



Facultad de ingenierías

Trabajo de Grado:

**DETERMINACIÓN DEL ÁNGULO DE IMPACTO Y DE DISPARO BASADO EN LA
FORMA DEL ORIFICIO DE ENTRADA DEL PROYECTIL EN SUPERFICIES DE
VEHÍCULOS.**

*Un trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de Ingenieras Físicas de la
Universidad Tecnológica de Pereira.*

Presentado por:

NATHALIA CALVO ZAMBRANO

VALENTINA DUQUE GUTIÉRREZ

Dirigido por:

JAIME GRANADA HINCAPIÉ

M.Sc. en Instrumentación Física

Pereira, Risaralda

2016

Agradecimientos

Agradecemos a cada integrante del grupo de balística, del cuerpo técnico de investigación CTI seccional Pereira, por su disposición, aportes y apoyo.

Al director de trabajo de grado Jaime Granada Hincapié por su acompañamiento, asesoría y por ser parte fundamental en la gestión para el convenio entre la Universidad Tecnológica de Pereira y la Fiscalía General de la Nación. Y al director del programa de Ingeniería Física Jhon Jairo Santa por la colaboración en esta gestión.

Al Director Técnico del Grupo de Balística de la Sub Dirección Seccional de Policía Judicial CTI Risaralda, Olav Abbey Fernández por brindarnos con absoluta disposición sus conocimientos y por guiarnos en el desarrollo del trabajo, por gestionar los elementos y espacios necesarios para llevar a cabo la parte experimental de la investigación.

A nuestras familias por el apoyo y por brindarnos la gran oportunidad de obtener el título universitario como ingenieras físicas, a nuestros compañeros y profesores por la formación y acompañamiento a lo largo de la carrera.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	2
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	9
1.1. INTRODUCCIÓN	9
1.2. PLANTEAMIENTO DE LA PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	10
1.3. JUSTIFICACIÓN	11
1.4. OBJETIVOS	11
1.4.1. General	11
1.4.2. Específicos	12
2. ANTECEDENTES	13
2.1. TRABAJOS RELACIONADOS	13
2.2. ORIFICIO DE ENTRADA	14
3. MÉTODOS APLICADOS	15
3.1. MÉTODO TRIGONOMÉTRICO	15
3.1.1. Método 1. Con huella de arrastre	15
3.1.2. Método 2. Solo el orificio	16
3.2. MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA LEY DE COSENOS	17
4. VALIDACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÉTODO TRIGONOMÉTRICO	18
4.1. VALIDACIÓN EN SUPERFICIE DE DRYWALL	18
4.2. APLICACIÓN EN LÁMINAS DE VEHÍCULO	24
4.2.1. Metodología	24
4.2.1.1. Parte Experimental	24
4.2.1.2. Parte Analítica	27
4.2.2. Desarrollo	27
4.2.2.1. Parte Experimental	27
4.2.2.2. Parte Analítica	31
5. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	34
5.1. ANALISIS DE LOS ÁNGULOS DE INCIDENCIA	34

□ Ángulo 90°	34
□ Ángulo 10°	38
□ Ángulo 20°	44
□ Ángulo 30°	50
□ Ángulo 40°	56
□ Ángulo 50°	61
□ Ángulo 60°	67
5.2.ÁNGULOS DE DISPARO	73
□ Ángulo 0°	73
□ Ángulo 80°	73
□ Ángulo 70°	73
□ Ángulo 60°	73
□ Ángulo 50°	73
□ Ángulo 40°	74
□ Ángulo 30°	74
5.3. TABLAS DERESULTADOS	74
5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN CADA MÉTODO.....	75
6. CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES.	78
6.1. CONCLUSIONES	78
6.2. APORTES.....	78
6.3. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	79
BIBLIOGRAFÍA.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. 1. Método 1, medida con huella de arrastre	16
Fig. 2. Método 2, medida de solo el orificio	16
Fig. 3. Método de medición para el ángulo de disparo del grupo de balística del CTI Pereira	17
Fig. 4. Montaje de la lámina de Drywall.....	18
Fig. 5. Variación de la lámina de Drywall	19
Fig. 6. Desplazamiento de la base de la lámina de Drywall.....	19
Fig. 7. Orificio de entrada para cada ángulo de incidencia en la lámina de Drywall.....	20
Fig. 8. Indicadores de medida de longitud y anillo de enjugamiento.....	20
Fig. 9. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 90° y 80°	21
Fig. 10. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 60°, 50° y 40°	21
Fig. 11. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 30°, 20° y 10°	22
Fig. 12. Diferencia entre el ángulo real y el obtenido	23
Fig. 13. Vehículo utilizado para las pruebas, ubicado en el polígono de balística del CTI Pereira .	24
Fig. 14. Soporte para fijar y disparar el arma de forma segura	25
Fig. 15. Ubicación del arma en la parte lateral del vehículo	25
Fig. 16. Prueba de la inclinación de arma	26
Fig. 17. Manejo del calibrador para la toma de medidas	26
Fig. 18. Vehículo Renault 4 ubicado en el polígono de la Fiscalía	27
Fig. 19. Características generales del vehículo Renault 4.....	28
Fig. 20. Montaje final del vehículo y el arma de fuego	28
Fig. 21. Montaje previo a cada ángulo de disparo	29
Fig. 22. Verificación de inclinación del arma	30
Fig. 23. Determinación del ángulo de disparo	32
Fig. 24. Morfología del O.E de un ángulo de 90°	34
Fig. 25. Inclinación del arma antes de cada disparo.....	35
Fig. 26. Histograma del ancho para el ángulo de 90°	36
Fig. 27. Histograma del largo para el ángulo de 90°	37
Fig. 28. Ángulos promedios de cada operador.....	38
Fig. 29. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 10° y de disparo de 80°	39
Fig. 30. Histograma del ancho para el ángulo de 10°, método 1	40
Fig. 31. Histograma del largo para el ángulo de 10°, método 1	41
Fig. 32. Ángulos promedios de cada operador, método 1	41
Fig. 33. Histograma del ancho para el ángulo de 10°, método 2	42

Fig. 34. Histograma del largo para el ángulo de 10°, método 2.....	43
Fig. 35. Ángulos promedios de cada operador, método 2.....	44
Fig. 36. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 20°.....	45
Fig. 37. Histograma del ancho para el ángulo de 20°, método 1.....	45
Fig. 38. Histograma del largo para el ángulo de 20°, método 1.....	46
Fig. 39. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	47
Fig. 40. Histograma del ancho para el ángulo de 20°, método 2.....	48
Fig. 41. Histograma del largo para el ángulo de 20°, método 2.....	49
Fig. 42. Ángulos promedios de cada operador, método 2.....	50
Fig. 43. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 30°.....	50
Fig. 44. Histograma del ancho para el ángulo de 30°, método 1.....	51
Fig. 45. Histograma del largo para el ángulo de 30°, método 1.....	52
Fig. 46. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	53
Fig. 47. Histograma del ancho para el ángulo de 30°, método 2.....	54
Fig. 48. Histograma del largo para el ángulo de 30°, método 2.....	55
Fig. 49. Ángulos promedios de cada operador, método 2.....	55
Fig. 50. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 40°.....	56
Fig. 51. Histograma del ancho para el ángulo de 40°, método 1.....	57
Fig. 52. Histograma del largo para el ángulo de 40°, método 1.....	58
Fig. 53. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	58
Fig. 54. Histograma del ancho para el ángulo de 40°, método 2.....	59
Fig. 55. Histograma del largo para el ángulo de 40°, método 2.....	60
Fig. 56. Ángulos promedios de cada operador, método 2.....	61
Fig. 57. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 50°.....	61
Fig. 58. Histograma del ancho para el ángulo de 50°, método 1.....	62
Fig. 59. Histograma del largo para el ángulo de 50°, método 1.....	63
Fig. 60. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	64
Fig. 61. Histograma del ancho para el ángulo de 50°, método 2.....	65
Fig. 62. Histograma del laego para el ángulo de 50°, método 2.....	66
Fig. 63. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	66
Fig. 64. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 60°.....	67
Fig. 65. Histograma del ancho para el ángulo de 60°, método 161.....	68
Fig. 66. Histograma del largo para el ángulo de 60°, método 1.....	69
Fig. 67. Ángulos promedios de cada operador, método 1.....	69
Fig. 68. Histograma del ancho para el ángulo de 60°, método 2.....	70

Fig. 69. Histograma del ancho para el ángulo de 60°, método 2	71
Fig. 70. Ángulos promedios de cada operador, método 2	72
Fig. 71. Orientación del método de medición	72

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1.	Promedios de medidas para los ángulos de incidencia en la lámina de Drywall	23
Tabla 2.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 90°	35
Tabla 3.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 90°	36
Tabla 4.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 10°, método 1.....	39
Tabla 5.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 10°, método 1	40
Tabla 6.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 10°, método 2.....	40
Tabla 7.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 10°, método 2.....	43
Tabla 8.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 20°, método 1.....	45
Tabla 9.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 20°, método 1	46
Tabla 10.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 20°, método 2.....	48
Tabla 11.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 20°, método 2.....	49
Tabla 12.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 30°, método 1.....	51
Tabla 13.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 30°, método 1	52
Tabla 14.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 30°, método 2.....	53
Tabla 15.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 30°, método 2.....	54
Tabla 16.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 40°, método 1.....	56
Tabla 17.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 40°, método 1	57
Tabla 18.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 40°, método 2.....	59
Tabla 19.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 40°, método 2.....	60
Tabla 20.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 50°, método 1.....	60
Tabla 21.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 50°, método 1	63
Tabla 22.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 50°, método 2.....	64
Tabla 23.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 50°, método 2.....	65
Tabla 24.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 60°, método 1.....	67
Tabla 25.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 60°, método 1	68
Tabla 26.	Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia de 60°, método 2.....	70
Tabla 27.	Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia de 60°, método 2.....	71
Tabla 28.	Promedios de medidas para los ángulos de incidencia del método 1	74
Tabla 29.	Ángulos de disparo obtenidos con el método 1	74
Tabla 30.	Promedios de medidas para los ángulos de incidencia del método 2.....	75
Tabla 31.	Ángulos de disparo obtenidos con el método 2.....	75
Tabla 32.	Ángulos de disparo obtenidos con el método de la ley de Coseno.....	76
Tabla 33.	Comparación de los ángulos obtenidos por cada método	76

CÁPITULO 1.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como propósito mostrarles a los estudiantes de ingeniería física de la Universidad Tecnológica de Pereira, una rama experimental de la física, la cual en esta institución presenta poca profundización. Nos referimos a la física forense donde se pueden aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

Esta investigación se desarrolla en el área de la *balística forense*, concretamente en el campo de la balística reconstructiva y aplicada a la técnica llamada *materialización de trayectorias*, en vehículos, la cual requiere el uso de trigonometría. Con el fin de cumplir este propósito y además brindar una herramienta útil al grupo de Balística del CTI de la Fiscalía General de la Nación, seccional Pereira, nace este proyecto, el cual pretende determinar el ángulo de incidencia horizontal basados en las dimensiones que presenta el orificio de entrada, después de que el proyectil impacta en la superficie del vehículo, sin necesidad de tener el orificio de salida. Debido a que en algunas ocasiones, en la escena del crimen existe la posibilidad que solo se encuentre el orificio de entrada, casos en los que no es posible emplear la técnica que ellos usan puesto que por un punto pasan infinitas líneas (cuarto axioma básico de geometría) [1] y por dos puntos solo pasa una línea (sexto axioma básico de geometría) [1], razón por la cual para materializar trayectorias se hace necesario contar con el orificio de entrada y de salida.

Por lo anterior se plantea como documento base el artículo de la revista estadounidense AFTE Journal (Association of Firearms and Tool Marks Examiners) Volumen 33 No 2, donde miembros del laboratorio forense de la policía Montada de Canadá, realizan un estudio calculando el ángulo de incidencia basados en la morfología de los orificios producidos por proyectiles, sobre una superficie de Drywall.

Para llevar a cabo la investigación se usó un arma de fuego tipo pistola marca Jericho modelo 941 FBL calibre 9mm, los disparos efectuados impactaron sobre los costados de un vehículo marca Renault 4 modelo 1991, el cual posee láminas de acero. Dicho vehículo se ubicó en el polígono

del CTI de la Fiscalía General de la Nación sede Pereira, entidad que suministró todos los elementos necesarios para el desarrollo del trabajo, en lo referente a equipos, asesoría, armas y municiones.

En el desarrollo de la actividad, se realizan primero disparos en superficie plana denominada DRYWALL, para hacer una verificación del método citado en el artículo de la revista arriba mencionada, el cual se toma como referencia de acuerdo al estado del arte. En segundo lugar, se estudia la posibilidad de aplicar el método citado en la revista sobre láminas de acero, en especial las que hacen parte de la carrocería de un vehículo, por tanto se realizan siete series de diez disparos a ángulos conocidos y controlados sobre el automotor ya citado. Posteriormente se realiza la inspección física del orificio que consiste en medir el orificio de entrada del proyectil con un calibrador o pie de rey digital aplicando dos métodos diferentes de medida. El primero, midiendo el orificio con todas sus características externas y el segundo solamente el orificio o agujero que ese encontró en la lámina. Luego de tener estas medidas se hizo el análisis estadístico pertinente, para entregar las Tablas con los promedios del ancho y el largo, asimismo, calcular el ángulo de incidencia y por ende el ángulo de disparo, de cada método de medición. De otra parte, se comparan los métodos de medición con el utilizado por los peritos del Grupo de Balística del CTI, para establecer cuál es el más adecuado en el desarrollo de la función pericial correspondiente.

También se da a conocer paso a paso la metodología que se usó, el desarrollo aplicado, el análisis de resultados adquiridos, las conclusiones finales de la investigación, los aportes y recomendaciones que deja el trabajo, para futuros estudios alrededor del tema.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En una escena del crimen donde un arma de fuego se halla accionado, el proyectil puede impactar en diferentes superficies, en donde dejará diferentes evidencias que deben ser usadas por los investigadores o peritos en balística forense para esclarecer el suceso, una de estas evidencias es el orificio de entrada que es el orificio que forma el proyectil al impactar en la superficie. Las superficies más afectadas son el cuerpo humano y los vehículos.

Este orificio presenta diversas características, como lo son la morfología (circular o elíptica), el punto de impacto, la huella de arrastre y el anillo de enjugamiento, las cuales varían dependiendo de la superficie, el ángulo de disparo, la distancia a la que se accione el arma, entre otras. Estas características son importantes para resolver algunos interrogantes sobre la investigación, tales como la posible posición del tirador, los ángulos de incidencia y de disparo del proyectil. Para determinar dichos ángulos y distancia se hace una materialización de la trayectoria del proyectil lo cual puede orientar un paso a paso de lo que sucedió, que es lo que en el juicio fiscales, abogados y jueces quieren conocer. Pero para hacer esta materialización los peritos del grupo de balística requieren tanto del orificio de entrada como el de salida, debido a que por dos puntos pasa solo una línea [1], que para este caso representa la trayectoria del proyectil además en algunos casos el orificio de salida no es encontrado y es ahí donde surge la necesidad de determinar el ángulo solo con el orificio de entrada y la particularidad que este tenga.

En esta investigación se plantea determinar el ángulo de incidencia a partir de la forma del orificio de entrada de un impacto hecho con arma de fuego, en una superficie metálica.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Las superficies impactadas que más se encuentran en las escenas del crimen son el cuerpo humano y los vehículos, estos últimos poseen superficies metálicas y por ser tan comunes en estos casos se prestan para hacer investigación sobre ellos.

En los vehículos también hay casos donde solo se encuentra el orificio de entrada ya que el proyectil puede quedar alojado en diferentes partes de este que interrumpen su trayectoria, además si se logra determinar el ángulo de impacto solo con el orificio de entrada, haría más ágil los análisis realizados en el lugar de los hechos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Diseñar e implementar una metodología para determinar el ángulo de incidencia y de disparo realizado con un arma de fuego basándose en la morfología del orificio de entrada en una superficie metálica.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Establecer una forma de medida con base en la cual se puedan adquirir los datos (ancho y largo) de un orificio de entrada que deja en proyectil de calibre 9 mm al impactar sobre una superficie metálica.
- Aplicar la relación trigonométrica basada en el uso del ancho y largo del orificio de entrada en vehículos, para determinar el ángulo de incidencia y a partir de este el ángulo de disparo.
- Comparar los resultados obtenidos con los entregados por especialistas en el tema, para así demostrar la confiabilidad de este método.

CÁPITULO 2.

ANTECEDENTES

En este capítulo se describen algunos trabajos relacionados con el tema de investigación y se da la definición de la evidencia fundamental para esta investigación.

2.1. TRABAJOS RELACIONADOS

En el año 2000. Castro, Espejo y Martínez, escribieron un artículo en la revista de Metalurgia [3] en el que estudiaron la morfología de los orificios que dejaron los proyectiles 5,56 en diferentes tipos de acero, para determinar la eficiencia de dichos materiales usados para blindajes, la forma de penetración del proyectil y los cortes que predominan en estos orificios debido a la resistencia que presenta la superficie de impacto.

En el año 2001, Darryl Barr escribió un artículo en la revista AFTE Journal [2] en el cual describió un método trigonométrico que usa para determinar el ángulo de impacto en una superficie de Drywall, basándose en las medidas del largo y ancho del orificio de entrada, usando la ecuación (1) :

$$\text{Ángulo} = \sin^{-1} \left(\frac{\text{Ancho}}{\text{Largo}} \right) \quad (1)$$

Además explica porque la metodología actual no es adecuada para definir el área real de los orificios de bala en esta superficie, y propone una modificación para el método basada en la teoría y pruebas por experimentación, con la cual pretende conocer el área real de los agujeros sobre lámina de Drywall y concluye que el método trigonométrico modificado es útil para agujeros de bala de forma totalmente elíptica que resultan de disparos hechos con ángulos horizontales.

En el año 2010. Guevara, desarrolló una investigación en la cual su objetivo era determinar el ángulo de incidencia en superficies metálicas a través de la longitud de los ejes mayores y menores de los orificios de entrada [4], empleó la fórmula establecida por M. F. Ferreyro que utiliza las medidas longitudinales y transversales de este. Observó la superficie metálica impactada, con el fin de describir la morfología del orificio de entrada y realizar la medición del mismo. El análisis concluyó que la dinámica del proyectil cuando impacta la placa metálica, invalida el empleo de la

fórmula de M. F. Ferreyro para esta superficie debido a las diferentes propiedades físicas y mecánicas que presenta este material. No obstante es suficiente la observación detallada del orificio para detectar signos comunes a cada ángulo de incidencia bajo estudio. Este trabajo de investigación tuvo un fin criminalístico, y fue la propuesta de una metodología para que el perito conociera el ángulo límite de penetración en la superficie estudiada y además las características morfológicas que presentan las perforaciones sobre una superficie metálica, para poder así acotar la posición del tirador. En esta misma investigación citan un estudio que se realizó en el año 2007 por Ferreyro, el cual consistió en realizar disparos con armas cortas y largas, con proyectiles de distintos calibres en superficies de madera de varios tipos, también estableció la importancia de la dirección que deja marcado el paso del proyectil por este material y halló el ángulo con el que incide el proyectil a través de la medidas del ancho y el largo del orificio de entrada, además expresa que para ángulos mayores estos ejes son prácticamente iguales, por lo que se puede decir que se trata de una angulación entre 90 y 80°.

En el año 2014. Davidsaver, realizó una investigación en la cual pretendía determinar el calibre del proyectil y el ángulo de incidencia [5], basado en la forma del orificio de entrada, el cual debía tener una forma regular para poder adquirir las medidas del ancho y largo, además empleó la ecuación (1) para calcular dicho ángulo. Este estudio lo realizó en superficies compuestas de plástico que estaban ubicadas en las puertas de un vehículo y los resultados que se obtuvieron no fueron óptimos, se cree que es porque los peritos deben estudiar más afondo el tipo de superficie.

2.2.ORIFICIO DE ENTRADA

Es el orificio que se forma cuando impacta un proyectil en una superficie, puede ser de morfología circular o elíptica según el ángulo de incidencia [6 - 7] que se forme con la superficie al realizar los disparos, sea de forma horizontal o vertical, posee una medida de largo y ancho característica y presenta una deformación en los bordes en la misma dirección que lleva el proyectil (hacia adentro). [6]

Según el ángulo de disparo se presenta punto de impacto y huella de arrastre, dependiendo de la superficie muestra un anillo de enjugamiento el cual se forma debido a que el proyectil se impregna de residuos al pasar por el cañón del arma y al impactar con la superficie se limpia de estos residuos. [8].

CÁPITULO 3.

MÉTODOS APLICADOS

Los métodos aplicados para calcular el ángulo de incidencia del proyectil, se usan luego de que este impacte sobre la superficie dejando un orificio de entrada (O.E), con una morfología característica según las condiciones en las que el disparo se halla efectuado, una de estas condiciones es el ángulo de incidencia, es decir el ángulo que forma la superficie de impacto con la trayectoria que hace el proyectil, luego de abandonar la boca de fuego del arma.

Para obtener el ángulo de incidencia se usa el método trigonométrico y el método con aplicación de ley de cosenos.

