las mediciones, identificando y minimizando la variabilidad introducida por diferentes operadores y técnicas, lo que mejorará la calidad de los datos en futuras investigaciones.

7.1.2 Para futuras investigaciones, se recomienda emplear herramientas o accesorios adicionales que puedan ser evaluados durante las pruebas piloto. Por ejemplo, un estabilizador de celular o un soporte móvil para la recolección de datos mediante fotogrametría con la aplicación Measure del iPhone podría reducir las variaciones causadas por movimientos involuntarios del operador, asegurando una alineación precisa para las mediciones longitudinales. El uso de este accesorio podría disminuir la necesidad de repetir mediciones debido a la pérdida de puntos de captura. Además, se sugiere considerar otros accesorios o herramientas personalizadas que faciliten las mediciones tradicionales, como un banquito ajustable.

7.1.3 Para futuras investigaciones que requieran un análisis comparativo entre mediciones, es fundamental definir claramente los métodos y factores desde el inicio, controlando los factores relevantes para garantizar una selección adecuada de la herramienta estadística. Se recomienda emplear ANOVA cuando se examinen al menos dos factores conocidos por su impacto en la variabilidad de las mediciones, siempre y cuando estos factores no influyan directamente en las mediciones. Además, es crucial realizar pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para asegurar conclusiones precisas y válidas con ANOVA, ya que estas pruebas confirman el cumplimiento de los supuestos del análisis.

7.1.4 Se recomienda a los investigadores en esta área familiarizarse con anticipación con todas las herramientas técnicas y métodos que utilizarán, comprendiendo claramente sus indicaciones y mejores prácticas. Esto contribuirá a realizar estudios más precisos y a optimizar el uso de tiempo y recursos. Además, es fundamental conocer y adherirse a las normativas pertinentes para las mediciones antropométricas, asegurando una correcta toma de parámetros. Es igualmente importante estandarizar los procesos para mejorar la comodidad del operario y las prácticas de medición, empleando artefactos que faciliten el manejo de los instrumentos. Finalmente, se sugiere contar con apoyo durante las mediciones para reducir errores derivados de la fatiga.

7.2 RECOMENDACIONES PARA EL RUBRO

7.2.1 Es fundamental que en el futuro y se recomienda que cualquier investigación o actividad que implique la recolección de datos de mediciones antropométricas lleve a cabo un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) para cada instrumento de medición utilizado. Este estudio evalúa el desempeño de los operarios con respecto al uso del instrumento, garantizando que la variabilidad del sistema de medición sea mínima y adecuada. Esto asegura que las medidas obtenidas sean precisas y confiables, optimizando así la calidad y la validez de los datos antropométricos recopilados.

7.2.2 Se recomienda a los sectores relacionados con la ergonomía, como la salud y la seguridad industrial, que recolectan mediciones antropométricas, explorar nuevas tecnologías disponibles en espacios como los FabLab. Estas tecnologías, ya empleadas en otros estudios, ofrecen oportunidades para mejorar los procesos de diseño y análisis en seguridad ocupacional. Es aconsejable colaborar con expertos en estas tecnologías, incluso si se aplican en otros ámbitos, para identificar técnicas innovadoras y software especializados que puedan servir como alternativas eficaces para optimizar el diseño y la mejora de la seguridad en el trabajo.

VIII. APLICABILIDAD/IMPLEMENTACIÓN

Este proyecto de investigación, presentado como propuesta, detalla los instrumentos de medición y procedimientos para realizar mediciones antropométricas. Podría implementarse parcialmente en el Laboratorio de Ingeniería Industrial y de Sistemas de UNITEC Tegucigalpa para prácticas de antropometría, utilizando herramientas clave como el escáner EinScan H Shining 3D, la app Measure en iPhone, y los instrumentos tradicionales como la cinta antropométrica, flexómetro y antropómetro, ya empleados en el pilotaje.