3.1. MÉTODO TRIGONOMETRICO

Este método es el mencionado en la revista AFTE Journal [2] el cual consiste en medir el largo y ancho del orificio de entrada, esas medidas se usan para calcular el ángulo de incidencia del proyectil, usando la ecuación (1). En esta investigación se empleó dicho método pero con dos variaciones debido a que se observó que los orificios de entrada presentaban diferencias morfológicas en su parte longitudinal, según el ángulo en el que se realizó el disparo. Estas variaciones del método se aplicaron solo en láminas de vehículos.

3.1.1. MÉTODO 1. Con huella de arrastre.

Este primer método se consideró ya que se quería conocer la influencia de la huella de arrastre en la medición. El cual consiste en medir el largo desde la huella de arrastre hasta el final del agujero, como se observa en la Fig. 1.

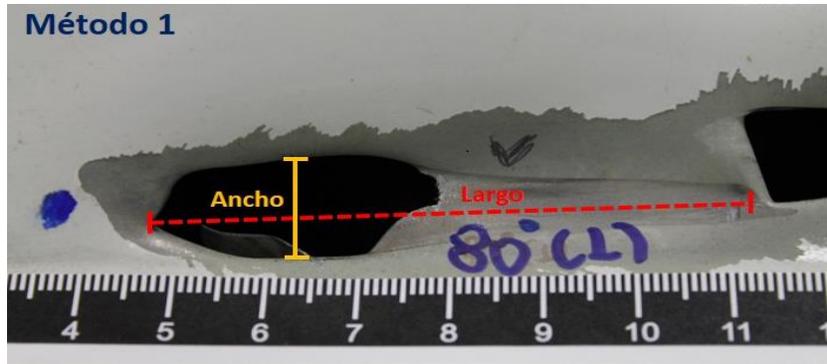


Fig. 1. Método 1, medida con huella de arrastre.
Fuente: propia.

3.1.2. MÉTODO 2. Solo el orificio.

Este segundo método se fundamenta en medir solo la longitud del agujero que presenta el orificio de entrada, como se observa en la Fig. 2, ya que se quería observar si solo con esta medida era suficiente para determinar un ángulo más cercano al real.

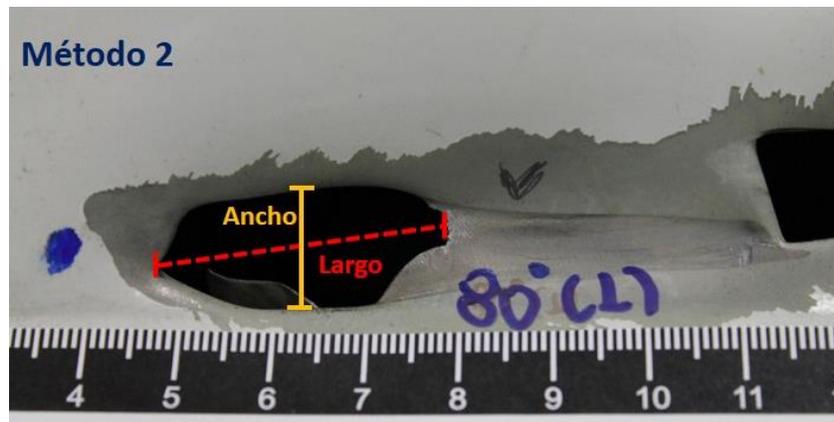


Fig. 2. Método 2, medida de solo el orificio.
Fuente: propia.

Para ambos métodos el ancho fue tomado desde el centro del orificio, puesto que ahí presentaba la mayor abertura vertical. Luego de tener estas medidas se usó la ecuación (1) para obtener el ángulo de incidencia.

3.2. MÉTODO DE APLICACIÓN DE LA LEY DE COSENOS

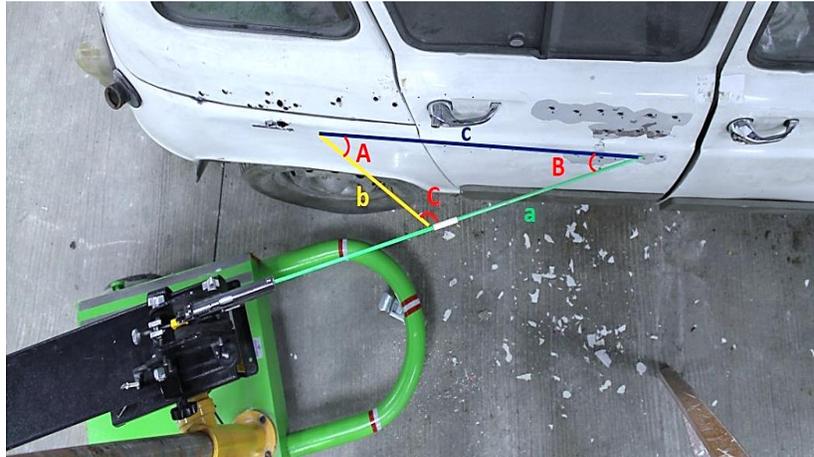


Fig. 3. Método de medición para el ángulo de disparo del grupo de balística del CTI. Pereira.

Fuente: propia.

El cual consiste en pasar una varilla por el orificio de entrada y salida que deja el proyectil, para que esta quede bien sostenida, se determina una distancia desde la superficie del carro hasta un punto marcado en la parte de la varilla que queda por fuera de este (a), desde este punto se traza una línea con otra varilla hasta un punto de referencia (arbitrario) en la superficie del vehículo (b), sobre esta superficie se une el orificio de entrada con el punto de referencia (c), para así formar un triángulo, como se observa en la Fig. 3, con las medidas de los lados a, b, y c se determina el ángulo de disparo (B) con la ley de coseno (ecuación 2):

$$B = \cos^{-1} \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \right) \quad (2)$$

CÁPITULO 4.

VALIDACIÓN Y APLICACIÓN DEL MÉTODO TRIGONOMÉTRICO

En este capítulo se validó el método trigonométrico del estudio hecho en el artículo de la revista AFTE Journal [2] en láminas de Drywall y además se aplicó a láminas de vehículos para probar si es útil en este tipo de superficies, debido a que en ocasiones en el lugar de los hechos solo se encuentra el orificio de entrada del proyectil y es ahí donde los peritos del grupo de balística del CTI sede Pereira, se les dificulta saber cómo proceder ya que el método que ellos usan requieren tanto del orificio de entrada como el de salida.

4.1.VALIDACIÓN EN LÁMINA DE DRYWALL

Para verificar el método trigonométrico mencionado en el artículo de la revista, se procede hacer el siguiente montaje:



Fig. 4. Montaje de la lámina de Drywall.
Fuente: propia.

Se ubica la lámina de Drywall en una base metálica al mismo nivel del arma, la cual fue situada en un soporte especial para fijar y disparar armas (ver Fig. 4), a una distancia aproximada de 1,50 m, la cual fue medida con un distanciómetro laser [9].



Fig. 5. Variación de la lámina de Drywall.
Fuente: propia.

Para este caso se usó un arma tipo pistola marca Jericho modelo 941 FBL calibre 9 mm, debido a que el grupo de balísticos afirma que este tipo arma es la más usada en esta región del país, el arma se dejó estática, mientras que la base de la lámina de Drywall se movió según el ángulo de incidencia (ver Fig. 5).



Fig. 6. Desplazamiento de la base de la lámina de Drywall.
Fuente: propia.

El movimiento de la lámina se hizo con especial cuidado, para garantizar el ángulo al que se quería impactar, para esto se marcaron en el suelo del polígono los respectivos ángulos a los cuales se debía mover la base del Drywall, (ver Fig. 6).



Fig. 7. Orificios de entrada para cada ángulo de incidencia en lámina de Drywall
Fuente: propia.

El arma fue accionada por balísticos del CTI, los cuales realizaron cinco disparos para ángulos de impacto de 90° a 10° con incrementos de 10° sobre una lámina de Drywall (ver Fig. 7), antes de cada disparo se verificó que el arma no tuviera ninguna inclinación vertical.

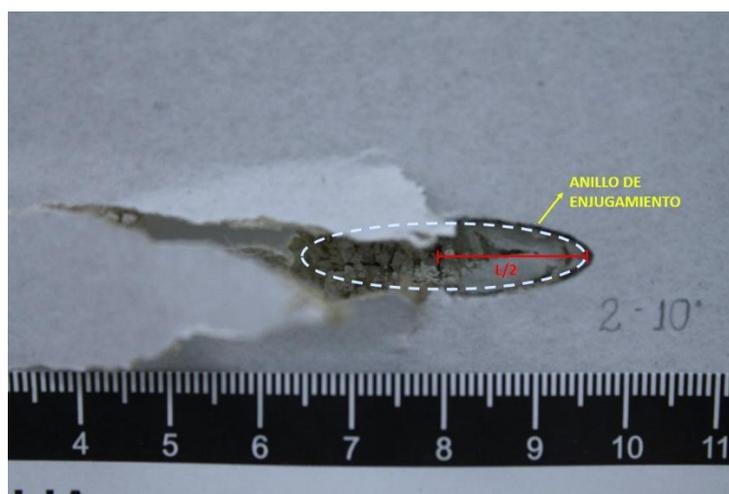


Fig. 8. Indicadores de medida de longitud y anillo de enjugamiento.
Fuente: propia.

Luego de tener los orificios de entrada dejados por los impactos de los proyectiles, se procede a hacer las respectivas medidas del ancho y largo de estos, aplicando el método trigonométrico (citado en el ítem 2.1), con la corrección plateada en el artículo de la revista [2]. La corrección consiste en medir la mitad de la longitud ($L/2$) de los orificios hasta el borde que presenta el anillo de enjugamiento (ver Fig. 8) de aquellos que tienen forma elíptica, esta longitud se debe multiplicar por dos, para tener una mejor medida. Los orificios de forma circular no son adecuados para este

método, puesto que es difícil calcular el ángulo debido a que las medidas del largo y ancho son muy similares, por lo tanto los ángulos obtenidos serán muy cercanos entre sí, como lo concluyen en el artículo de la revista [2]. Para obtener las medidas longitudinales y transversales se usaron las mordazas superiores del calibrador o pie de rey digital [10].

A las dimensiones de los orificios se les halla el promedio, para calcular el ángulo de incidencia, usando la ecuación (1) y se obtiene la diferencia entre el ángulo conocido y el ángulo calculado para hacer el siguiente análisis:

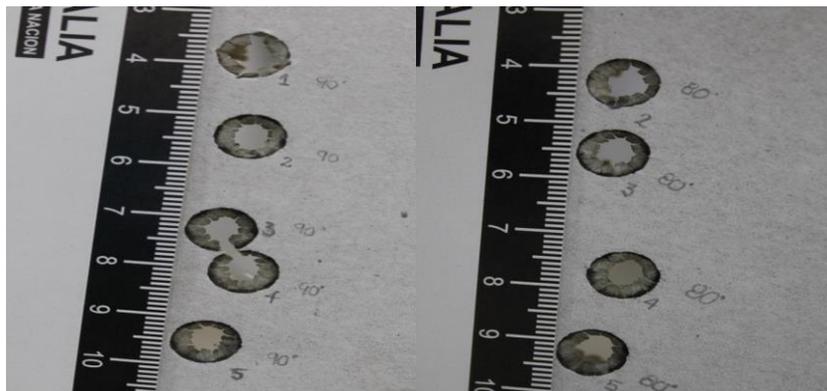


Fig. 9. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 90° y 80°.
Fuente: propia.

Se omitieron los ángulos de 90°, 80° y 70° ya que tenían una morfología circular y como se explicó anteriormente no aplica para el método, en la Fig. 9 se evidencia que los orificios de 90° y 80° son circulares, por lo cual se trabaja solo con los ángulos de 60° a 10°.

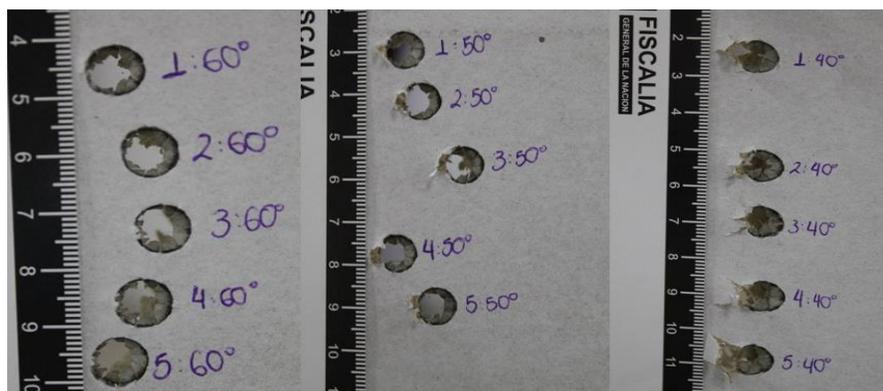


Fig. 10. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 60°, 50° y 40°.
Fuente: propia.

Los orificios de 60°, 50° y 40° presentan una morfología casi circular como se observa en la Fig. 10, por lo cual los ángulos obtenidos presentan una gran diferencia con relación al ángulo esperado.

- **Ángulo de 60°:** el ángulo promedio obtenido es de 70,67° el cual presenta una diferencia de -10,67°.
- **Ángulo de 50°:** el ángulo promedio obtenido es de 27,58° el cual presenta una diferencia de 22,42°.
- **Ángulo de 40°:** el ángulo promedio obtenido es de 28,32° el cual presenta una diferencia de 11,68°.

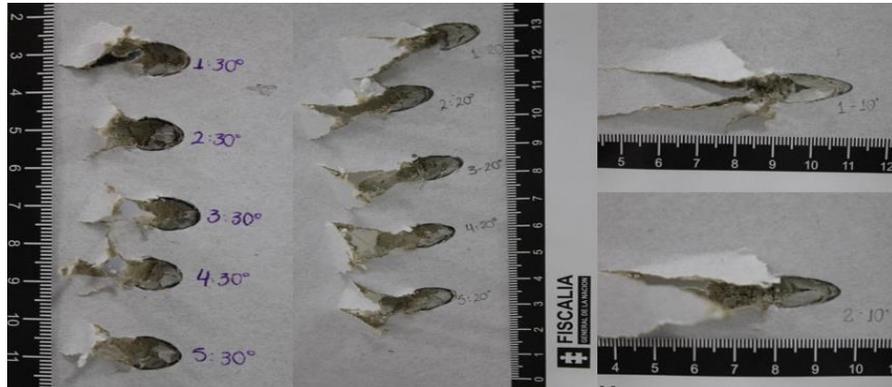


Fig. 11. Orificio de entrada para ángulos de incidencia de 30°, 20° y 10°.

Fuente: propia.

Los ángulos de 30°, 20° y 10° presentan una morfología elíptica como se ve en la Fig. 11, por ende los ángulos obtenidos tienen una menor diferencia.

- **Ángulo de 30°:** el ángulo promedio obtenido es de 24,64° el cual presenta una diferencia de 5,36°.
- **Ángulo de 20°:** el ángulo promedio obtenido es de 20,05° el cual presenta una diferencia de -0,05°.
- **Ángulo de 10°:** el ángulo promedio obtenido es de 11,17° el cual presenta una diferencia de -1,17°.

Estos disparos se hicieron con munición 9mm marca INDUMIL de proyectil cilindro ojival encamisado, diferente al utilizado en el documento base ya que este plantea que el diámetro de la bala es insignificante para la exactitud de este método.

Los resultados finales de esta verificación se almacenan en la Tabla 1:

Tabla 1:

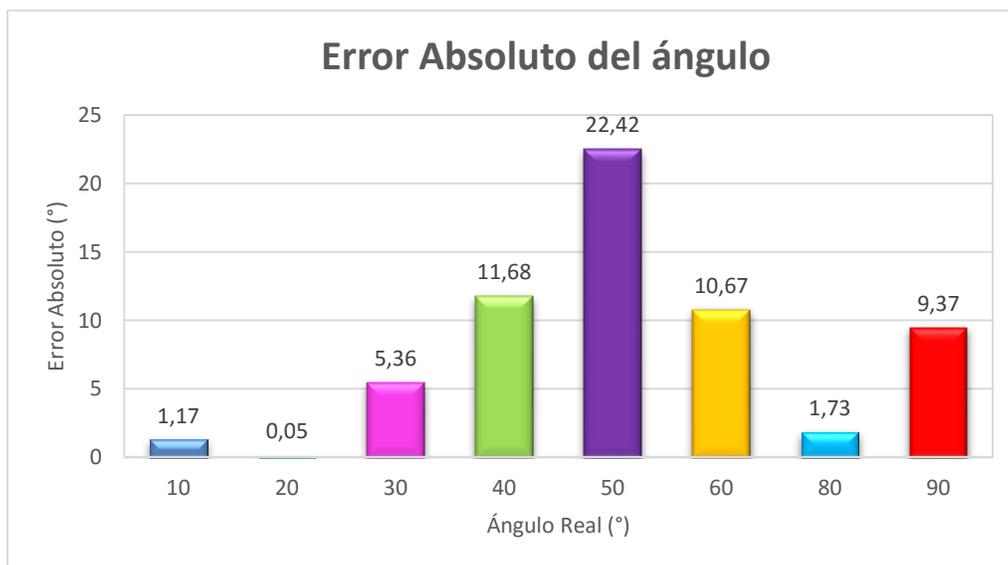
Promedios de medidas para los ángulos de incidencia en la lámina de Drywall.

Ancho (mm)	Largo (mm)	Ángulo Real (°)	Ángulo Obtenido (°)	Error absoluto (°)
8,49	8,61	90	80,63	9,37
8,45	8,54	80	81,73	1,73
8,56	9,08	60	70,67	10,67
8,50	18,38	50	27,58	22,42
8,46	17,83	40	28,32	11,68
8,34	20,03	30	24,64	5,36
8,22	24,18	20	20,05	0,05
8,34	43,07	10	11,17	1,17

Fuente: propia.

En la Tabla 1 se observa que el resultado obtenido para los ángulos de 90° y de 80° son muy cercanos entre sí, de 80,63° y de 81,73° respectivamente, debido a que son orificios casi circulares por lo que sus medidas de ancho y largo son muy parecidas entre sí para cada orificio, con esto se valida que este método no aplica para este tipo de orificios, como lo mencionan en el artículo de la revista.

A partir de la Tabla 1 se hizo una gráfica del error absoluto (ver Fig. 12) de los ángulos de incidencia obtenidos y lo reales.

**Fig. 12: Diferencia entre el ángulo real y el obtenido.**

Fuente: propia.

En la Fig. 12 se evidencia que los ángulos de incidencia obtenidos que presentan menor error con respecto al real están entre 10° y 40° , debido a que son orificios de forma elíptica bien definida y es allí donde el método es viable, como lo afirman en el artículo de la revista

4.2. APLICACIÓN EN LÁMINAS DE VEHÍCULO

4.2.1. METODOLOGÍA

La metodología que se llevó a cabo para el desarrollo de esta investigación se divide en dos partes, una experimental y otra analítica:

4.2.1.1. Parte experimental:



Fig. 13: Vehículo utilizado para las pruebas, ubicado en el polígono de balística del CTI Pereira.

Fuente: propia.

- Se ubicó el vehículo marca Renault 4 modelo 1991 adquirido para tal fin, en la zona de polígono del CTI de la Fiscalía de la ciudad de Pereira (ver Fig. 13), para ser impactado por proyectiles disparados por un arma de fuego tipo pistola marca Jericho modelo 941 FBL calibre 9 mm (la misma que se usó para impactar la lámina de Drywall), el vehículo fue fijado estático, para garantizar esta condición en todos los disparos. La munición utilizada para este estudio son cartuchos 9 mm, marca INDUMIL con proyectil cilindro ojival encamisado.



Fig. 14: Soporte para fijar y disparar armas de forma segura.

Fuente: propia.

- Se utilizó un soporte móvil para sujetar el arma de fuego y para mantener las condiciones controladas de altura, ángulo de disparo, ángulo de incidencia del proyectil y la distancia determinada al vehículo en cada ángulo de disparo que se realizó. (ver Fig. 14)



Fig. 15: Ubicación del arma en la parte lateral del vehículo.

Fuente: propia.

- El arma se ubicó en la parte lateral del vehículo antes mencionado (ver Fig. 15), la cual se accionó diez veces por cada ángulo de disparo, desde 90° a 30° con incrementos de 10° sobre la superficie del vehículo. El ángulo varió de forma horizontal.



Fig. 16: Prueba de inclinación del arma.

Fuente: propia.

- Antes de realizar cada disparo se verificó la perpendicularidad del arma con la superficie y que el arma no presentara inclinación vertical (ver Fig. 16), esto para garantizar que los diez disparos estuvieran bajo las mismas condiciones.



Fig. 17: Manejo del calibrador para la toma de medidas.

Fuente: propia.

- Los orificios de entrada fueron medidos con dos métodos diferentes, pero con un único modo de manejo del calibrador (ver Fig. 17). Estos datos fueron registrados en Tablas [ANEXO 1 – 2].
- Se creó un registro fotográfico, de los orificios de entrada dejados por los proyectiles para tener un soporte sobre las medidas que posteriormente realizaron.

4.2.1.2. Parte analítica:

- Con los datos anteriormente registrados, se determinó el ángulo de impacto o de incidencia, usando la ecuación (1) y el ángulo de disparo restando 90° al ángulo de incidencia obtenido. Estos resultados se compararon con el valor del ángulo real para estimar la proximidad entre estos y dar la validez del método en láminas de acero.
- Estos ángulos se cotejaron con los resultados obtenidos por el método que actualmente usan en el grupo de balística del CTI seccional Pereira, para materializar trayectorias en vehículos.
- Con las dimensiones del largo y ancho de los orificios se realizó el estudio estadístico pertinente para determinar la uniformidad entre los operadores.
- Se evalúan los resultados para entregar conclusiones y recomendaciones del método usado.

4.2.2. DESARROLLO.

4.2.2.1. Parte Experimental.



Fig. 18: Vehículo Renault 4 ubicado en el polígono de la Fiscalía.
Fuente: propia.

La parte experimental de la investigación, se realizó en un polígono cerrado que cumplía con las condiciones óptimas de seguridad y adecuación para efectuar los disparos, ubicado en la Fiscalía

de la ciudad de Pereira. Se inició con la ubicación del vehículo (superficie de impacto) fijándolo en un espacio en el cual permanecería estático a lo largo de todo el experimento (ver Fig. 18), esto con el fin de que fuera referencia para todas las medidas.

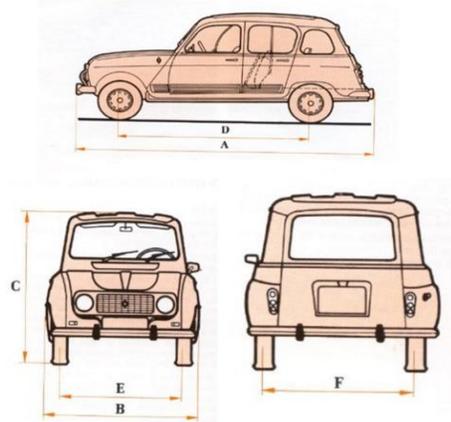


Fig. 19: Características generales del vehículo Renault 4.
Fuente: Manual usuario Renault 4, España 1991, (p. 54-55)

El vehículo tiene una longitud de $A=3,669$ m, un ancho exterior de $B=1,509$ m, una altura de $C=1,550$ m, una distancia entre ejes de $D_{\text{izquierdo}}=2,401$ m, $D_{\text{derecho}}=2,449$ m, un ancho frontal de $E=1,280$ m y un ancho posterior de $F=1,248$ m [11] (ver Fig. 19) está hecho con láminas de acero de baja dureza, las cuales poseen un espesor de $0,20''$.

Para realizar los disparos se utilizó una pistola marca Jericho calibre 9 mm con cartuchos que tienen proyectil cilindro ojival encamisado, los cuales se caracterizan por presentar una velocidad inicial promedio en la boca de fuego del arma de 345 m/s [12] aproximadamente y un rango de energía cinética de 542 a 750 Joule [12].



Fig. 20: Montaje final del vehículo y el arma de fuego.
Fuente: Propia.

El arma de fuego se instaló en un soporte especial para fijar y disparar armas, el cual impedía su movimiento y lograba mantener la altura, los ángulos de disparo e incidencia del proyectil y la distancia de la boca de fuego del arma a la superficie de impacto (costados del vehículo), al momento de realizar los disparos, además se ubicó perpendicular a la superficie de impacto (ver Fig. 20), para que el punto fijo estuviera en la boca de fuego y así permitir un correcto desplazamiento de esta.

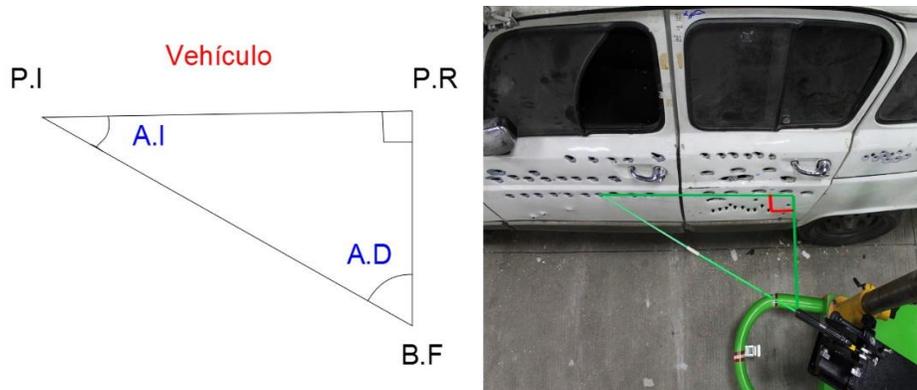


Fig. 21. Montaje previo a cada ángulo de disparo.
Fuente: propia.

Para hallar el ángulo de disparo (A.D) se aplicaron formulas trigonométricas a través del uso de un triángulo rectángulo, formado entre la boca de fuego (B.F), el punto de referencia (P.R) y el punto de impacto (P.I), donde el lado adyacente del triángulo forma un ángulo de 90° con la superficie de impacto y está comprendido entre la boca de fuego del arma y un punto de referencia en dicha superficie, la hipotenusa de este triángulo se forma desde la boca de fuego hasta el punto de impacto ubicado sobre la superficie del vehículo, el lado opuesto esta sobre la superficie del vehículo entre el punto de referencia y el punto de impacto, el lado adyacente con la hipotenusa forman el ángulo de disparo y el lado opuesto con la hipotenusa forman el ángulo de impacto (A.I), como se ilustra en la Fig. 21.



Fig. 22. Verificación de la inclinación del arma.

Fuente: propia.

Además se rectificó con un inclinómetro digital marca Mitutoyo [13] (ver Fig. 22) y un nivel de burbuja, que el arma no tuviera alguna inclinación vertical. Este procedimiento se hizo previo a cada serie de ángulos de disparo desde 80° a 30° , ya que para el ángulo de disparo de 90° solo se ubicó el arma perpendicular a la superficie de impacto. Se hicieron diez disparos para cada serie de ángulos de incidencia, de 0° a 60° , con un incremento de 10° , se estableció este incremento porque la diferencia de grado en grado no permite observar cambios que se destaquen estadísticamente en cuanto al cambio de la forma del orificio, además en la parte práctica se dificulta el control del disparo debido a los movimientos de acción y reacción del arma al momento de efectuar dicha acción.

Luego de cada serie de disparos, se procede a medir el orificio de entrada (O.E) utilizando las dos formas de medida del método trigonométrico. En el método 1, se usó solo las puntas de las mordazas superiores del calibrador, estas medidas fueron hechas por seis operadores y cuatro para el método 2. Cada operador midió diez veces el largo y el ancho de cada orificio, esto con el fin de tener una buena muestra estadística. Los datos de cada operador se almacenaron en Tablas según la forma de medición.

Se hizo un registro fotográfico de cada orificio usando testigos métricos para que fuera fácil dimensionar la medida de cada uno, también se registró el montaje previo a cada ángulo de disparo horizontal y algunas fotografías que verifican que el arma no tenía inclinación antes de accionarla.

4.2.2.2. Parte Analítica.

Teniendo en cuenta que se quiere aplicar la fórmula planteada en el AFTE Journal para los orificios producidos por disparos en láminas de vehículo, se comienza por ordenar las medidas de ancho y largo, obtenidas en ambos métodos de medición, para realizar el siguiente estudio en cada ángulo de incidencia:

1) Se obtuvieron los promedios del ancho y largo, para los operadores en cada orificio. Estos datos fueron almacenados en dos Tablas diferentes, en una de las Tablas se obtuvo el promedio y la relación del ancho y largo para cada operador. Con estos promedios se obtuvo el ángulo incidencia, usando la ecuación (1).

En la otra Tabla se ordenó de menor a mayor, los promedios del ancho y largo a los cuales se le realizó un análisis estadístico, que incluía el cálculo de las siguientes variables:

- Promedio (\bar{x})
- Rango (R)
- Número de clase (NC)
- Ancho de clase (AC)
- Desviación media (D_m)
- Desviación Estándar (S)
- Varianza (σ^2)
- Coeficiente de Variación (CV)

Con las cuatro primeras variables se agruparon los datos, se determinó la clase para conocer la cantidad de intervalos y la frecuencia que estos presentan, para luego construir un histograma, con esto y con las demás variables calculadas se pudo evidenciar la variabilidad de las medidas, para el estudio de r&R (repetibilidad y Reproducibilidad) [14], la repetibilidad (r) se obtuvo con el promedio de varianza de cada operador, para la reproducibilidad (R) se hizo la diferencia entre la varianza de los promedios de cada medida y el promedio de varianzas anteriormente calculado dividido entre la cantidad de datos. Para comparar la reproducibilidad con la repetibilidad, nos basamos en los criterios establecidos en [14]: si ($R < 10\% r$) es sistema de medición es aceptable; si ($10\% r \leq R \leq 30\% r$) el sistema de medición es parcialmente aceptable y si ($R > 30\% r$) se debe

mejorar el sistema de medición, por último se estimó la incertidumbre con base a la GUM [15] para determinar la dispersión de los datos, para esto se obtuvo la incertidumbre tipo A con la desviación estándar y el número total de medidas, la tipo B con la resolución del instrumento dividida entre $(2 * \sqrt{3})$, y la incertidumbre de calibración del instrumento de medida (Pie de rey digital) que la aporta el certificado de calibración actualizado, hecho por el laboratorio Pinzuar Ltda.

Posteriormente se halló el error relativo y se hizo un gráfico comparativo entre el ángulo obtenido y el ángulo real. Además se demostró si este método se puede adaptar a láminas de vehículos.

2) Se halló el ángulo de disparo a partir del ángulo de incidencia conocido, teniendo en cuenta que ambos hacen parte del triángulo rectángulo que se usó en el montaje previo a cada disparo (ver Fig. 21), es decir, se conocen dos ángulos, el de 90° que es el que se quiere garantizar antes de cada disparo, el cual se forma entre la superficie de impacto de vehículo y el lado adyacente del triángulo, este lado está comprendido entre la boca de fuego del arma (B.F) y el punto de referencia (P.R, arbitrario) que se marca sobre dicha superficie (ver Fig. 23) y el ángulo de incidencia (A.I) que se obtiene usando la ecuación (1)

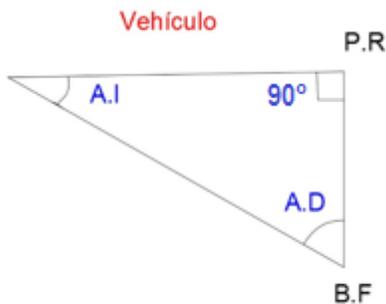


Fig. 23. Determinación del ángulo de disparo.
Fuente: propia.

Como la suma de los ángulos agudos del triángulo (A.I y A.D) debe dar 90° [16], se despejó el ángulo de disparo que es el que se quiere hallar y se obtuvo la ecuación (3):

$$A.D = 90^\circ - A.I \quad (3)$$

Con los resultados de la ecuación (3), se calcula el error relativo, para evidenciar la diferencia con el ángulo real.

3) Las Tablas de los resultados finales del análisis son:

- Para el ángulo de incidencia real, se tienen dos Tablas, una para cada método las cuales contienen: los promedios del ancho y largo, la relación entre estos, ángulo obtenido y error porcentual, para el método 1 (ver Tabla 27) y para el método 2 (ver Tabla 29).
- Para el ángulo de disparo real, se elabora una Tabla para el método 1 (ver Tabla 28) y otra para el método 2 (ver Tabla 30) las cuales incluyen: el ángulo real y el obtenido, con su error porcentual.

Además los ángulos obtenidos se cotejaron con los entregados por parte del grupo de balística del CTI seccional Pereira. (ver Tabla 33)

CÁPITULO 5.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACION.

En este capítulo mostramos el análisis de resultados de los ángulos de incidencia el cual se hace con las medidas adquiridas por ambos métodos de medición y para cada ángulo obtenido, al momento de hacer el cálculo de los ángulos de incidencia se tuvo en cuenta un valor de la relación entre el ancho y el largo de cada orificio, el cual se debe cumplir, para que al aplicar la función arco seno el ángulo de muy próximo al esperado, además se dan a conocer los ángulos de disparo que se calcularon después de obtener el ángulo de incidencia, estos resultados se almacenaron en tablas y finalmente mostramos la comparación de los ángulos de disparo encontrados con los entregados por parte del grupo de balística del CTI

5.1. ANALISIS DE LOS ÁNGULOS DE INCIDENCIA

- **Ángulo de 90°:** La morfología que tiene este orificio es a simple vista circular, pero luego de hacer las respectivas mediciones se evidencia que el largo es mayor que el ancho por lo cual el orificio tiene una forma ovalada, el proyectil no deja punto de impacto debido a que el arma se ubicó perpendicular al área del vehículo, el contorno del orificio presenta una deformación en los bordes con la misma dirección en la que se dirige el proyectil, como se puede ver en la Fig. 24.

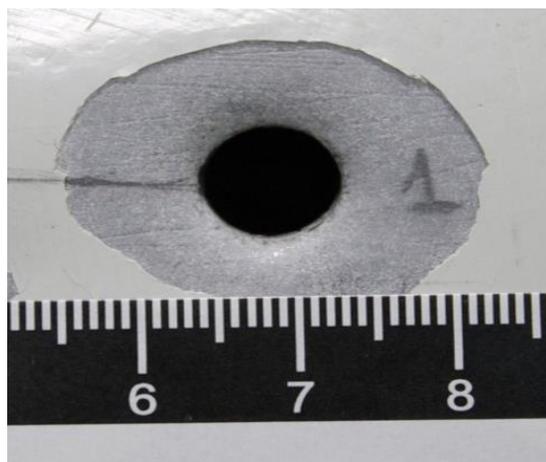


Fig. 24. Morfología del O.E de un ángulo de 90.
Fuente: propia.

Para este orificio las medidas del ancho y el largo deberían ser iguales por que teóricamente el orificio es circular para que se cumpla que la relación sea igual a uno, pero la relación en promedio fue de 0,96 por lo cual el ángulo obtenido en promedio es de $72,92^\circ$, menor a 90° . La condición de la función del arcoseno para que el ángulo sea igual a 90° , es que la relación entre el ancho y el largo sea estrictamente igual a 1, ya que si esta es mayor o menor el ángulo tiene una gran variación, como se observa en la relación que se obtuvo que es menor a uno por lo tanto el ángulo es menor a 90° . Este orificio solo fue medido con el método dos, por la ausencia de punto de impacto.



Fig. 25. Inclinación del arma antes del disparo.
Fuente: propia.

Antes de realizar cada disparo se verificó que el arma no tuviera ángulo de inclinación vertical (ver Fig. 25), para que el orificio no presentara un alargamiento vertical, sin embargo ocurrió y puede ser consecuencia de la fuerza de retroceso causada por la expulsión de gases de la pólvora cuando el proyectil abandona la boca del arma de fuego o por el tipo de superficie que se impactó.

Ancho: En la Tabla 2 de frecuencias, se muestra la agrupación de los datos

Tabla 2:
Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de incidencia 90° .

Clase	Intervalo	fa	fr	%fr
1	9,65 - 9,73	3	0,5	50
2	9,74 - 9,80	3	0,5	50
	Total	6	1	100

Fuente: propia

Como se puede observar en la Tabla 2, las medidas tienen la misma frecuencia absoluta (fa) para ambos intervalos, representado con una frecuencia relativa (fr) de 0,5 para ambos, por lo tanto la frecuencia relativa (%fr) corresponde al 50%.

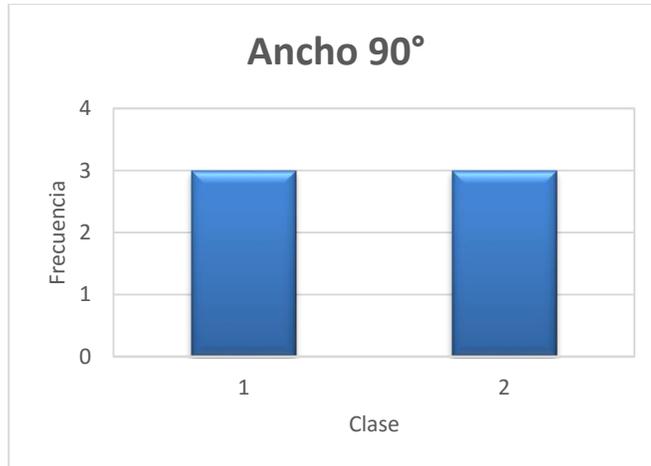


Fig. 26. Histograma del ancho para el ángulo de 90°.
Fuente: propia.

Como se observa en la Fig. 26, la frecuencia es igual a tres para cada clase de intervalos.

El promedio de las medidas del ancho es de $(9,73 \pm 0,06)$ mm, con una dispersión entre estos valores de 0,05.

El estudio de r&R entrega un valor para la repetibilidad (r) de 0,39 y para la reproducibilidad de 0, debido a que el valor dentro de la raíz es un número negativo, al comparar estas dos variables se estima que el valor de la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual indica que el sistema de medición es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,06$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo:

Tabla 3:
Distribución de frecuencias del largo para ángulo de incidencia 90°.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	9,27 - 9,30	2	0,33	33,33
2	9,30 - 9,33	4	0,67	66,67

Total	6	1	100
--------------	---	---	-----

Fuente: propia

Como se observa en la Tabla 3, el intervalo [9,30, 9,33] presenta una mayor frecuencia, representada con una fr de 0,67 que corresponde al 66,67% del total de las medidas.

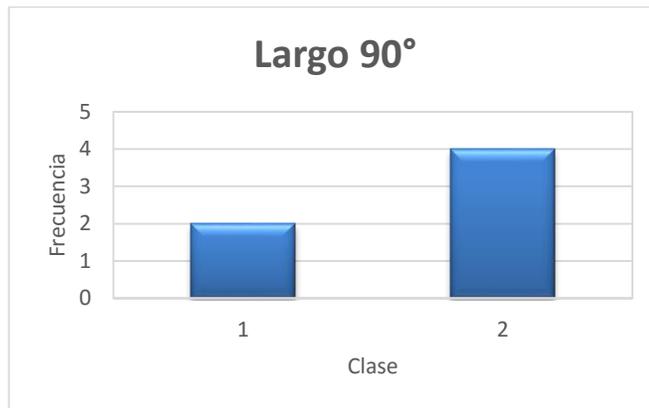


Fig. 27. Histograma del largo para el ángulo de 90°.

Fuente: propia

Como se puede ver en la Fig. 27, la frecuencia mayor es de 4 para la clase 2 del intervalo.

El promedio para esta medida es de $(9,31 \pm 0,04)$ mm, con una dispersión de 0,02 entre las medidas.

El estudio de r&R da una repetibilidad de 0,77 y una reproducibilidad de 0, al compararlas el valor de la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual representa que las mediciones son aceptables.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,04$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En el gráfico comparativo de la Fig. 28, se muestran el ángulo promedio obtenido para cada operador y el ángulo real.



Fig. 28. Ángulos promedios de cada operador.
Fuente: propia

Como se puede observar en la Fig. 28. Los ángulos de incidencia obtenidos son menores al ángulo real de 90°.

Se obtuvo un error relativo en promedio del 19%, esto debido a que el tipo de superficie de impacto no es totalmente plana y además la acción de retroceso que presenta el arma por la expansión de gases dentro del cañón al momento de hacer el disparo, influyen en la morfología del orificio ya que esta debería ser circular y no ovalada como se mencionó anteriormente.

- **Ángulo de 10°:** Este orificio presenta una morfología ovalada o elíptica, con una huella de arrastre de mayor longitud comparada con la de los demás orificios como se ve en la Fig. 29, para este ángulo por seguridad, se realizaron solo dos disparos ya que presentaron rebote y esto suele suceder para ángulos menores a 15° como se afirma teóricamente para superficies de hormigón [17] y cuerpo humano [18].



Fig. 29. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 10° y de disparo de 80° .

Fuente: propia.

Este orificio fue medido con los dos métodos:

Método 1: El largo que se obtuvo es mayor al ancho como se esperaba, la relación entre estos es en promedio de 0,19 y el valor preciso para esta relación es de 0,16 por lo tanto el ángulo en promedio obtenido es de $11,17^\circ$ un poco mayor que el esperado.

Ancho: La medida del ancho tiene la misma frecuencia en ambos intervalos, con una fr de 0,5 que corresponde a un %fr de 50%. Como se observa en la Tabla 4:

Tabla 4:

Distribución de frecuencias del ancho para el ángulo de 10° , método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	13,61 - 13,79	3	0,5	50
2	13,80 - 13,97	3	0,5	50
Total		6	1	100

Fuente: propia

Como se observa en la Fig. 30, la frecuencia es de tres para ambas clases de intervalos.