El software ExScan y SolidWorks facilita el análisis de las mediciones tridimensionales. La app Measure, al ser gratuita, permite su uso en otros entornos con las condiciones adecuadas, como espacio físico y equipamiento ergonómico básico. A continuación, se presentan las siguientes observaciones respecto a la aplicabilidad:

- Este proyecto tiene el potencial de ser implementado en diversas áreas para resolver problemas establecidos, modernizar procesos y mejorar metodologías científicas. En primer lugar, podría aplicarse en el campo de la ergonomía, particularmente en la optimización del diseño de estaciones de trabajo y espacios laborales en industrias que requieren un enfoque antropométrico adaptado a la población local. Asimismo, el sector de la salud laboral se beneficiaría al contar con datos precisos que ayuden a prevenir lesiones musculoesqueléticas y mejorar la seguridad de los trabajadores.
- En cuanto a la modernización de procesos, la implementación de tecnologías como la fotogrametría y el escáner 3D puede acelerar la recolección de datos antropométricos, mejorando la precisión y reduciendo el tiempo necesario en comparación con los métodos tradicionales. Este avance permitiría optimizar las evaluaciones en proyectos industriales, de diseño y de salud pública, donde se requieran datos ergonómicos precisos.
- Finalmente, este proyecto contribuiría a la mejora de las metodologías científicas en el ámbito de la investigación antropométrica en Honduras. Al integrar tecnologías avanzadas en el proceso de medición, se puede proporcionar una base de datos local confiable que apoye estudios futuros y facilite la creación de políticas ergonómicas basadas en

evidencias científicas. Esto contribuiría al desarrollo de nuevas normativas y prácticas en ergonomía adaptadas a la realidad de la región.

El estudio es aplicable a otras instituciones del mismo rubro, como universidades o centros de investigación, que cuenten con lo siguiente:

- **Un espacio físico adecuado:** Aulas, laboratorios o salas que permitan realizar las mediciones, escaneos y fotografías, con condiciones de iluminación controladas y paredes planas que faciliten la precisión de las mediciones.
- **Equipamiento ergonómico:** Bancas antropométricas, sillas ergonómicas e instrumentos de medición como cintas métricas y antropómetros, que sirvan de referencia y apoyo para la recolección precisa de datos antropométricos.

IX. EVOLUCIÓN DE TRABAJO ACTUAL/TRABAJO FUTURO

Con la culminación del proyecto actual, que ha verificado la confiabilidad de las metodologías e instrumentos de medición antropométrica y ha comparado la precisión de métodos tradicionales con tecnologías emergentes como la fotogrametría y el escáner 3D, se propone una segunda etapa de investigación. Esta evolución del trabajo se basará en los resultados obtenidos y abordará nuevas preguntas de investigación surgidas durante el desarrollo del estudio:

- ¿Cuál es la distancia óptima entre el sujeto y la cámara del iPhone para maximizar la precisión en las mediciones de fotogrametría?
- ¿Cómo influye el ángulo de captura (plano picado vs. contrapicado) en el error absoluto de las mediciones antropométricas realizadas mediante fotogrametría?
- ¿Qué efecto tiene el uso de una superficie rotativa para el escaneo 3D, en comparación con el método actual donde el sujeto permanece inmóvil y el sensor se mueve alrededor?
- ¿Qué impacto tiene la iluminación en la precisión de las mediciones antropométricas realizadas mediante fotogrametría?

Esta segunda etapa se centrará en optimizar las técnicas de medición antropométrica, con el objetivo de aumentar tanto la precisión como la eficiencia de los métodos utilizados. Además, se evaluará la integración de nuevas tecnologías y herramientas que puedan reducir el margen de error y simplificar el proceso de recolección de datos. Estas mejoras permitirán que los métodos desarrollados sean aplicables en una mayor variedad de entornos, tanto académicos como industriales, ampliando el alcance del estudio y contribuyendo a soluciones ergonómicas más precisas.