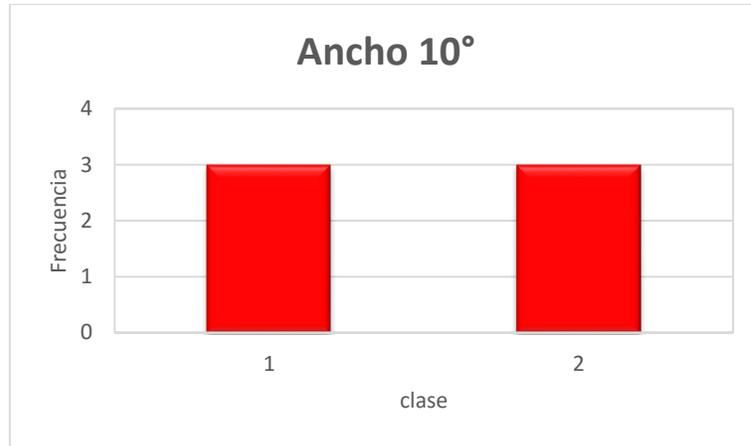


Fig. 30. Histograma del ancho para el ángulo de 10°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(13,75 \pm 0,12)$ mm, con una dispersión entre las medidas de 0,12.

El estudio de r&R muestra que la repetibilidad es de 0,47 y la reproducibilidad de 0, para lo cual la reproducibilidad se encuentra por debajo del 10% de la repetibilidad.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,12$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: El intervalo de $[6,42 - 72,99]$ tuvo más frecuencia absoluta, representada con un fr de 0,83 que corresponde al 83,33% del total de las medidas. Como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5:
Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 10°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	69,42 - 72,99	5	0,84	83,33
2	73,00 - 76,55	1	0,17	16,67
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

Como se observa en la Fig. 31, la frecuencia mayor es de 5 para la primera clase de intervalos.



Fig. 31. Histograma del largo para el ángulo de 10°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de estas medidas es de $(71,02 \pm 2,23)$ mm, con una dispersión entre los valores de 1,84.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 9,14 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad esta entre el 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 2,23$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 32, se observa que el ángulo promedio obtenido para cada medidor está por encima del ángulo real.

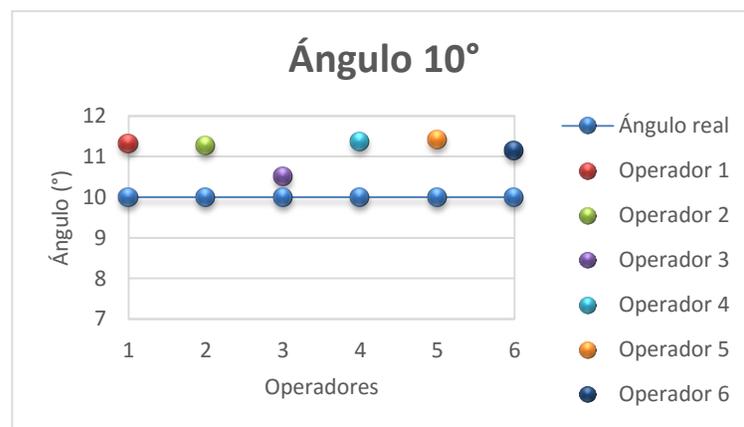


Fig. 32. Ángulos promedios de cada operador, para el método 1.
Fuente: propia.

El error relativo en promedio es del 12%, esto debido a que la relación obtenida es mayor a la esperada.

Método 2: Para este método de medición también se observa que el largo es mayor que el ancho, pero con una relación mayor a la esperada, esto debido a que solo se midió el agujero que dejó el proyectil al rebotar en la superficie. La relación en promedio es de 0,41 y como se mencionó anteriormente debe ser de 0,16 por lo cual el ángulo obtenido es en promedio de 24,49° siendo este mayor al ángulo esperado.

Ancho: El intervalo de [13,25 - 13,59] tuvo más frecuencia absoluta, representada con un fr de 0,75 que corresponde al 75% del total de las medidas. Como se observa en la Tabla 6.

Tabla 6:
Distribución de frecuencias del ancho para el ángulo de 10°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	%fr
1	13,25 - 13,59	3	0,75	75
2	13,59 - 13,92	1	0,25	25
	Total	4	1	100

Fuente: propia.

Como se observa en la Fig. 33, la frecuencia mayor es de 3 para la primera clase de intervalos.

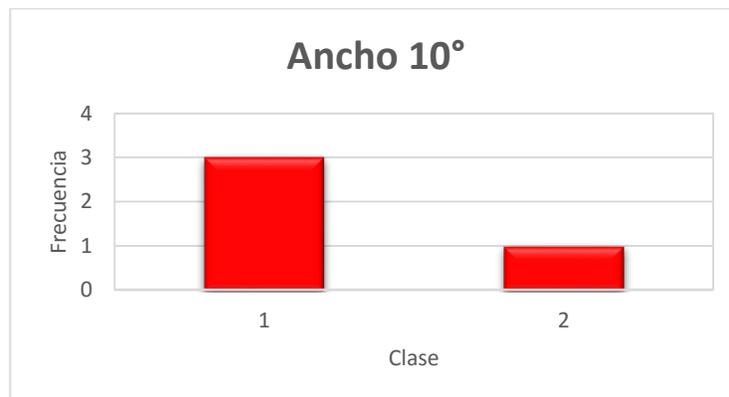


Fig. 33. Histograma del ancho para el ángulo de 10°, método 2.

Fuente: propia.

El promedio de estas medidas es de $(13,57 \pm 0,23)$ mm, con una dispersión entre los valores de 0,18.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,58 y la reproducibilidad de 0 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es menor al 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,23$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En el intervalo de [31,30 - 34,00] se presenta una frecuencia mayor, con un fr 0,75 que corresponde al 75% del total de las medidas. Como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7:
Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 10°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	%fr
1	31,30 - 34,00	3	0,75	75
2	34,01 - 36,70	1	0,25	25
	Total	4	1	100

Fuente: propia.

Como se observa en la Fig. 34, la frecuencia mayor es de 3 para la primera clase de intervalos.



Fig. 34. Histograma del largo para el ángulo de 10°, método 2.

Fuente: propia.

El promedio de estas medidas es de $(32,91 \pm 2,07)$ mm, con una dispersión entre los valores de 1,90.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,44 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es menor al 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 2,07 \text{ mm}$, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Como se puede observar en la Fig. 35, el ángulo promedio de incidencia obtenido por cada medidor es mayor al ángulo esperado.

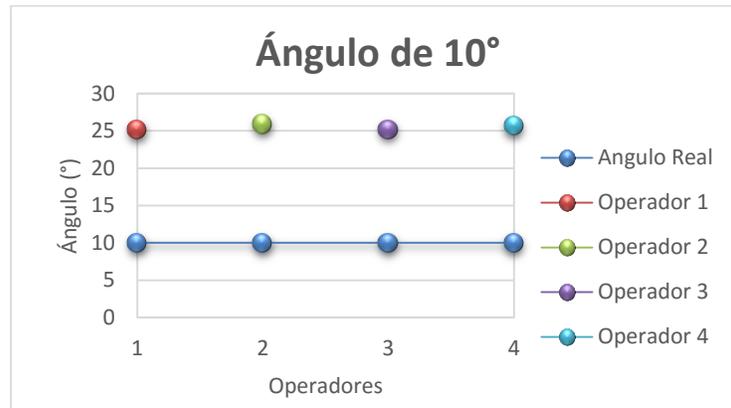


Fig. 35. Ángulos promedios de cada operador, para el método 2.
Fuente: propia.

El error relativo en promedio es del 145%, esto debido a que la relación obtenida es casi el triple de la esperada.

Para este ángulo se puede concluir que el método 1 da resultados más cercanos a los esperados, ya que para este orificio la huella de arrastre representa una cantidad significativa en la medida del largo.

- **Ángulo de 20°:** Este orificio presenta una morfología ovala, con una huella de arrastre menor a la anterior, los bordes del orificio tienen la misma dirección del proyectil, como se puede observar en la Fig. 36.



Fig. 36. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 20°.
Fuente: propia.

Método 1: Para este orificio se debe tener una relación de 0,33 entre el ancho y el largo, pero la relación en promedio que dio fue de 0,27, por lo cual el ángulo obtenido en promedio es de 15,67 menor al esperado.

Ancho: En la Tabla 8, se observa que intervalo [13,92 - 14,00] contiene una frecuencia mayor, con fr de 0,67 que representa el 66,67% del total de las medidas.

Tabla 8:

Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 20°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	13,82 - 13,91	2	0,33	33,33
2	13,92 - 14,00	4	0,67	66,67
	Total	6	1	100

Fuente: propia.

De la Fig. 37. Se observa que la segunda clase de los intervalos presenta la mayor frecuencia la cual es de 4.

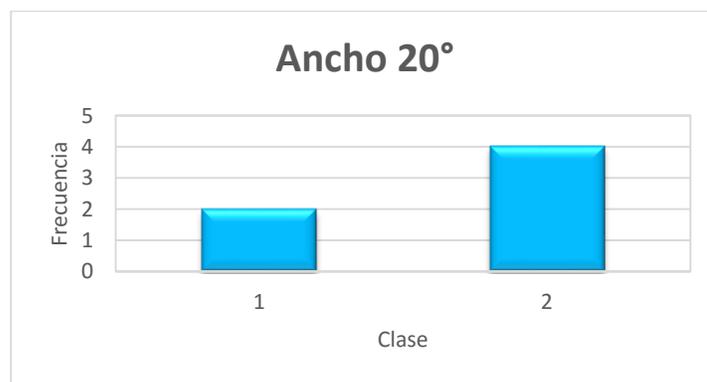


Fig. 37. Histograma del ancho para el ángulo de 20°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de medidas que presenta el ancho es de $(13,94 \pm 0,06)$ mm, con una desviación entre las medidas de 0,05.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,89 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad por entre el 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,06$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 9, se puede apreciar que el intervalo que tiene más frecuencia es el de $[50,97 - 52,37]$ con una frecuencia relativa de 0,83 que corresponde al 83,33% del total de las medidas.

Tabla 9:
Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 20° , método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	50,97 - 52,37	5	0,83	83,33
2	52,38 - 53,76	1	0,17	16,67
Total		6	1	100

Fuente: propia.

La Fig. 38, muestra una frecuencia de 5 para la primera clase de intervalos.

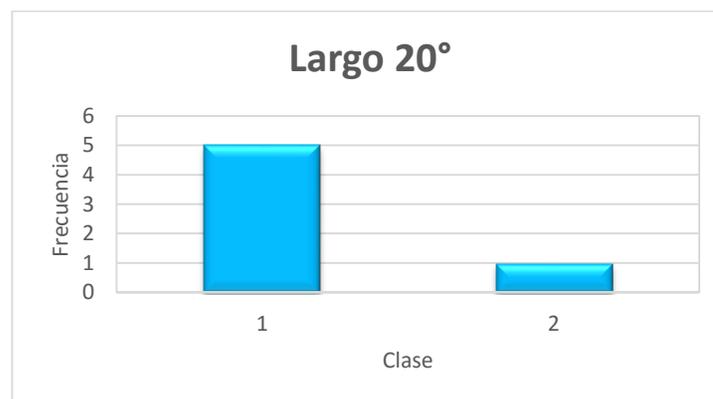


Fig. 38. Histograma del largo para el ángulo de 20° , método 1.

Fuente: propia.

El promedio para esta medida es de $(51,62 \pm 0,80)$ mm, con una dispersión de los valores de 1,72.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 5,83 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,80$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Como se puede observar en la Fig. 39, el ángulo promedio de incidencia para cada operador se encuentra por debajo del ángulo esperado.

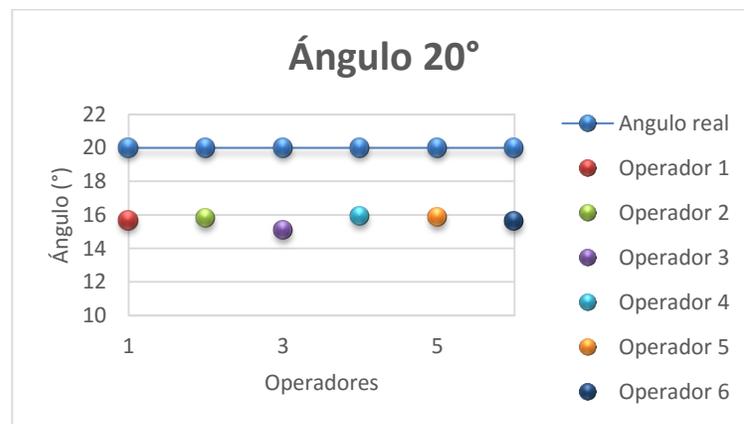


Fig. 39. Ángulos promedios de cada operador, para el método 1.
Fuente: propia.

El ángulo obtenido tiene un error relativo en promedio es del 22%, esto puede ser por que la relación es de 0,27 menor a la esperada.

Método 2: Con este método se halló que el promedio de la relación es de 0,36 mayor al que corresponde a este ángulo que es de 0,33 con un ángulo obtenido en promedio de 21,37° más cercano al deseado.

Ancho: Para esta medida el intervalo con mayor frecuencia es de [13,82 - 14,16] con un fr de 0,75 que representa el 75% del total de las medidas. Como se puede apreciar en la Tabla 10.

Tabla 10:

Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 20°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	13,82 - 14,16	3	0,75	75
2	14,17, 14,50	1	0,25	25
	Total	4	1	100

Fuente: Propia.

La Fig. 40. muestra que la frecuencia mayor es de 3 para la primera clase del intervalo.

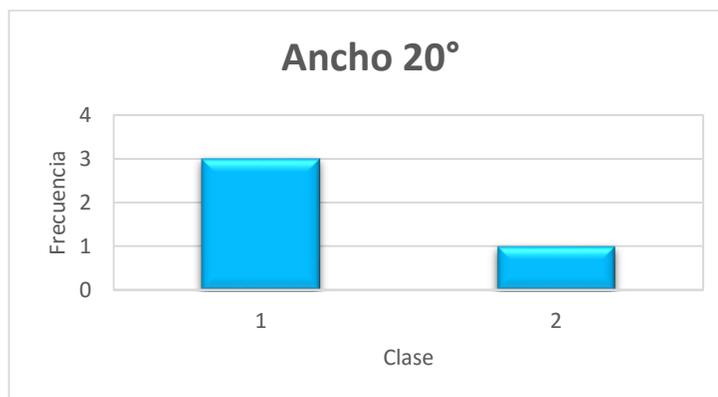


Fig. 40. Histograma del ancho para el ángulo de 20°, método 2.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(14,06 \pm 0,26)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,22.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 1,20 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,26$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 11 se ve que el intervalo con más frecuencia es de $[38,46 - 39,27]$ con un fr 0,75 que corresponde al 75% del total de las medidas.

Tabla 11:

Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 20°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	37,62 - 38,45	1	0,25	25
2	38,46 - 39,27	3	0,75	75
Total		4	1	100

Fuente: propia.

En la Fig. 41, se muestra que la frecuencia mayor es de 3 para el segundo clase del intervalo.

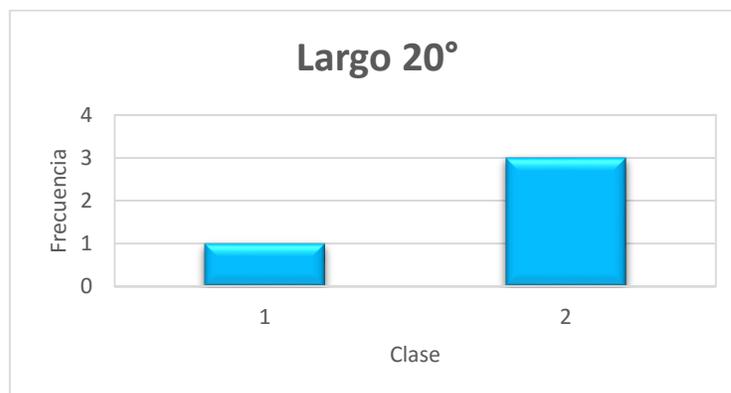


Fig. 41. Histograma del Largo para el ángulo de 20°, método 2.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(38,58 \pm 0,57)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,48.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 4,85 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,57$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 42 se observa que el ángulo en promedio obtenido por cada operador está por encima del deseado.



Fig. 42. Ángulos promedios de cada operador, para el método 2.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 7% esto puede ser que la relación para este método es más cercana a la esperada.

Para este ángulo de incidencia es más confiable el método 2 ya que los resultados obtenidos con este están más cercanos a los reales.

- **Ángulo de 30°:** La morfología de este orificio es ovalada como se esperaba, con un largo un poco más grande que el ancho pero el orificio no es tan grande como los anteriores, presenta huella de arrastre como se puede ver en la Fig. 43.

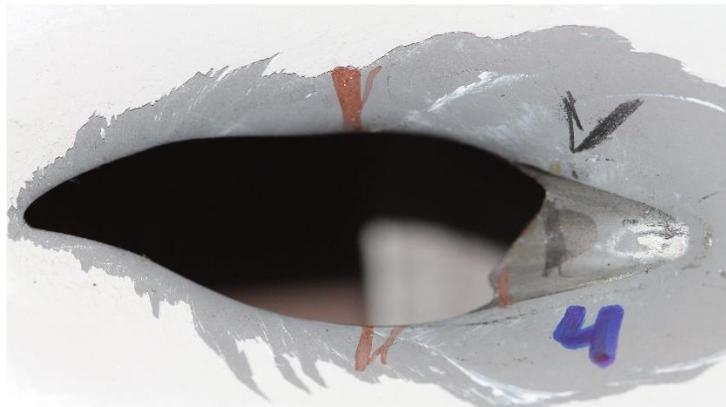


Fig. 43. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 30°.
Fuente: propia.

Método 1: La relación obtenida por este método fue de 0,35 por lo cual el ángulo obtenido es de 20,21° por debajo al deseado, esta relación es muy cercana a 0,5 que es la adecuada para el ángulo de 20° por esta razón el ángulo es aproximado a este valor.

La relación en promedio es de 0,35 por lo cual el ángulo obtenido es de 20,21 por debajo al deseado, esta relación es muy cercana a la del ángulo de 20° por esta razón el ángulo es aproximado a este valor.

Ancho: En la Tabla 12, se muestra que el intervalo con más frecuencia [13,64 - 13,90] con una frecuencia relativa de 0,83 que corresponde al %fr de 83,33% del total de los datos.

Tabla 12:
Distribución de frecuencias del ancho para ángulo 30°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	13,35 - 13,63	1	0,17	16,67
2	13,64 - 13,90	5	0,83	83,33
	Total	6	1	100

Fuente: propia.

En la Fig. 44, se puede observar que la frecuencia mayor es de 5 para la segunda clase de intervalos.

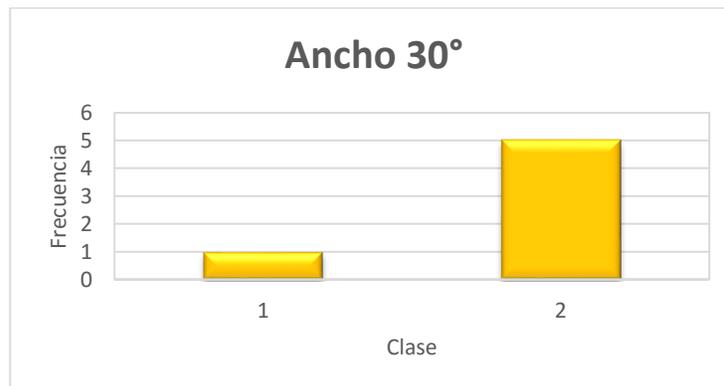


Fig. 44. Histograma del ancho para el ángulo de 30°, método 1.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(13,71 \pm 0,16)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,13.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,55 y la reproducibilidad de 0,09 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está entre 10% y el 30% de la repetibilidad, lo cual es parcialmente aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,16$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: La Tabla 13, muestra que el intervalo con más frecuencia es [39,02 - 40,18] con un fr de 0,83 y un % fr de 83,33%.

Tabla 13:

Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 30°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	39,02 - 40,18	5	0,83	83,33
2	40,19 - 41,34	1	0,17	16,67
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 45, se puede observar que la frecuencia mayor es de 5 en el primer intervalo.

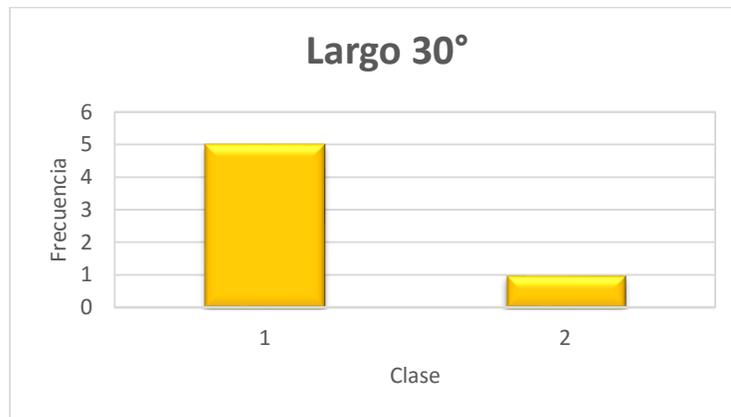


Fig. 45. Histograma del largo para el ángulo de 30°, método 1.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(39,68 \pm 0,73)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,66.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 1,89 y la reproducibilidad de 0,67, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad esta entre el 10% y el 30% de la repetibilidad, lo cual es parcialmente aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,73$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 46 se observa que el ángulo en promedio obtenido por cada operador está por debajo del deseado.

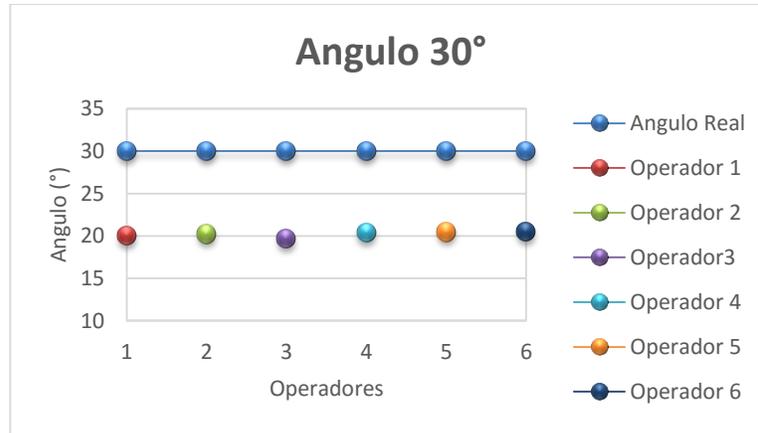


Fig. 46. Ángulos promedios de cada operador, para el método 1.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 33% esto puede ser por que le valor de la relación es menor al esperado.

Método 2: por este método la relación en promedio es de 0,43, más cercana a la esperada que es 0,5, por lo cual el ángulo obtenido en promedio es de 25,42°.

Ancho: El intervalo con más frecuencia es de [13,47 - 13,68], con un fr de 0,75 que corresponde al 75% de total de las medidas, como se puede ver en la Tabla 14.

Tabla 14:

Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 30°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	13,47 - 13,68	3	0,75	75
2	13,69 - 13,88	1	0,25	25
Total		4	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 47, se observa que la frecuencia mayor es de 3 para la primera clase de intervalos.

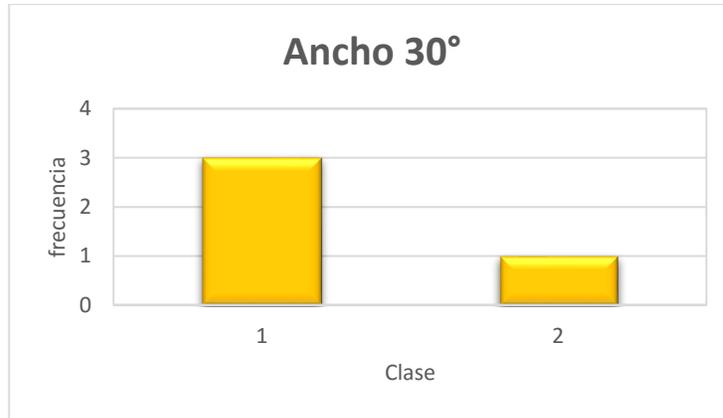


Fig. 47. Histograma del ancho para el ángulo de 30°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(13,63 \pm 0,16)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,15.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,61 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por debajo del 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,16$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: El intervalo con más frecuencia es de $[32,21 - 34,36]$, con una frecuencia relativa de 0,75 que corresponde al 75% del total de las medidas, como se puede ver en la Tabla 15.

Tabla 15:
Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 30°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	%fr
1	30,04 - 32,20	1	0,25	25
2	32,21 - 34,36	3	0,75	75
Total		4	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 48, se puede observar que la frecuencia de 3 es la mayor y se presenta en la segunda clase del intervalo.

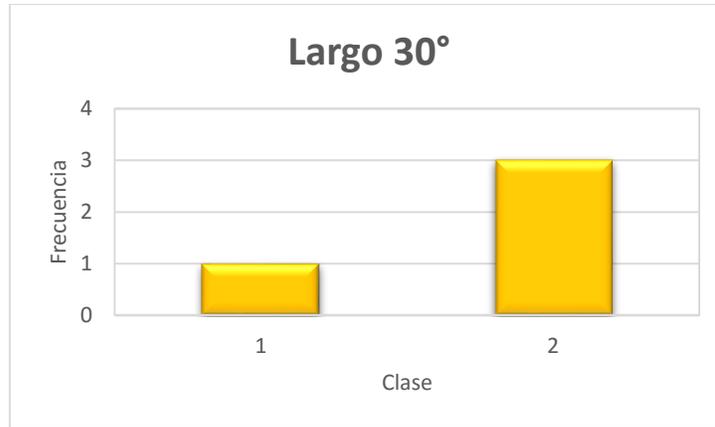


Fig. 48. Histograma del largo para el ángulo de 30°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(31,85 \pm 1,49)$ mm, con una dispersión entre los datos de 1,26.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 1,95 y la reproducibilidad de 0,40 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está entre el 10% y el 30% de la repetibilidad, lo cual es parcialmente aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 1,49$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 49 se observa que el ángulo en promedio obtenido por cada operador está por debajo del esperado.



Fig. 49. Ángulos promedios de cada operador, método 2.
Fuente: propia.

El error relativo en promedio es del 15%, esto debido a que la relación es un poco menor a la esperada.

Para este ángulo de incidencia es más confiable el método 2 ya que los resultados obtenidos son más cercanos a los esperados.

- **Ángulo de 40°:** La morfología que presenta este orificio es elíptica como se esperaba, con una huella de arrastre corta, muy similar al orificio anterior, como se puede ver en la Fig. 50.

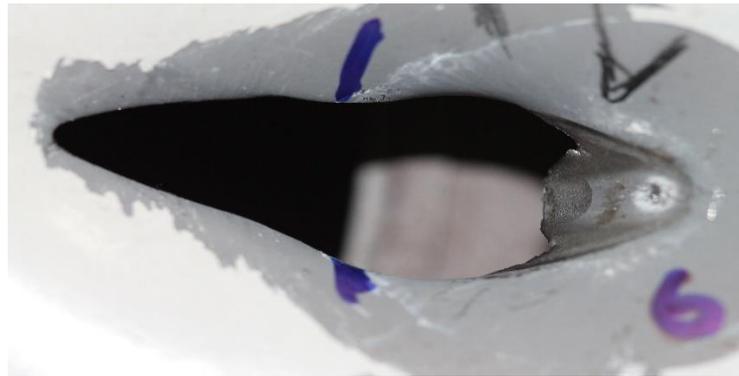


Fig. 50. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 40°.
Fuente: propia.

Método 1: La relación que debe haber entre el ancho y el largo es de 0,65 y la relación obtenida es menor a esta, por lo tanto el ángulo es de 20,65°.

Ancho: En la Tabla 16, se observa que el intervalo con mayor frecuencia es el de [10,16 – 11,21], con un fr de 0,67 el cual corresponde a una frecuencia relativa relativo de 66,67%.

Tabla 16:

Distribución de frecuencias del ancho papa ángulo de 40°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	10,16 - 11,21	4	0,67	66,67
2	11,22 - 12,25	2	0,33	33,33
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 51, se aprecia que la frecuencia mayor es de 4 para la primera clase de intervalos.

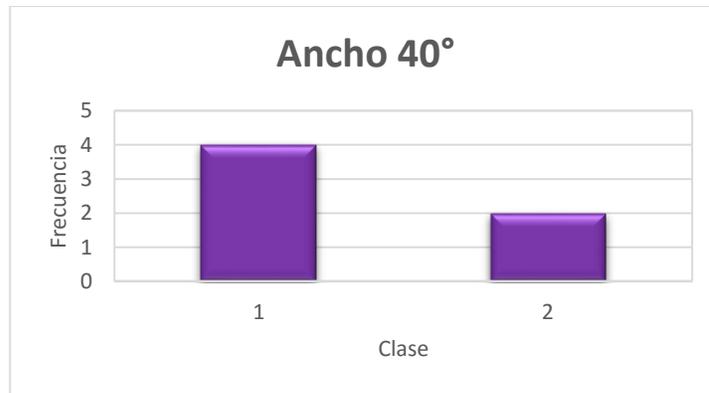


Fig. 51. Histograma del ancho para ángulo de 40°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(11,04 \pm 0,76)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,77.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,50 y la reproducibilidad de 0,92, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad esta entre es mayor al 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere cambios en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,76$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 17, se puede ver que el intervalo de $[29,87 - 31,83]$ presenta mayor frecuencia, con fr de 0,67 que corresponde al 66,67% del total de las medidas.

Tabla 17:
Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 40°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	29,87 - 31,83	4	0,67	66,67
2	31,84 - 33,79	2	0,33	33,33
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 52, se ve que la frecuencia mayor es igual a 4 en la primera clase de intervalos.

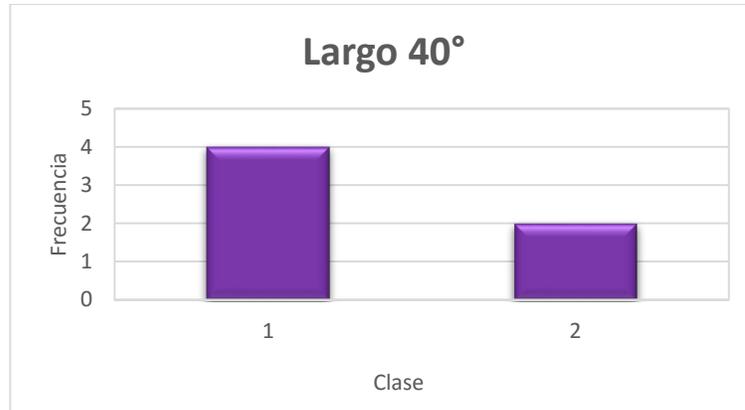


Fig. 52. Histograma del largo, para el ángulo de 40°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(31,28 \pm 1,27)$ mm, con una dispersión entre los datos de 1,28.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 2,39 y la reproducibilidad de 1,35 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es mayor al 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere cambios en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 1,27$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 53 se observa que el ángulo en promedio obtenido por cada operador está por debajo del deseado.

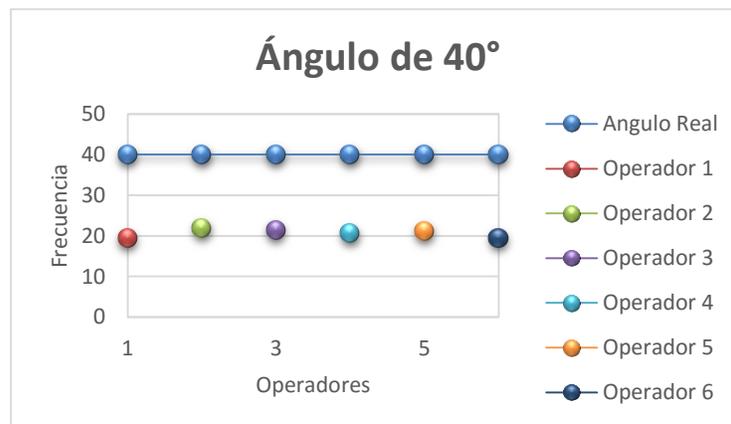


Fig. 53. Ángulos promedios de cada operador, método 1.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 48,38% esto puede ser que la relación para este método es menor a la esperada.

Método 2: La relación obtenida es menor a la esperada 0,65, por lo cual el ángulo promedio obtenido es de 25,47°.

Ancho: En la Tabla 18, se aprecia que los intervalos tienen la misma frecuencia y presentan un fr de 0,50 al cual corresponde al 50% de los datos.

Tabla 18:
Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 40°, método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	10,20 - 11,02	2	0,50	50
2	11,03 - 11,85	2	0,50	50
Total		6	1	100

Fuente: propia

Como se puede percibir en la Fig. 54, la frecuencia para ambos intervalos es de 2.

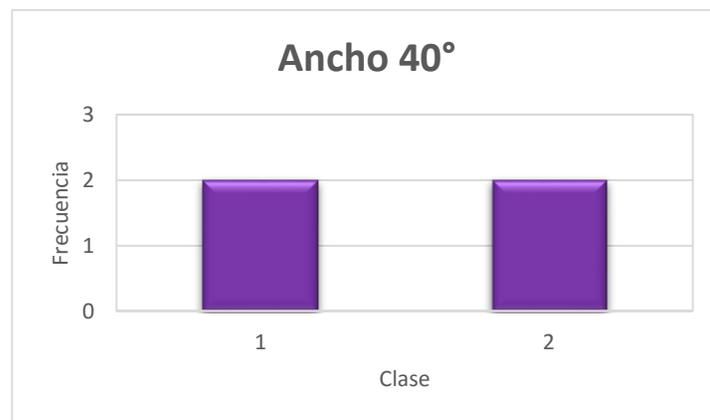


Fig. 54. Histograma del ancho para el ángulo 40°, método 2.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(10,99 \pm 0,83)$ mm, con una dispersión entre los datos de 1,71.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,51 y la reproducibilidad de 0,81 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por encima del 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere cambios en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,83$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 19, se observa que para los dos intervalos la frecuencia es la misma, por lo tanto el fr es de 0,50 el cual corresponde al 50% de los datos.

Tabla 19:

Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 40° , método 2.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	24,47 - 25,45	2	0,50	50
2	25,46 - 26,44	2	0,50	50
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 55, se puede evidenciar que la frecuencia para los intervalos es de 2.



Fig. 55. Histograma del largo para el ángulo de 40° , método 2.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(25,55 \pm 0,86)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,71.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 2,13 y la reproducibilidad de 0,53 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está entre el 10% y el 30% de la repetibilidad, lo cual es parcialmente aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,86$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Como se observa en la Fig. 56, los ángulos en promedio obtenidos por los operadores están por debajo al esperado.

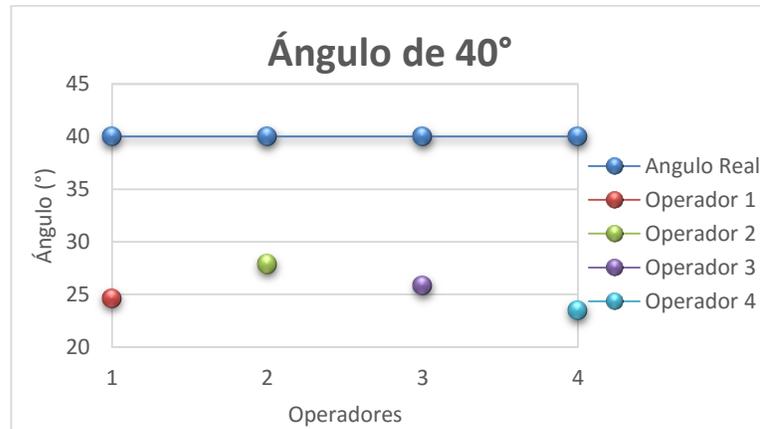


Fig. 56. Ángulos promedios de cada operador, método 2.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 36,32% esto puede ser que la relación para este método es menor a la esperada

Para este ángulo de incidencia, los dos métodos presentan resultados con errores altos comparados con los esperados.

- **Ángulo de 50°:** La morfología de este orificio es ovalada, pero con una leve tendencia a ser circular, dado que el ancho y el largo tienen una pequeña diferencia en su magnitud, presenta una pequeña huella de arrastre como se puede ver en la Fig. 57.

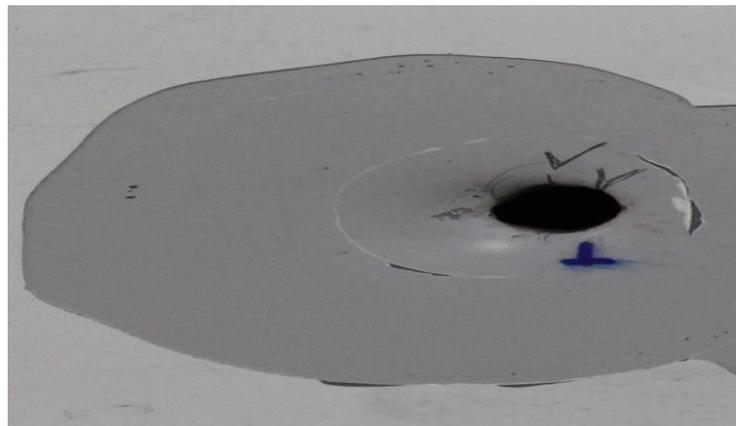


Fig. 57. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 50°.
Fuente: propia.

Método 1: Por este método, la relación obtenida es de 0,74 y la esperada es de 0,75, por esta razón el ángulo en promedio obtenido es de 47,55° cercano al de 50°.

Ancho: En la Tabla 20, el intervalo con mayor frecuencia es de [9,12 – 9,17] con un fr de 0,67 que corresponde al 66.67%

Tabla 20:

Distribución de frecuencias del ancho para el ángulo 50°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	9,06 - 9,11	2	0,33	33,33
2	9,12 - 9,17	4	0,67	66,67
	Total	6	1	100

Fuente: propia.

En la Fig. 58, la frecuencia mayor es de 4, que corresponde a la segunda clase del intervalo.

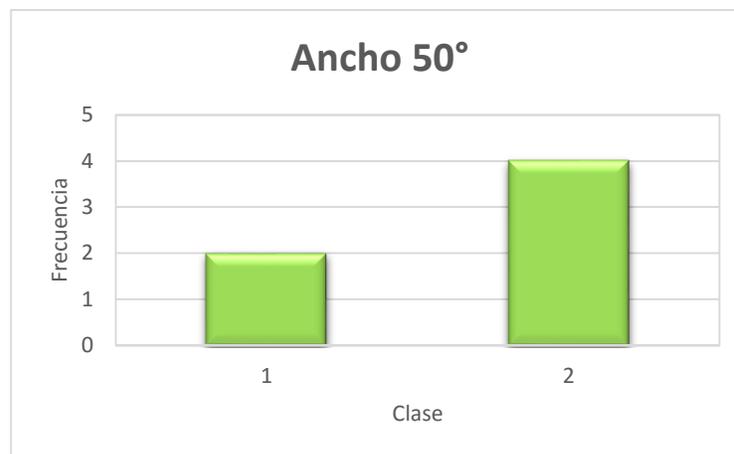


Fig. 58. Histograma del ancho para el ángulo de 50°, método 1.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(9,19 \pm 0,12)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,10.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,11 y la reproducibilidad de 0,18 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por encima del 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere un cambio en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,12$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 21, el intervalo con mayor frecuencia es de [12,16 – 13,08], con un fr de 0,67 que corresponde al 66,67% del total de las medidas.

Tabla 21:
Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 50°, método 1.

Clase	Intervalo	fa	fr	% fr
1	11,23 - 12,15	2	0,33	33,33
2	12,16 - 13,08	4	0,67	66,67
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 59, se muestra que la segunda clase de intervalos, tiene la mayor frecuencia igual a 4.

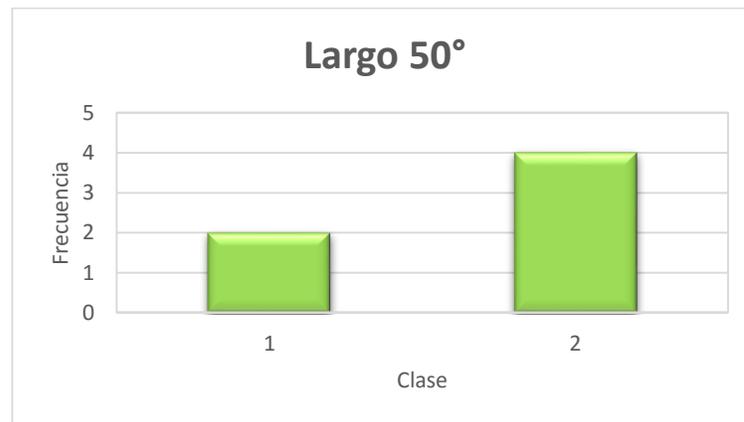


Fig. 59. Histograma del largo para el ángulo de 50°, método 1.

Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(12,55 \pm 0,80)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,71.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,66 y la reproducibilidad de 0,92 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es mayor al 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere un cambio en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,80$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 60, se observa que el ángulo promedio del operador 1, está por encima del ángulo esperado, el operador 4 tiene un promedio de ángulo casi igual al esperado y el resto de los promedios están por debajo del ángulo real.

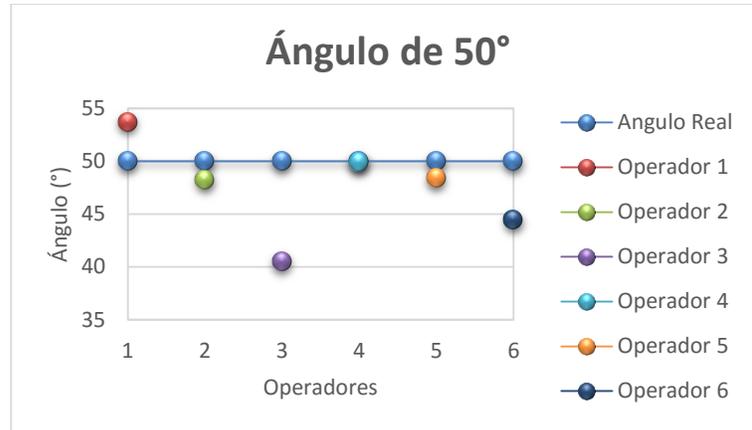


Fig. 60. Ángulos promedios de cada operador, método 1.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 7,42% puesto que la relación es cercana a la esperada, a pesar de que el estudio de r&R sugiere cambios en el sistema de medición.