Por otro lado, se buscará expandir la base de datos antropométrica para generar tablas más representativas de la población estudiada. Este paso será clave para facilitar la creación de estándares ergonómicos personalizados que puedan aplicarse en diferentes sectores laborales, permitiendo un diseño más adecuado y seguro de los espacios de trabajo y productos ergonómicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Agost, M. J., & Vergara, M. (2015). Antropometría aplicada al diseño de producto. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/42367?page=11>
- Agost Torres, M. J. (2023). Problemas resueltos de Antropometría aplicada al diseño de producto. Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. <https://elibro.net/es/ereader/unitechn/249436?page=4>
- Alarcon Vilca, C. A. (2019). La importancia de la antropometría como herramienta de identificación en dictámenes periciales realizados a delincuentes en la ciudad de Arequipa, DIRINCRI 2018. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9948>
- Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (2016). ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. Revista EIA, 26, 47-59.
- Arenas Betancur, J. F., Morales, J. A. P., & Rodríguez Ledesma, C. A. (2023). 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). Retos, 49, 572-579. <https://doi.org/10.47197/retos.v49.97096>
- Benavides, M. O., & Gómez-Restrepo, C. (2005). Métodos en investigación cualitativa: Triangulación. Revista Colombiana de Psiquiatría, 34(1), 118-124.
- Bernilla Sánchez, M. G. (2019). Comparación de las medidas de dos métodos de medición para la obtención de los ángulos de powell en los estudiantes del C. P. P. C. C. E. USS, 2019. Repositorio Institucional - USS. <http://repositorio.uss.edu.pe//handle/20.500.12802/7290>

- Borrego del Pino, S. (2008). Estadística descriptiva e inferencial. https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_12/SILVIA_BORREGO_2.pdf
- Burgos Navarrete, F. J., & Escalona, E. (2017). Prueba piloto: Validación de instrumentos y procedimientos para recopilar data antropométrica con fines ergonómicos. 12.
- Cárdenas-López, C., Haua-Navarro, K., Suverza-Fernández, A., & Perichart-Perera, O. (2005). Mediciones antropométricas en el neonato. *Boletín médico del Hospital Infantil de México*, 62(3), 214-224.
- Carmona Benjumea, A. (2003). Aspectos antropométricos de la población laboral española aplicados al diseño industrial. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. <https://www.insst.es/documents/94886/4948468/Aspectos+antropom%C3%A9tricos+de+la+poblaci%C3%B3n+laboral+espa%C3%B1ola.pdf/673b7cc6-fc69-671c-e615-bcf39ee068da?t=1683316592742>
- Dagnino, J. (2014). ANÁLISIS DE VARIANZA. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.07.pdf>
- Díaz-García, J., González-Zapata, L. I., & Estrada- Restrepo, A. (2012). Comparación entre variables antropométricas auto reportadas y mediciones reales. <https://www.proquest.com/docview/2082112846/abstract/5A4CA4C66DC4665PQ/4?source=Scholarly%20Journals>
- Díaz-Granda, R. C., & Díaz-Granda, L. E. (2019). Estudio Transversal: Anemia Materna del Tercer Trimestre y su Relación con Prematuridad y Antropometría Neonatal en el Hospital Vicente Corral Moscoso, Cuenca – Ecuador, 2016 - 2017. *REVISTA MÉDICA HJCA*, 11(1), Article 1.
- Esteller, F., & Belén, A. (2018). Validación de sistemas de medidas antropométricas del pie mediante escáner 3D. <https://riunet.upv.es/handle/10251/94287>