Método 2: La relación obtenida es de 0,85 mayor a la esperada que es de 0,75, por lo tanto el ángulo es de 58,65°.

Ancho: En la Tabla 22, las frecuencias absolutas son iguales para ambos intervalos, con una frecuencia relativa de 0,50 que pertenece al 50% de los datos.

Tabla 22:

Distribución de frecuencias del ancho papa el ángulo de 50°, método 2.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	8,97 - 9,07	2	0,50	50
2	9,08 - 9,18	2	0,50	50
	Total	4	1	100

Fuente: Propia.

Las frecuencias en la Fig. 61, son iguales a 2 para ambas clases de intervalos.

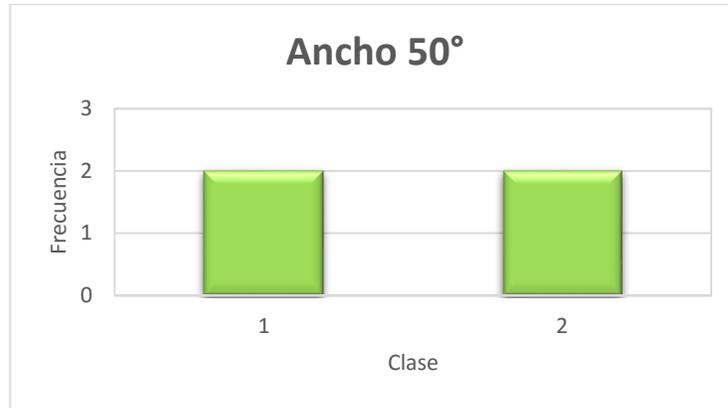


Fig. 61. Histograma del ancho para el ángulo de 50°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(9,07 \pm 0,09)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,06.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,11 y la reproducibilidad de 0,06, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es mayor al 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere un cambio en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,09$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 23, los intervalos presentan la misma frecuencia, al igual que el fr de 0,50 que corresponde al 50% de los datos.

Tabla 23:
Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 50°, método 2.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	10,51 - 10,63	2	0,50	50
2	10,64 - 10,76	2	0,50	50
Total		4	1	100

Fuente: Propia.

En la Fig. 62, se observa que para ambas clases de intervalos la frecuencia es igual a 2.



Fig. 62. Histograma del largo para el ángulo de 50°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(10,62 \pm 0,11)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,08.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,93 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es menor al 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,11$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 63, el promedio del ángulo de incidencia para cada operador está por encima del esperado.

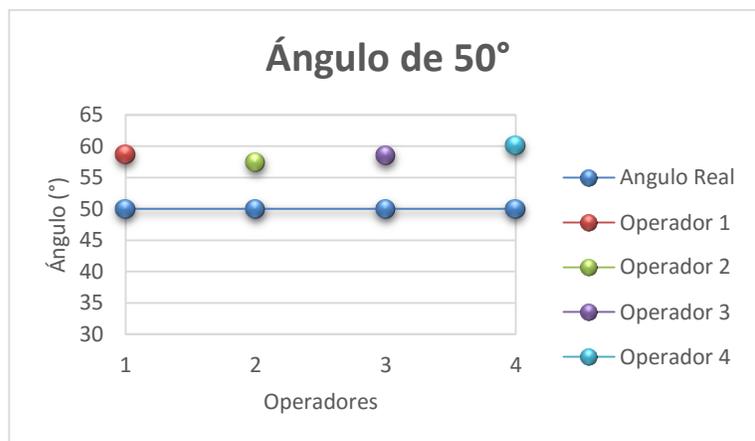


Fig. 63. Ángulos promedios de cada operador, método 2.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 24,80% debido que la relación es mayor a la esperada.

Para este ángulo de incidencia, se evidencia que los resultados del primer método son más certeros a pesar de que el estudio de r&R sugiere cambios en el sistema de medición.

- **Ángulo de 60°:** se realizaron cinco disparos, por seguridad ya que los proyectiles atravesaban el vehículo y llegaban cerca de la puerta de acceso del polígono, la forma del orificio es elíptica, pero con el largo y ancho similares lo que hace que se vea circular, presenta una huella de arrastre muy corta, como se puede ver en la Fig. 64.



Fig. 64. Morfología del O.E para un ángulo de incidencia de 60°.
Fuente: propia.

Método 1: Con este método se obtuvo una relación promedio de 0,79 menor a la esperada que es de 0,87 y un ángulo promedio de 52,86°.

Ancho: En la Tabla 24, el intervalo con mayor frecuencia es de [9,06 – 9,34] con un fr de 0,83 que corresponde al 83,33%

Tabla 24:

Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 60°, método 1.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	8,77 - 9,05	1	0,17	16,67
2	9,06 - 9,34	5	0,83	83,33
	Total	6	1	100

Fuente: propia.

En la Fig. 65, la segunda clase del intervalo, presenta una frecuencia mayor igual a 5.

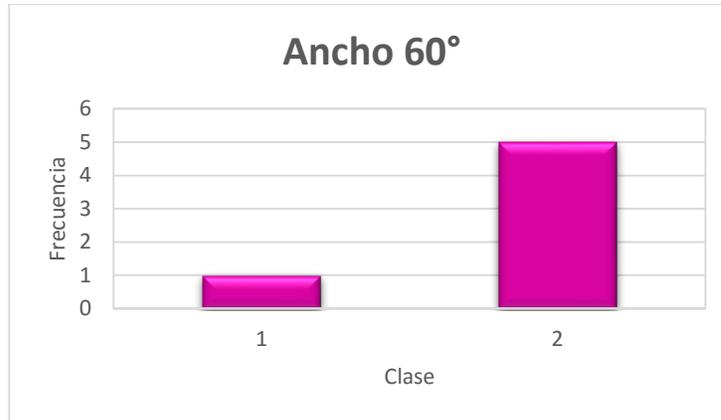


Fig. 65. Histograma del ancho para el ángulo de 60°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(9,12 \pm 1,92)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,13.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,11 y la reproducibilidad de 0,88 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad está por encima del 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere un cambio en el sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,16$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: En la Tabla 25, la frecuencia mayor corresponde al intervalo $[10,29 - 11,76]$, con un fr de 0,67 que representa el 66,67% del total de las medidas.

Tabla 25:
Distribución de frecuencias del largo para ángulo de 60°, método 1.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	10,29 -11,76	4	0,67	66,67
2	11,77 - 13,24	2	0,33	33,33
Total		6	1	100

Fuente: Propia.

La primera clase del intervalo tiene la frecuencia mayor que equivale a 4 como se puede ver en la Fig. 66.

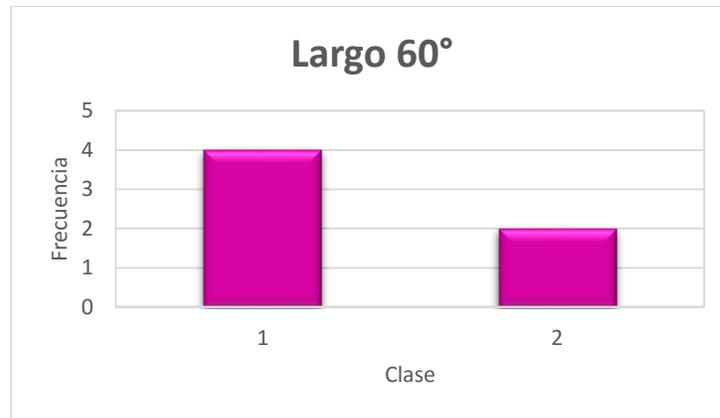


Fig. 66. Histograma del largo para el ángulo de 60°, método 1.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(11,53 \pm 1,61)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,65.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,66 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es menor al 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,79$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Los ángulos promedios dieron menor al real como se indica en la Fig. 67.

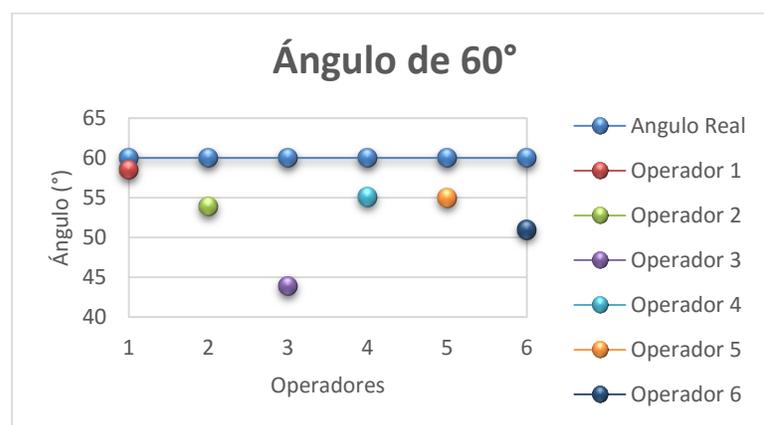


Fig. 67. Ángulos promedios de cada operador, método 1.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 11,93% por que la relación es menor a la que corresponde para este orificio.

Método 2: en este método se obtiene una relación promedio de 0,91 mayor a la esperada que es de 0,87 por lo cual el ángulo es de 66,02°.

Ancho: para esta variable se da una mayor frecuencia en el intervalo [8,77 – 9,14] la cual corresponde a un fr de 0,75 y %fr del 75% del total de los datos, como se ve en la Tabla 26.

Tabla 26:
Distribución de frecuencias del ancho para ángulo de 60°, método 2.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	8,39 - 8,76	1	0,25	25
2	8,77 - 9,14	3	0,75	75
Total		4	1	100

Fuente: Propia.

De la Fig. 68, se observa que la frecuencia mayor se da en la segunda clase de intervalos con un valor de 3.

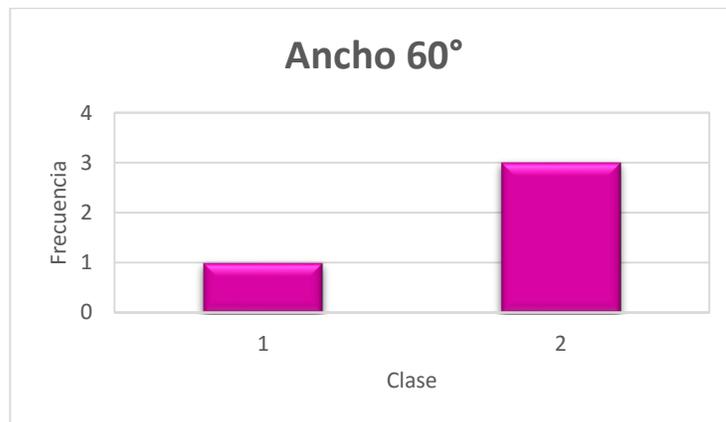


Fig. 68. Histograma del ancho para el ángulo de 60°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(8,78 \pm 0,30)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,20.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,28 y la reproducibilidad de 0,27 al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es mayor al 30% de la repetibilidad, lo cual sugiere cambios al sistema de medición.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,30$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

Largo: la frecuencia absoluta mayor está dentro del intervalo [9,35 – 9,74] como se muestra en la Tabla 27, corresponde a una frecuencia relativa de 0,75 es decir el 75% de los datos.

Tabla 27:
Distribución de frecuencias del largo para el ángulo de 60°, método 2.

clase	intervalo	fa	fr	% fr
1	9,35 - 9,74	3	0,75	75
2	9,75 - 10,14	1	0,25	25
Total		4	1	100

Fuente: Propia.

La Fig. 69, indica que la frecuencia mayor es de 3 en la primera clase del intervalo.

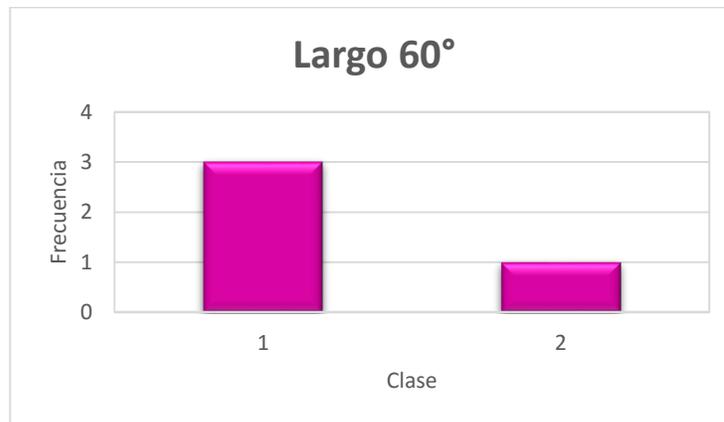


Fig. 69. Histograma del largo para el ángulo de 60°, método 2.
Fuente: propia.

El promedio de esta medida es de $(9,66 \pm 0,33)$ mm, con una dispersión entre los datos de 0,24.

El estudio de r&R estima una repetibilidad de 0,86 y la reproducibilidad de 0, al comparar estas variables se ve que la reproducibilidad es menor al 10% de la repetibilidad, lo cual es aceptable.

La incertidumbre de medición es de $U = \pm 0,33$ mm, la cual fue calculada con un factor de cobertura $k=2$, que representa un factor de confianza del 95%.

En la Fig. 70, evidencia que los dos primeros promedios están muy cerca al ángulo esperado, mientras que los otros dos están por encima de este.

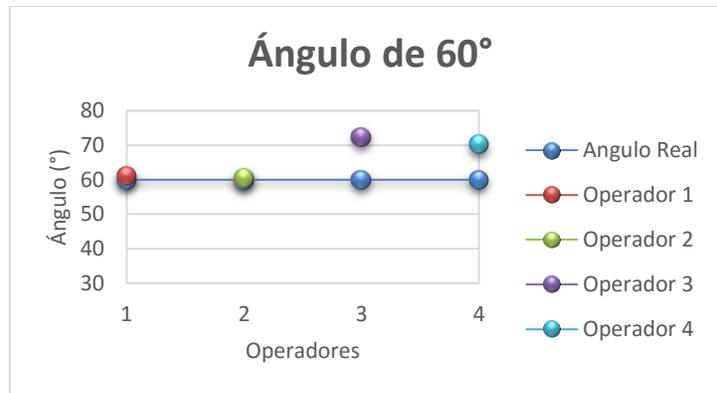


Fig. 70. Ángulos promedios de cada operador, método 2.
Fuente: propia.

El promedio del error relativo es de 10,03% puesto que la relación está por encima de la adecuada para este orificio.

Para este ángulo de incidencia, el segundo método estuvo más cerca de los resultados idóneos, debido a que la relación se aproxima más a 0,87.

Después de hacer el análisis de las medidas y de estudiar cada orificio de entrada, se hace un diagrama de flujo el cual puede orientar que método de medición se debe emplear según la morfología del orificio.

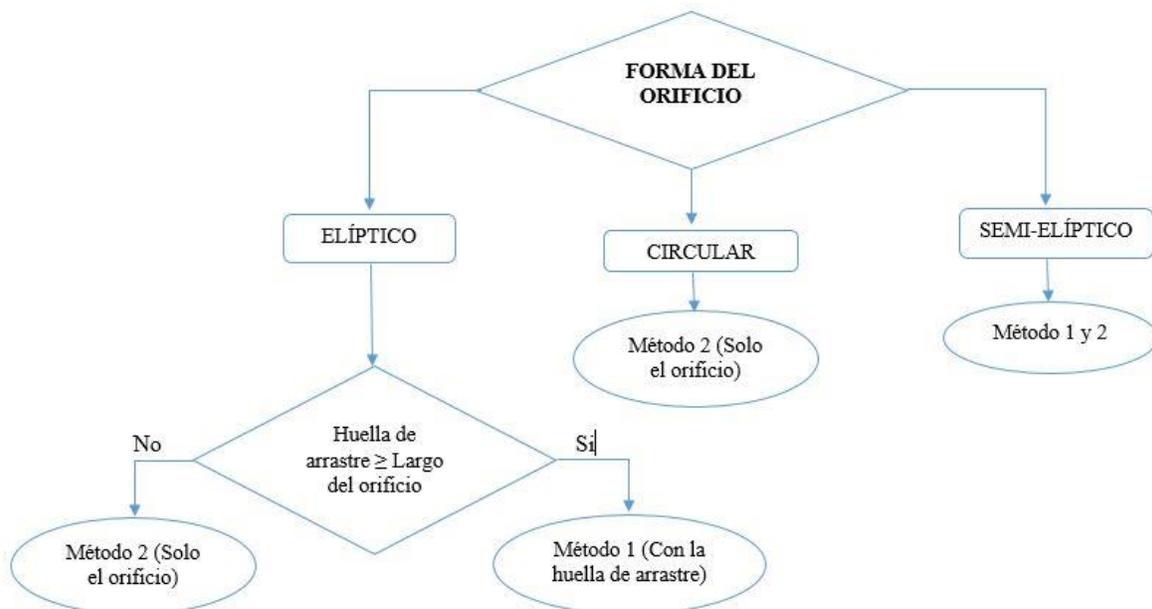


Fig. 71. Orientación del método de medición.
Fuente: propia.

5.2. ÁNGULO DE DISPARO

Los siguientes ángulos se obtuvieron usando la ecuación (3):

- **Ángulo de 0°:**

El ángulo de incidencia obtenido es de $72,92^\circ$ por lo tanto el ángulo de disparo es de $17,08^\circ$ con un error de 17,08%

- **Ángulo de 80°:**

Por el método 1 se obtuvo un ángulo de incidencia de $11,17^\circ$ al usar la ecuación (3) se obtuvo un ángulo de disparo de $78,83^\circ$ y su error fue de 1,46% por el método 2 el ángulo de incidencia dio de $24,49^\circ$ para lo cual da un ángulo de disparo da de $65,51^\circ$ con 18,11% de error.

- **Ángulo de 70°:**

El ángulo de incidencia obtenido por el método 1 fue de $15,67^\circ$ por lo tanto el valor del ángulo de disparo es de $74,33^\circ$ con un error de 6,19%, por el método 2 el ángulo de incidencia fue de $21,37^\circ$ por lo cual el ángulo de disparo es de $68,63^\circ$ que corresponde a un error de 1,96%

- **Ángulo de 60°:**

Para el método 1 el ángulo de incidencia fue de $20,21^\circ$ por lo cual el ángulo de disparo es de $69,79^\circ$ con un error 16,32%, en el método 2 el ángulo de incidencia fue de $25,42^\circ$ por consiguiente el ángulo de disparo es de $64,58^\circ$ con un error 7,63%.

- **Ángulo de 50°:**

Con el primer método se obtuvo un ángulo de incidencia de $20,65^\circ$ lo cual hace que el ángulo de disparo sea de $69,35^\circ$ y presente un error de 38,70% el segundo método da un ángulo de incidencia de $25,47^\circ$ por ende el ángulo de disparo es de $64,53^\circ$ con 29,06% de error.

- **Ángulo de 40:**

El ángulo de incidencia obtenido con el método 1 es de $47,55^\circ$ es por eso que el ángulo de disparo es de $42,45^\circ$ con un error de 6,13% el método 2 entrega un ángulo de incidencia de $58,65^\circ$,por esto el ángulo de disparo es de $31,35^\circ$ y el error es de 21,63%

- **Ángulo de 30:**

El método 1 entrega un ángulo de incidencia de $52,86^\circ$ de manera que el ángulo de disparo es de $37,14^\circ$ de modo que el error es de 23,80%. El método 2 proporciona un ángulo de incidencia de $66,02^\circ$ así el ángulo de disparo es de $23,98$ el cual presenta un error de 20,07%.

5.3. TABLAS DE RESULTADOS

Los resultados finales de este análisis se presentan en las siguientes Tablas:

Método 1:

Tabla 28:

Promedios de medidas para los ángulos de incidencia del método 1.

Ancho (mm) \pm 0,003	Largo (mm) \pm 0,003	Relación	Ángulo real ($^\circ$)	Ángulo Obtenido ($^\circ$)	Error Relativo (%)
13,75	71,02	0,19	10,00	11,17	11,70
13,94	51,62	0,27	20,00	15,67	21,65
13,71	39,68	0,35	30,00	20,21	32,62
11,04	31,28	0,35	40,00	20,65	48,38
9,19	12,55	0,74	50,00	47,55	7,42
9,12	11,53	0,79	60,00	52,86	11,90

Fuente: propia.

Tabla 29:

Ángulos de disparo obtenidos con el método 1.

Ángulo real ($^\circ$)	Ángulo Obtenido ($^\circ$)	Error Relativo (%)
0,00	17,08	17,08
80,00	78,83	1,46
70,00	74,33	6,19
60,00	69,79	16,32
50,00	69,35	38,70
40,00	42,45	6,13
30,00	37,14	23,80

Fuente: propia.

Método 2:

Tabla 30:

Promedios de medidas para los ángulos de incidencia del método 2.

Ancho (mm) ± 0,003	Largo (mm) ± 0,003	Relación	Ángulo real (°)	Ángulo Obtenido (°)	Error Relativo (%)
9,31	9,73	0,96	90,00	72,92	18,98
13,57	32,91	0,41	10,00	24,49	144,87
14,06	38,58	0,36	20,00	21,37	6,86
13,63	31,85	0,43	30,00	25,42	21,45
10,99	25,55	0,43	40,00	25,47	36,31
9,07	10,62	0,85	50,00	58,65	17,29
8,78	9,66	0,91	60,00	66,02	10,03

Fuente: propia.

Tabla 31

Ángulos de disparo obtenidos con el método 2.

Ángulo real (°)	Ángulo Obtenido (°)	Error Relativo (%)
80,00	65,51	18,11
70,00	68,63	1,96
60,00	64,58	7,63
50,00	64,53	29,06
40,00	31,35	21,63
30,00	23,98	20,07

Fuente: propia.

5.4. COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN CADA MÉTODO.

Para realizar la comparación de los ángulos de disparo, el grupo de balística de la Fiscalía General de la Nación sede Pereira, nos entregan los resultados que obtuvieron empleando el método de la aplicación de la ley de cosenos el cual fue explicado en el ítem 2.2. Para este caso 3 operadores tomaron las medidas de los lados del triángulo (a, b y c), cinco veces por cada orificio de entrada encontrado en la lámina. Por cada ángulo de disparo encontraron 10 orificios, estos ángulos variaban de 70° a 30°, luego de tener las medidas del triángulo, hallaron el ángulo de disparo (B) usando la ecuación (2), de cada orificio obtuvieron un promedio de ángulo, luego sacaron una media por cada operador y finalmente lograron un valor general por cada ángulo de disparo, los cuales fueron almacenados en la Tabla 32.

Tabla 32:

Ángulos de disparo obtenidos con el método de ley de cosenos.

Ángulo real (°)	Ángulo promedio (°)	Error Relativo (%)
70,00	72,97	4,07
60,00	61,67	2,71
50,00	51,33	2,59
40,00	39,79	0,53
30,00	30,28	0,92

Fuente: Propia

Por último se relacionan de los ángulos obtenidos por el método trigonométrico (método 1 y método 2) y el método de aplicación de la ley de cosenos:

Ángulo 70°: Por el método del CTI se obtuvo un valor para el ángulo de disparo de 72,97°, por el primer método en la lámina un valor de 74,33° y por el método dos 68,63°.

Ángulo 60°: Para el método aplicado por el CTI el resultado del ángulo de disparo es de 61,67°, el método uno un valor de 69,79° y el segundo método 64,58°.

Ángulo 50°: El ángulo de disparo para el método aplicado por parte del CTI es de 51,33°, con el primer método en la lámina es de 69,35° y con el segundo medido se obtuvo un valor de 64,53°.

Ángulo 40°: Con el método usado por el CTI el ángulo de disparo es de 39,79°, con el primer método sobre la lámina es de 42,45° y con el segundo 31,35°.

Ángulo 30°: Para el método usado por el CTI. El ángulo de disparo es de 30,28°, con el método uno en el vehículo es de 37,14° y el método dos 23,98°.

Los ángulos anteriormente comparados se almacenaron en la Tabla 33, donde están separados por cada método de obtención:

Tabla 33:

Comparación de los ángulos obtenidos por cada método.

Real	Ángulo (°)		
	Método 1	Método 2	Método CTI.
70	74,33	68,63	72,97
60	69,79	64,58	61,67
50	69,35	64,53	51,33
40	42,45	31,35	39,79

30	37,14	23,98	30,28
----	-------	-------	-------

Fuente: Propia

Como se pudo observar los ángulos obtenidos por la ley de cosenos son más cercanos a los ángulos esperados.

CÁPITULO 6.

CONCLUSIONES, APORTES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- Se establecieron dos métodos de medición para adquirir los datos del ancho y largo de los orificios, el primero consiste en medir desde la huella de arrastre hasta la parte final del orificio y el segundo en medir solo el diámetro del hueco u agujero que produce el proyectil en la lámina, de ambas formas se logró adquirir los datos y aunque la huella de arrastre ofrece información importante en cuanto a la proximidad de las medidas al valor real, ninguno de los dos métodos dio resultados óptimos. Lo anterior porque se debe tener en cuenta que la superficie metálica del vehículo, así parezca tener partes planas, tiene curvaturas producto del diseño con fines aerodinámicos, las cuales impiden tener unas buenas medidas del orificio para obtener el ángulo.
- Se aplicó la relación trigonométrica del artículo de la revista AFTE Journal, usando las medidas tomadas de los orificios de entrada impactados sobre la superficie del vehículo para calcular el ángulo de incidencia y por ende el de disparo, a partir de estos resultados y del desarrollo del trabajo, se infiere que los valores obtenidos para ambos ángulos son alejados de los reales. Además se observó que las características del orificio de entrada pueden indicar la dirección del disparo.
- Se compararon los resultados de los ángulos de disparo del desarrollo de la investigación con los obtenidos por parte del grupo de balística del CTI aplicando el método de la ley de cosenos, y se observó que los ángulos de la investigación presentan un error mayor, mientras que el método empleado por este grupo para la materialización de trayectorias, da resultados más próximos a los esperados debido a que pasan la varilla por los orificios de entrada y salida, y con esto garantizan que es la única trayectoria que hace el proyectil.

6.2. APORTES

- En el desarrollo del presente trabajo se observó que la balística forense es un campo interdisciplinario inexplorado, donde surgen múltiples condiciones que se pueden variar y

controlar, para realizar investigación de tipo científico, generar nuevos conocimientos y validar métodos usados por la comunidad de peritos, además se deja un trabajo que abre caminos para la experimentación posterior, en la búsqueda de soluciones a problemas prácticos.

- Cuando en el lugar de los hechos exista un vehículo impactado por proyectiles disparados por armas de fuego, el investigador debe tener en cuenta que si el orificio tiene bordes invertidos regulares y es perfectamente circular, es un signo inequívoco que se trata de un orificio de entrada que se produjo de manera perpendicular a la superficie. Así mismo, si la forma del orificio de entrada es elíptico u ovalada (horizontal), se debe tener en cuenta que el proyectil impactó de forma horizontal la superficie y que la dirección del disparo está determinada por la presencia y sentido de la “huella de arrastre”, es decir si dicha huella se encuentra al lado derecho del orificio (visto de frente) la dirección del disparo irá de derecha a izquierda y viceversa. Si halla un orificio en forma de “gota”, con la punta hacia abajo y la curva en la parte de arriba, indica que el disparo se hizo de forma vertical, además si la “huella de arrastre” está en la curva del orificio indica que el disparo se efectuó de arriba hacia abajo, así mismo si la gota es muy pronunciada orienta la cercanía del tirador con relación a la superficie.
- Si el orificio de entrada presenta una huella de arrastre mayor al hueco de impacto, se debe tener en cuenta que se puede tratar de un rebote del proyectil sin que este haya atravesado la superficie.

6.3. RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

- Teniendo en cuenta que el soporte para armas de fuego usado en el presente trabajo solo tiene movimiento vertical, se propone mejorarlo incluyendo el desplazamiento horizontal ya que facilitaría el montaje para obtener ángulos de disparo más precisos.
- Tener especial cuidado y atención con la curvatura que presente la superficie que se va a impactar, puesto que en esta investigación se encontró que esta impide que el arma y la superficie de impacto estén totalmente perpendiculares, como a simple vista se consideró, ya que en los cálculos, se evidencia que el ángulo que forman ambas no es un ángulo recto y esto provoca un error considerable. Por tanto, se debe buscar otra relación o ecuación

matemática que considere la curvatura de la superficie, para realizar el montaje previo a cada ángulo de disparo.

- Considerar que las características de la morfología del orificio de entrada, se ven afectadas por la dureza, la resistencia, y el espesor del material, según la superficie que se desee impactar y por el proyectil, según su velocidad, calibre y forma. Este orificio también se afecta por la distancia y ángulo al cual se efectuó el disparo. Por lo que trabajos futuros no solamente deben considerar estos aspectos sino que también verificar que el diámetro del proyectil no afecta considerablemente la exactitud del método, como se menciona en el artículo de la revista.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. M.A. Morena, Axiomas de geometría básica [online], 2014 Disponible en: <http://matematicasmodernas.com/axiomas-de-geometria-basica/>
- [2]. D. Barr, “Modification to the Common Trigonometric Method of Bullet Impact Angle Determination” *AFTE Journal*, vol. 33, n. 2, pp. 116- 121, 2001
- [3]. A. Castro, E. Espejo and L. Martínez, “Estudio de los tipos de Cráteres obtenidos en el impacto de proyectiles 5,56 SS1 09, sobre blancos de acero AISI-SAE 1045” [online], *Revista de Metalurgia*, n.36, Febrero 2000. Disponible en: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/553/562>
- [4]. C.R. Guevara, Determinación de la posición de tirador a través del ángulo de incidencia en disparos efectuados a superficies metálicas [online], Chile: biblioteca digital de la universidad del Aconcagua, 2010, Disponible en: http://bibliotecadigital.uda.edu.ar/objetos_digitales/282/tesis-601- determinacion.pdf
- [5]. J. Davidsaver, “Bullet holes in plastic-composite material” [online], Crime Scene Investigator Network Newsletter, Estados Unidos, Lincoln, 2014. Disponible en: <http://www.crime-scene-investigator.net/BulletHolesPlastic.html>
- [6]. Peritos balísticos Laboratorio de criminalística, Características de los disparos sobre diferentes barreras [online], Managua, Nicaragua, Laboratorio de criminalística. Manual de balística Forense, p. 60, 2013, Disponible en: https://www.academia.edu/7285722/Manual_balistica
- [7]. C. Peña, Manejo de las heridas por proyectil disparado por arma de fuego en la sección de patología forense del departamento medicina legal del Poder Judicial [online], Costa Rica, Medicina Legal Costa Rica, vol. 30, n. 2, 2013, Disponible en: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152013000200013
- [8]. C.R. Guevara, Conocer el comportamiento de la trayectoria consecuente de un proyectil calibre 9mm después de atravesar una lámina de acero suave [online], España: Universidad autónoma de Barcelona, pp. 22-24, 2013, Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0006786629f74002773d4>
- [9]. Leica Disto D3A BT [online], INSTOP, Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.leica-disto.com//D3/disto_d3a_BT.php
- [10]. Calibrador Digimatic ABSOLUTE [online], Mitutoyo Catálogo No. ES2016, Naucalpan, México, pp. 170, Disponible en: http://www.mitutoyo.com.mx/Catalogo%20Digital/catalogo_general_es2106/catalogo_2016_mitutoyo.pdf

- [11]. Manual usuario Renault 4, Renault España, pp55,1991, Disponible en:
<http://www.patroleitor.com/2011/02/manual-usuario-renault-4-tl-gtl.html>
- [12]. INDUMIL, Cartucho calibre 9mm, Munición de defensa personal en diferentes calibres para revolver y pistola, Bogotá, Colombia.
- [13]. PRO 360 Owner's Manual [online], Disponible en:
<http://smarttooltech.com/content/uploads/2015/09/Pro360-Manual.pdf>
- [14]. Metas y metrólogos asociados, la guía metas, Aplicación metrológica de los estudios r&R (repetibilidad y reproducibilidad) [online], México, pp. 3-4, 2003, Disponible en:
<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-11-r-R.pdf>
- [15]. Comité conjunto de guías en metrología (JCGM), evaluación de datos de medición, guía para la expresión de la incertidumbre de medida[online], Centro español de metrología, 2008, Disponible en: <http://www.cem.es/sites/default/files/gum20digital1202010.pdf>
- [16]. Universo Formulas, Triángulo [online], Disponible en:
<http://www.universoformulas.com/matematicas/geometria/triangulo>
- [17]. M. Moranga, El rebote del proyectil en la escena de los hechos [online], España, pp. 3, Disponible en: <https://peritobalistico.files.wordpress.com/2015/07/el-rebote-del-proyectil-en-la-escena-de-los-hechos.pdf>
- [18]. M. Moranga, Determinar el origen de un disparo por estudio de las heridas, España, pp. 3 Disponible en: <https://peritobalistico.files.wordpress.com/2015/07/determinar-el-origen-de-un-disparo-por-el-estudio-de-las-heridas.pdf>

ANEXO 1. Análisis de los datos del orificio de entrada, aplicando el Método 1.

ANEXO 2. Análisis de los datos del orificio de entrada, aplicando el Método 2.

ANEXO 3. Análisis de los datos del orificio de entrada, en lámina de Drywall.

ANEXO 4. Análisis de datos del método de aplicación de la ley de cosenos (CTI).

ANEXO 5. Artículo de la revista AFTE Journal (Association of Firearms and Tool Marks Examiners) Volumen 33, number 2.

Volume 33, Number 2

AFTE Journal – Spring 2001

116

Modification to the Common Trigonometric Method of Bullet Impact Angle Determination

By: Darryl Barr, Royal Canadian Mounted Police Forensic Laboratory, Winnipeg, Manitoba, Canada.

Key Words: Angle Determination, Bullet Holes, Bullet Impact Angle, Ellipse, Horizontal Angle, Trajectory, Trigonometric, Trigonometry.

ABSTRACT

This paper begins with a discussion of the theory and current methodology behind the trigonometric method of bullet impact angle determination. It then explains why the current methodology is unsuitable for Areal@ bullet holes. A modification to the method is then proposed, which is based upon theory and tested by experimentation. The purpose of this modification is to develop a methodology which is definable and useful for Arealistic@ bullet holes. As a result of tests conducted using the modified trigonometric method of bullet impact angle determination, previously unknown error rates and limitations for the trigonometric method were also determined. The modified method was determined to be useful for bullet holes in 2 inch drywall resulting from shots fired at horizontal angles of between 5 and 60 degrees with error rates no greater than +/- 5 to +/- 10 degrees, depending upon the angle of impact. The useful range accounts for approximately 2/3 of all possible impact angles.

Introduction

Presently there are several methods of angle determination used during bullet trajectory analysis examinations. The trigonometric method of angle determination is commonly used to determine the horizontal angle (or bearing) of impact of a projectile from a single, two dimensional bullet defect. It is a method which attempts to fill the gaps left by the restrictions of the more common probing method since target thickness is irrelevant and a second bullet defect is not required. This method is also non destructive to the evidence.

The methodology relies on basic trigonometry and is theoretically valid, however, it also assumes that one is dealing with an ideal elliptically shaped bullet hole. It is with this assumption that a problem with the methodology exists, since Areal@ bullet holes are seldom ideally elliptical in shape. Because this method has not been tested and verified on Areal@ bullet holes, the problem with the methodology becomes apparent to anyone performing this examination on a Areal@ bullet hole, in that some guesswork is involved in attempting to determine one of the critical measurements required to calculate the impact angle. The guesswork involved in this method must be rectified not only for the sake of accuracy, but for the sake of repeatability. Any valid method must be clearly defined so that it may be repeated by another qualified person.

Current Methodology

The width, or minor axis, and the length, or major axis, of a bullet hole are measured. The most commonly used method is to measure the actual bullet hole with calipers. These two measurement are then used in the basic

trigonometric function below to determine the horizontal angle of impact. The results are solely dependant upon the accuracy of the two measurements.

$$\text{Angle} = \sin^{-1}(\text{width/length})$$

Theory Behind the Current Methodology

The ideal bullet hole, resulting from an angled shot on a flat plane, is in the shape of an ellipse. Regardless of the nose shape, a traveling bullet produces a cylindrical path defined by the largest diameter at any point on the bullet. On a round nose or pointed nose bullet, the largest diameter is somewhere behind where the nose begins to taper, and in front of the tail in the case of boat-tailed bullets.

Ideally, the formation of a bullet hole is like passing a cylinder through a flat plane at an angle. The area of the bullet which strikes the target first shall be deemed the leading edge for the purpose of discussion. This is the edge of the bullet on the side of the acute angle from which the shot originated. The bullet defect will have a corresponding leading edge, usually characterized by bullet wipe on the outer surface of the target. As the leading edge of the bullet penetrates the target, initial contact produces a narrow defect, which progressively becomes wider as the bullet continues its travel since the surface area in contact with the target progressively increases as the bullet penetrates.

Once the widest portion of the bullet has penetrated, the surface area of the bullet opposite the leading edge, which shall be deemed the trailing edge for discussion purposes, in contact with the outer plane of the target progressively decreases as the bullet continues its penetration. This is

how the elliptical shape of the bullet hole is formed [Figure 1] with a width (w) and a length (l).

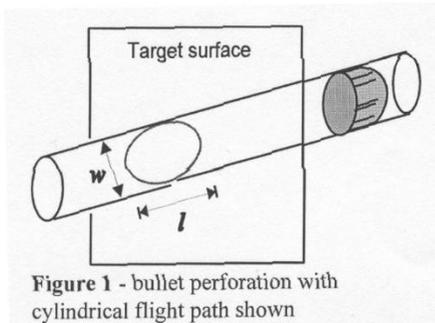


Figure 1 - bullet perforation with cylindrical flight path shown

How the Trigonometric Equation Relates to the Ellipse

Since it is the horizontal angle which is being determined, the trigonometry can be best explained with the aid of an overhead view of a bullet path perforating a surface [Figure 2]. When viewed from the top, the width required for the formula is actually the width, or minor axis, of the bullet path and theoretically is the same as the width or diameter of the bullet. The width, or minor axis, of the bullet path is also reflected in the defect on the target surface and is defined as the widest point of the small axis of the elliptical bullet hole. The minor axis, Aw@ in Figure 2, has simply been rotated to be viewed as the width of the bullet hole, Aw@ in Figure 1.

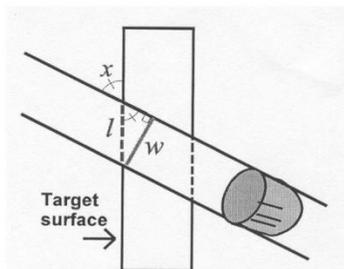


Figure 2 - trigonometry of the bullet hole with overhead view of bullet path. X = impact angle.

With path. X = impact angle. t h c

exception of a perpendicular shot, the bullet hole also has a length. The length required for the formula is actually the length of the entire elliptical bullet hole and is Aideal@ measurable on the surface of the target, as shown in Figure 1. The width and length measurements can then be used with the trigonometric function above to

determine the horizontal angle of impact. As long as these two variables, width and length of bullet hole, are well defined and measurable, this method is theoretically valid. For the true length of the defect to be visible, the bullet hole must take the shape of an ellipse.

Problem With Current Methodology

The accuracy of this method depends entirely on the accuracy of the measurements of the bullet hole, which leads to a problem with the trigonometric method. Most bullet holes are not truly elliptical in shape and therefore this method is seldom useful. In almost any material, the entire length of the supposed elliptical bullet hole will not be well defined. This is due mainly to the nose shape of most bullets.



Figure 3

With the exception of wad-cutter bullets, most have a rounded or pointed nose to some degree. Because of the tapering at the nose of these bullets, the ellipse fails to complete its form as the trailing edge of the bullet begins its penetration of the target [Figure 3]. As the portion of the nose on the trailing edge of the bullet begins to penetrate, the tapering of the bullet, rather than Acutting@ a clean trailing half of an ellipse, naturally forces the target material in an outward direction, around the nose, while the remainder of the bullet slips underneath. Because of this, the full ellipse of the bullet defect is seldom defined on the target surface, and any measurement of the length of the ellipse is, at best, a rough estimation [Figure 4].

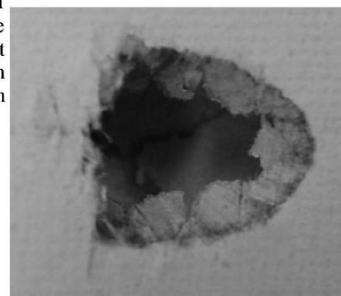


Figure 4

trigonometric function to determine the horizontal angle of impact.

Introducing the Modification

The common trigonometric method of horizontal angle determination was modified to be suitable for Areal bullet holes (ie. not entirely elliptical in shape). A modification to accurately and consistently measure the length of the bullet hole is all that was required in order to eliminate the Aguesswork of this method.

An experiment was then conducted to determine the limitations, accuracy and error rates, of the modified method. With known error rates, this method can be used to accurately determine the horizontal angle of impact, for suitable bullet holes, with known confidence.

Theory Behind the Modification

Bullet holes suitable for this method shall have elliptical properties (at least half of an ellipse present) with well defined edges so that accurate measurements are possible. No matter what angle a bullet perforates a target, the full width of the bullet must pass through it, therefore, a width measurement is always possible. Due to the nature of the ellipse, the location on the bullet hole where the width is largest, is the center of the ellipse. Since the maximum width and leading edge of the bullet defect are present, half of the ellipse is also present. Due to the nature of the ellipse, the Amissing half is simply the mirror image of the existing half.

The Modified Method

Using calipers or a similar measuring instrument, the maximum width of the defect is measured. The length of the half ellipse which is present can also be measured. This measurement is taken from the leading edge of the defect, which includes the bullet wipe, to the point in the defect where the width measurement was taken [Figure 5]. This length measurement then needs to be doubled to give the full length of the ellipse. These measurements can then be used in the

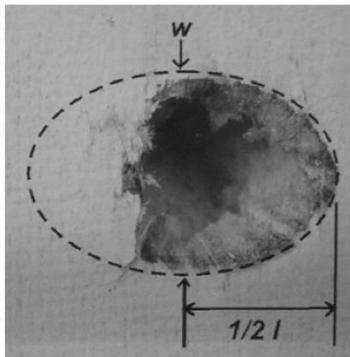


Figure 5

This method may produce more accurate results since half of the ellipse is present, and therefore measurable, as opposed to making measurements based upon Aimaging the entire ellipse.