- Fassio, A., & Rutty, M. G. (2013). La triangulación aplicada a la gestión: Diagnóstico, monitoreo y evaluación de políticas públicas. *Documentos y aportes en administración pública y gestión estatal*, 20, 149-165.
- García, T. (2023). ANÁLISIS DE MEJORAS EN LA PRÁCTICA DE ANTROPOMETRÍA MEDIANTE ESCANEEO 3D Y FOTOGRAMETRÍA EN UNITEC.
- Geraldo, A. P. (2014). Confiabilidad De Medidas Antropométricas En Un Grupo De Estudiantes Universitarias De Bogotá. <https://www.proquest.com/docview/2150552036/abstract/5A4CA4C66DC4665PQ/6?source=Scholarly%20Journals>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación (sexta)*. McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández- Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2023). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (segunda)*. McGraw-Hill Interamericana. <https://www.ebooks7-24.com:443/?il=31455>
- ISO. (2017). *Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico. Parte 1: Definiciones de las medidas del cuerpo y referencias (ISO 7250-1:2017)*. <https://ecollection.icontec.org/normavw.aspx?ID=45655>
- Labrador Parra, A., Escalona, E., & Gollo, O. (2023). Estudio piloto comparativo de medidas antropométricas en bipedestación entre Tablas antropométricas y un Antropómetro Harpenden. <http://saber.ucv.ve/handle/10872/22250>
- Lema Ordóñez, H. P., & Martínez Luzuriaga, P. N. (2017). *Diseño e implementación de un escáner 3D basado en visión artificial estéreo para el modelado y prototipado de prótesis ortopédicas pasivas por debajo del codo*. [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/7593>

- Lescay, R. N., Becerra, A. A., & González, A. H. (2016). ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. *Revista EIA*, 13(26), Article 26. <https://doi.org/10.24050/reia.v13i26.799>
- López Acosta, M., De la Vega Bustillos, E., Ramírez Cárdenas, E., Chacara Montes, A., Velarde Cantú, J., & Báez Hernández, G. (2019). *Antropometría para el diseño de puestos de trabajo (Primera)*. Editorial ITSON.
- López, S., & Guadalupe, A. V. (2021). Propuesta de una metodología para desarrollar y evaluar técnicas de fotogrametría como herramientas para la realización del mapeo de patologías en elementos patrimoniales. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2186>
- Medrano, D. L. de L., Muñoz, M. G. M., & Ochoa, C. (2017). La antropometría en el reconocimiento del riesgo cardiovascular. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, 27(1), 167-188.
- Miranda Delgado, R. G. (2021). ¿Qué esperan los latinoamericanos de la democracia?. Un modelo de análisis de varianza (ANOVA). *Agenda Internacional*, 28(39), 97-118.
- Nariño Lescay, R., Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (2016). ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. *Revista EIA*, 26, 47-59.
- Nariño Lescay, R., Alonso Becerra, A., & Hernández González, A. (2018, abril 1). ANTROPOMETRÍA. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA LA CAPTACIÓN DE LAS DIMENSIONES ANTROPOMÉTRICAS. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372016000200004&script=sci_arttext
- Navarro, P. R. (2012). La fotogrametría digital automatizada frente a los sistemas basados en sensores 3D activos. *EGA Expresión Gráfica Arquitectónica*, 20, Article 20. <https://doi.org/10.4995/ega.2012.1408>
- Nolberto Sifuentes, V. A., & Ponce Aruneri, M. E. (2008). *ESTADÍSTICA INFERENCIAL APLICADA*.

- Ortiz Coder, P. (2013). Digitalización automática del patrimonio arqueológico a partir de fotogrametría. *Virtual Archaeology Review*, 4(8), 46-49.
- Osorio Mendoza, A. (2019). Análisis y diseño del puesto de trabajo en el taller de arquitectura, UNITEC. Tegucigalpa; Honduras: Edunitec, 2019.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Ríos, L. (2009). Guatemala: Una revisión de las fuentes antropométricas disponibles. <https://repositori.uji.es/xmlui/handle/10234/163947>
- Valverde Bastidas, J., Cesén Arteaga, M., & Sarmiento Borja, E. (2020). Restauración y conservación digital de fósiles mediante escaneado 3D y la reproducción con prototipado rápido. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, 5(9 (Enero-Julio)), 392-420.
- Vargas-Domínguez, C., & Vázquez-García, J. C. (2024). Repetibilidad y reproducibilidad de la capacidad inspiratoria medida por espirometría y por pletismografía corporal. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 82(1), 7-13.
- Veiga, N., Otero, L., & Torres, J. (2020). Reflexiones sobre el uso de la estadística inferencial en investigación didáctica. *InterCambios: Dilemas y Transiciones de la Educación Superior*, 7(2), 5.
- Vinasco Isaza, L. E. (s. f.). Estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad R&R. <https://cicalidad.com/estudios-rr-del-sistema-de-medicion/>

ANEXOS

Anexos 1- Formato utilizado para el registro de datos recolectados para estudios R&R

Registro de datos para estudio R&R del uso de instrumentos de medición tradicionales por dos operadores						
Flexómetro						
Antropometrista/Operador	Dennis			Ligia		
Pieza/Parte	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 1	Medida 2	Medida 3
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Fuente: Elaboración propia

Anexos 2- Hoja de trabajo de orden de recolección de datos generado por Minitab para estudios R&R

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

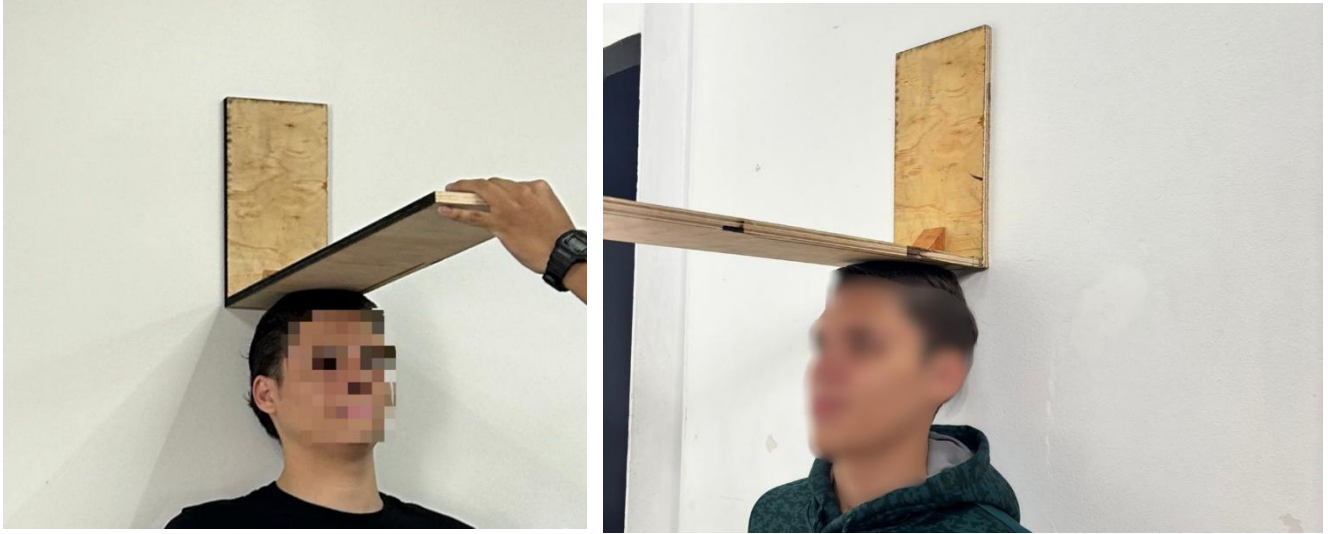
Método

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 3 Total de corridas: 60

↓	C1	C2-T	C3-T	C4	C5	C6	C7
	OrdenCorrida	Partes	Operadores				
1	1	4	1				
2	2	1	1				
3	3	2	1				
4	4	10	1				
5	5	9	1				
6	6	8	1				
7	7	6	1				
8	8	7	1				
9	9	5	1				
10	10	3	1				
11	11	1	2				
12	12	2	2				
13	13	6	2				
14	14	4	2				
15	15	8	2				

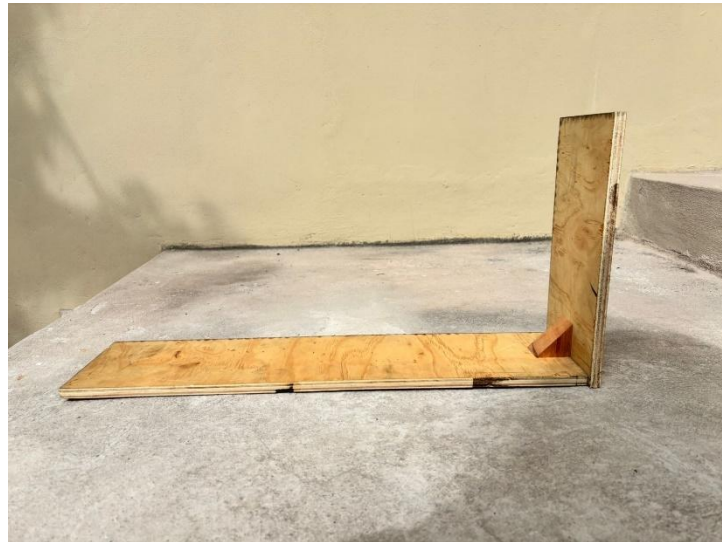
Fuente: Elaboración propia

Anexos 3- Herramienta personalizada, Tabla L con ángulo de 90°



Fuente: Elaboración propia

Anexos 4- Herramienta personalizada, Tabla L con ángulo de 90°



Fuente: Elaboración propia

Anexos 5- Formato utilizado para el registro de datos para el analisis ANOVA de comparación de metodos de medición

Sujeto	Parametro 1	
	Metodo	Estatura (cm)
Persona medida 1	Tradicional	
Persona medida 1	3D	
Persona medida 1	Fotogrametria	
Persona medida 2	Tradicional	
Persona medida 2	3D	
Persona medida 2	Fotogrametria	
Persona medida 3	Tradicional	
Persona medida 3	3D	
Persona medida 3	Fotogrametria	
Persona medida 4	Tradicional	
Persona medida 4	3D	
Persona medida 4	Fotogrametria	
Persona medida 5	Tradicional	
Persona medida 5	3D	
Persona medida 5	Fotogrametria	
Persona medida 6	Tradicional	
Persona medida 6	3D	
Persona medida 6	Fotogrametria	
Persona medida 7	Tradicional	
Persona medida 7	3D	
Persona medida 7	Fotogrametria	
Persona medida 8	Tradicional	
Persona medida 8	3D	
Persona medida 8	Fotogrametria	
Persona medida 9	Tradicional	
Persona medida 9	3D	
Persona medida 9	Fotogrametria	
Persona medida 10	Tradicional	
Persona medida 10	3D	
Persona medida 10	Fotogrametria	
Persona medida 11	Tradicional	
Persona medida 11	3D	
Persona medida 11	Fotogrametria	
Persona medida 12	Tradicional	
Persona medida 12	3D	
Persona medida 12	Fotogrametria	
Persona medida 13	Tradicional	
Persona medida 13	3D	
Persona medida 13	Fotogrametria	
Persona medida 14	Tradicional	
Persona medida 14	3D	
Persona medida 14	Fotogrametria	
Persona medida 15	Tradicional	
Persona medida 15	3D	
Persona medida 15	Fotogrametria	
Persona medida 16	Tradicional	
Persona medida 16	3D	
Persona medida 16	Fotogrametria	
Persona medida 17	Tradicional	
Persona medida 17	3D	
Persona medida 17	Fotogrametria	
Persona medida 18	Tradicional	
Persona medida 18	3D	
Persona medida 18	Fotogrametria	
Persona medida 19	Tradicional	
Persona medida 19	3D	
Persona medida 19	Fotogrametria	
Persona medida 20	Tradicional	
Persona medida 20	3D	
Persona medida 20	Fotogrametria	

Fuente: Elaboración propia