Experiment to Determine the Accuracy and Limitations of the Modified Trigonometric Method of Bullet Impact Angle Determination

Purpose

To determine the limitations, accuracy and error rates of the modified trigonometric method of bullet impact angle determination.

Remarks

It was suspected that the accuracy of the measurements may be dependant upon the size of the bullet holes (ie. that smaller caliber holes may be more difficult to measure accurately and consistently as compared to larger caliber bullet holes) and that holes from different diameter bullets may, therefore, have different error rates using this method. Tests, therefore, were conducted on bullet holes made with both .45 caliber and .22 caliber ammunition. Any differences in the accuracy of the measurements due to bullet hole size should be apparent using these two extremely different sized bullets.

The results indicate that bullet diameter has a negligible effect on the accuracy of this method. Therefore, with the proposed limitations, this method should be suitable for bullet holes resulting from all sizes of bullets. Since similar trends were observed for both sets of data (caliber .22 and .45), the two sets of data were combined in order to provide a larger sample size for statistical error determination.

Preliminary Observations

Preliminary observations and calculations concluded that

bullet holes with a horizontal impact angle of 65 degrees and greater were not conducive to this method for two reasons: 1) from a practical standpoint, the holes from shots at 65 degrees and greater take on a more rounded appearance rather than elliptical, making the length and width, and therefore direction, difficult to distinguish; and 2) From a mathematical standpoint, when the width to length ratio becomes small, as is the case with a rounder hole, even slight differences in the width or length change the calculated angle dramatically. For these reasons, it was decided to limit this method to impact angles ranging from 5 to 60 degrees.

With the caliber .22 bullet holes at 60 deg., the direction was more difficult to determine from the surface alone since there were little to no indicators of direction on the surface of the target, however, the length vs. width remained discernable.

Even though there may be no indicators of direction on the surface of the target, there may be other indicators present. Since the width vs. length can be visually determined, the direction is undecided to be in one direction or 180 deg. in the other direction. Any general indication of direction should be of assistance when deciding to go one way or 180 deg. the other direction. Based on the tests conducted in wallboard, determining the general direction using the exit hole was not a problem at 60 deg. with small caliber (.22) bullet holes.

Methods

Shots were taken at known angles from 5 degrees to 90 degrees in 5 degree increments. Six shots were taken at each 5 degree increment using a .45 caliber handgun. The tests were then repeated using a .22 caliber handgun. The width and length of the bullet holes were then measured with calipers using the modified method.

Note: All shots at 5 degrees resulted in ricochets. These bullet defects were fully elliptical in shape. The entire length of the ellipse was measured for the shots at 5 degrees rather than measuring half the length and multiplying by 2.

Since the width and length measurements of a bullet hole constitute the raw data in this method of angle determination it is important to ensure that these measurements can be taken repeatedly with a given amount of precision. Therefore, it was first established that the bullet holes are measurable before proceeding with the testing of this methodology.

Measurability of Bullet Holes

In order to ensure the measurability of the bullet holes, the width and length of each bullet hole were measured 5

times with calipers, using the above method. For each hole, the mean of the 5 width and length measurements was calculated along with the corresponding standard deviation, to be used as an indicator of uniformity. From these values, the coefficient of variation was then calculated and reported as a percentage (%C.V.) so that the measurability of holes at different angles could be compared.

Measurability Results

The width of all the bullet holes in this test, from 5 to 60 degrees, was measurable to within 2.4% of the mean (ie. maximum 2.4% error rate). The length of all the bullet holes in this test, from 5 to 60 degrees, was measurable to within 7.3% of the mean (ie. maximum 7.3% error rate).

Measurability Conclusions

From the calculated error rates, it was concluded that the bullet holes used in this experiment, including both calibers and at angles from 5 to 60 degrees, are measurable with an acceptable degree of consistency.

Angle Determination Calculations

The mean width and length measurements, from the Am measurability@ data, of each bullet hole were then used in the trigonometric function to determine the calculated angle of impact for each hole. The mean of the calculated angles for the twelve shots at each 5 degree interval was then determined.

Accuracy Calculations

Since it is the accuracy of this method which is being determined, it is actually the difference between the known angle and the calculated angle that is desired, therefore, each calculated angle was then displayed as its difference from the actual, or known, angle. This also allows for a level comparison of data between the different intervals (angles). The mean difference and standard deviation (S.D.) was calculated for each interval as a measure of accuracy.

A 95% confidence interval (C.I.) for the difference was then calculated for each 5 degree interval. This means that, for each known angle, using this method, the difference between the calculated angle and the actual angle, of any suitable bullet hole, will be within the range defined by the confidence interval 19 times out of 20.

Error Rate Determination

The confidence interval centers around the mean calculated difference and not the known angle, therefore, it is possible to have a very small confidence interval which is far from the actual angle if the mean calculated difference itself was not near zero. Since it is the error from the known angle that is desired, the limit of the

confidence interval which was furthest from the known angle was used to establish the maximum (absolute) error for each 5 degree interval. Therefore, the error rate includes, and is actually larger than, the 95% confidence interval, resulting in error rates that are somewhat conservative.

Sample interpretation: Referring to the tests at a known angle of 5 degrees, the modified trigonometric method calculated an angle of between -2.25 and -1.52 degrees from the actual angle of 5 degrees 95% of the time [Table 1]. The maximum, or absolute, error at this interval is +/- 2.25 degrees. It is apparent that the error includes, and is larger than, the 95% confidence interval of -2.25 to -1.52, resulting in a more conservative error rate.

Apparatus

An isolated shooting system was constructed using a Ransom Rest to secure the firearm and a Saim model MG3 rotating cross-slide table as a target base, allowing for precise impact angle adjustment.

A Ransom Rest was secured to a solid wooden shooting bench. The cross-slide table was secured to the same bench in front of the Ransom Rest. A target holder was constructed from angle iron and secured to the cross-slide table so that it was square to its base. The resulting distance from muzzle to target was 42 inches. A length of flat iron was welded to the front of, and was an integral part of, the target stand. The flat iron was welded at a 90 degree angle to the plane at which the targets would be fastened. The flat iron extends slightly beyond the Ransom Rest. A dial gauge on a magnetic base was placed on top of the flat iron so that the gauge probe extends to an area on the exterior of the firearm which is parallel to the long axis of its bore. Once the firearm was secured in the Ransom Rest, the lateral dials on the cross-slide table were used to bring the dial gauge probe into contact with the firearm. The target holder/table base was then moved back and forth in a direction parallel to the bore of the firearm and fine adjustments made to the Ransom Rest until the dial gauge indicated that the firearm was near precisely 90 degrees to the target base. The dial gauge probe was moved along the length of the firearm at least two inches. The firearm was considered to be perpendicular to the target when the dial gauge moved no more than +/- 0.001 inches along the two inch length, and that any movement in the dial gauge was not limited to only one direction. Any movement in one direction required counter movement back towards the zero point, within +/- 0.001 inches. Once this was accomplished, the firearm was considered to be set at 90 degrees to the target face.

After six shots were completed at the 90 degree

increment, the target base was rotated exactly 5 degrees, to 85 degrees, and locked into position. Six shots were taken at each 5 degree increment down to 5 degrees. A total of 18 increments and 108 shots were fired for each caliber tested. After each increment of 6 shots, the target base was returned to its 90 degree mark and its position checked using the dial gauge before continuing to the next increment. No adjustments were ever necessary.

Selection of Target Material

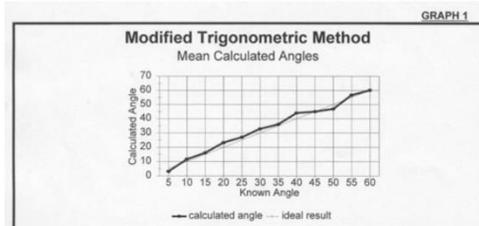
A target material was required that would lend itself to a predictably Aclean® bullet defect so that measurements would be possible. It was decided to use standard 2" drywall sheets since it is a practical material and something that the trajectory analyst commonly encounters in actual working situations. The drywall sheets were cut into 12 inch squares. Each piece was then fastened to the target base using clamps.

Where multiple shots were fired into one target, the target was moved laterally using the dials on the cross-slide table in order to maintain the impact angle for each set of shots. The targets were moved up and down simply by loosening the clamps, moving the target, and securing the clamps again.

Firearms Used

The two firearms were chosen based upon their flat, square slide and frame construction which were used as indexing points for the dial gauge. The areas on the slide and frame which were chosen as indexing areas on these two firearms were manufactured to be parallel to the bore of the firearm.

- Colt Government Model MK IV Series 80, caliber 45 ACP, semi-automatic handgun.
- Smith & Wesson Model 41, caliber 22 LR, semi-automatic handgun.



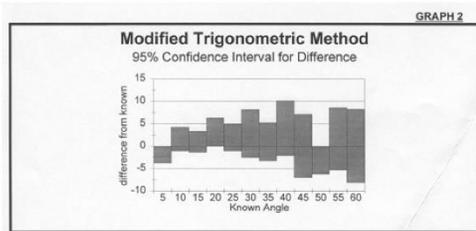
Ammunition Used

Federal Classic 45 Auto Match, 230 grain full metal jacket and American Eagle 22 Long Rifle, high velocity.

Results

Summarized and tabulated in *Table 1*. Known Angle vs. Calculated Angle results are graphically represented in *Graph 1*. The 95% Confidence Interval is displayed in *Graph 2* as the Difference from Known Angle for each 5 degree increment.

The mean difference between the calculated angles and the actual angles ranged from +0.05 degrees at 45 degrees to +4.0 degrees at 40 degrees, with no obvious trends



apparent. The consistency of the calculated angles, as measured by their confidence intervals, was tighter at lower angles, from 5 to 25 degrees, and was generally wider from 30 to 60 degrees. These were the only observations regarding differences in the overall accuracy of this method at different angles.

From the 5 to 60 degree range, the highest absolute error was +/- 10.15 degrees, at 40 degrees.

From the 5 to 25 degree range, the highest absolute error was +/- 5.2 degrees, at 20 degrees.

Summary of Results for Modified Trigonometric Method

Angle	Mean Calc. Angle	Mean Difference	S.D. of Difference	95% C.I. for Difference	C.I. Range (low)	C.I. Range (high)
5	3.1123307	-1.887583	0.1662071	0.366	-2.254	-1.522
10	11.609245	1.60925	1.2177856	2.68	-1.071	4.289
15	16.038217	1.03825	1.0793513	2.376	-1.338	3.414
20	23.131673	3.13175	0.9354126	2.059	1.073	5.191
25	26.907209	1.90725	1.3574969	2.988	-1.081	4.895
30	32.78654	2.7865833	2.4392318	5.369	-2.582	8.156
35	35.987561	0.9875833	1.9132855	4.211	-3.223	5.199
40	44.002864	4.0028333	2.7898198	6.14	-2.137	10.143
45	45.04995	0.0499167	3.2055341	7.055	-7.005	7.105
50	46.903172	-3.09675	1.3514098	2.974	-6.071	-0.123
55	59.6467	1.6466667	3.1693716	6.976	-5.329	8.623
60	60.084438	0.0845833	3.7133039	8.173	-8.088	8.258

Conclusions

Based on the practical and mathematical limitations discussed, it was decided that limitations for this method be set at a range of measured and calculated horizontal impact angles of 5 to 60 degrees. This covers approximately 2/3 of all possible impact angles. For all suitable bullet holes with measured and calculated angles in the range of 5 to 25 degrees, the absolute error was +/- 5 degrees. For all suitable bullet holes with measured and calculated angles in the range of 30 to 60 degrees, the absolute error was +/- 10 degrees.

Remarks

If probes or other intrusive instruments are being used to measure the vertical angle of impact of the bullet hole, the measurements required for the horizontal angle determination should be taken first since probes may distort the edges of the bullet hole in question.

Confidence Interval Formulae used in Table 1:

95% Confidence Interval (C.I.) for difference = standard deviation of difference X (2.201)

(2.201 is obtained from the t distribution table with 12-1 degrees of freedom since the sample size is 12 measurements at each angle)

C.I. Range (low) = mean difference - 95% C.I. for difference

C.I. Range (high) = mean difference + 95% C.I. for difference

ANEXO 6. Carta del convenio.

Pereira, 18 de Enero de 2016.

Doctor
SANTIAGO DE JESÚS VÁSQUEZ IDARRAGA
Sub Director Seccional de Apoyo a la Gestión
Fiscalía General de la Nación
Ciudad

Respetado Doctor Vásquez:

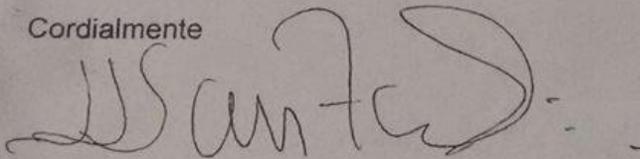
Teniendo en cuenta la gran cantidad de campos de aplicación que tiene la física como ciencia en las diferentes actividades que se desarrollan en nuestra sociedad, el programa de Ingeniería Física de la Universidad Tecnológica de Pereira se encuentra interesada en comenzar a realizar experimentación en el campo forense, por tanto, tenemos en el momento una tesis de grado que aborda el tema de la Balística de Efectos, concretamente, en buscar la utilidad del estudio de los orificios de entrada producidos por proyectiles disparados por armas de fuego sobre superficies metálicas, más exactamente en vehículos.

Con el trabajo se pretende establecer la posible distancia y ángulo a la cual se produjo el disparo, analizando las medidas a la forma del orificio de entrada.

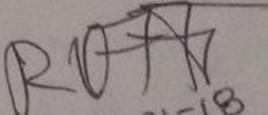
Con base en lo expuesto, se solicita su valiosa colaboración, en el sentido de permitir que nuestras estudiantes, Nathalia Calvo Zambrano y Valentina Duque Gutiérrez puedan realizar su trabajo de investigación con el asesoramiento del grupo de balística de tan prestigiosa entidad estudiando la posibilidad que se realice un convenio de investigación a este nivel.

Quedando atento a una respuesta y antecediendo gratitud por su amable gestión, se suscribe

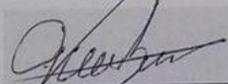
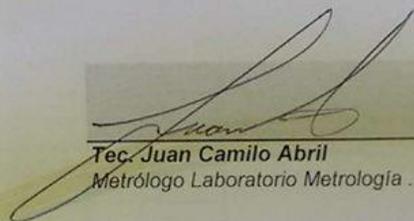
Cordialmente



JHON JAIRO SANTA CHAVES.
Director de Ingeniería Física.
Universidad Tecnológica de Pereira.


2016.01-18
+ 11:08 hrs

ANEXO 7. Certificado de calibración del calibrador o pie de rey digital

 <p>PINZUAR LTDA LABORATORIO DE METROLOGÍA ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO</p>		
<p>CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN - LABORATORIO DE LONGITUD Calibration Certificate - Laboratory of Longitude</p>		<p>Número: L- 9524 Number</p>
<p>INSTRUMENTO CALIBRADO <i>Instrument</i></p>	<p>Pie de Rey</p>	
<p>FABRICANTE <i>Manufacturer</i></p>	<p>MITUTOYO</p>	<p>Pág. 1 de 4</p>
<p>MODELO <i>Model</i></p>	<p>CD - 6" C</p>	
<p>NÚMERO DE SERIE <i>Identification number</i></p>	<p>0119980 / C.I.: PER - B - 31</p>	
<p>RANGO DE MEDICIÓN <i>Measurement range</i></p>	<p>0 - 150 mm</p>	
<p>SOLICITANTE <i>Customer</i></p>	<p>FISCALÍA GENERAL DE LA NACIÓN SUBDIRECCIÓN DE POLICÍA JUDICIAL CTI RISARALDA SECCIÓN CRIMINALÍSTICA GRUPO DE BALÍSTICA</p>	
<p>DIRECCIÓN <i>Address</i></p>	<p>Calle 42 Carrera 7 A Esquina</p>	
<p>CIUDAD <i>City</i></p>	<p>Pereira - Risaralda</p>	
<p>FECHA DE CALIBRACIÓN <i>Date of calibration</i></p>	<p>2015 - 01 - 06</p>	
<p>FECHA DE EXPEDICIÓN <i>Date of issue</i></p>	<p>2015 - 01 - 08</p>	
<p>NÚMERO DE PÁGINAS DEL CERTIFICADO INCLUYENDO ANEXOS 4 <i>Number of pages of this certificate and documents attached</i></p>	<p>4</p>	
<p>FIRMAS AUTORIZADAS <i>Authorized Signature (s)</i></p>		
 <p>Teófilo Víctor Ballesteros Director Laboratorio Metrología .</p>	 <p>Juan Camilo Abril Metrólogo Laboratorio Metrología .</p>	
<p>Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas. No podrá ser reproducido parcialmente excepto cuando se haya obtenido previamente, permiso por escrito del laboratorio que lo emite. <i>This certificate is an accurate record of the performed measurements results. This certificate must not be partially reproduced, except with the prior written permission of the issuing laboratory.</i></p> <p>Los resultados contenidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. <i>The results of this certificate refer to the moment and conditions in which the measurements were made.</i></p> <p>El Laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o la información contenida en este certificado. <i>The issuing laboratory assumes no responsibility for any ensuing damages due to the misuse of the calibrated instruments and/or the information of this certificate.</i></p>		
<p>Laboratorios - Calle 18 N° 103 B - 72 Bogotá, D.C. Colombia</p>	<p>Teléfonos: 4157020 - 5401515</p>	<p>www.pinzuar.com.co labmetrologia@pinzuar.com.co</p>



NÚMERO: L - 9524

Pág. 2 de 4

DETALLES DE LA CALIBRACION

<i>INSTRUMENTO CALIBRADO</i>	Pie de Rey
<i>Tipo de Indicación</i>	Digital
<i>Tipo de Medición</i>	Exteriores / Interiores / Profundidad
<i>Trabajo realizado</i>	Calibración
<i>Método empleado</i>	Comparación Directa
<i>Rango calibrado</i>	0 - 150 mm
<i>División de escala</i>	10 µm
<i>Ubicación del instrumento</i>	Laboratorio de Metrología de Pinzuar Ltda.
<i>Patrón(es) de referencia</i>	Bloques Patrón
<i>Código Interno:</i>	015704
<i>Fabricante</i>	No Presenta
<i>Certificado número</i>	L - 7571 de Pinzuar Ltda.
<i>Norma(s) de referencia</i>	DI - 008 del CEM
<i>Procedimiento interno número</i>	LM - PC - 23

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Al pie de rey en referencia se le efectuó una inspección visual encontrando la escala principal en buen estado, las superficies de medición no presentan sobresaltos ni luz. El pie de rey en general presenta una buena condición para la calibración, luego se procede a la realizar su calibración respectiva.

TABLA DE RESULTADOS MEDICIÓN DE EXTERIORES

NÚMERO PUNTOS	Valor Nominal	Promedio Lecturas	Error	Incertidumbre de medición
	mm	mm	µm	µm
1	15,00	15,00	-5	± 16
2	30,00	30,00	-5	± 16
3	50,00	50,00	0	± 16
4	60,00	60,00	-5	± 16
5	75,00	75,00	0	± 16
6	90,00	90,01	5	± 16
7	100,00	100,01	10	± 16
8	115,00	115,01	5	± 16
9	130,00	130,01	10	± 16
10	150,00	150,01	8	± 16

AA





NÚMERO: L - 9524
 Pág. 3 de 4

TABLA DE RESULTADOS MEDICIÓN DE INTERIORES

NÚMERO PUNTOS	Valor Nominal	Promedio Lecturas	Error	Incertidumbre de medición
	mm	mm	μm	μm
1	15,00	15,00	0	± 15
2	30,00	30,00	-5	± 15
3	50,00	49,99	-10	± 15
4	60,00	60,00	-5	± 15
5	75,00	75,00	-5	± 15
6	90,00	90,00	0	± 15
7	100,00	99,99	-6	± 15
8	115,00	115,00	0	± 16
9	130,00	130,00	-5	± 16
10	150,00	150,00	-2	± 16

TABLA DE RESULTADOS MEDICIÓN DE PROFUNDIDAD

NÚMERO PUNTOS	Valor Nominal	Promedio Lecturas	Error	Incertidumbre de medición
	mm	mm	μm	μm
1	15,00	14,99	-10	± 8
2	30,00	30,00	0	± 8
3	50,00	49,99	-10	± 8
4	60,00	59,98	-20	± 8
5	75,00	74,98	-20	± 8
6	90,00	89,98	-20	± 8
7	100,00	99,99	-9	± 8
8	115,00	114,99	-10	± 8
9	130,00	130,00	0	± 8
10	150,00	150,01	5	± 8

CONDICIONES AMBIENTALES

La calibración se realizó bajo las siguientes condiciones ambientales:

Temperatura Máxima: **20,1 °C**
 Temperatura Mínima: **19,6 °C**

Humedad Máxima: **53 %Hr**
 Humedad Mínima: **51 %Hr**





PINZUAR LTDA

LABORATORIO DE METROLOGÍA

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO



ACREDITADO ISO/IEC 17025:2005
11-LAC-004

NÚMERO: L - 9524
Pág. 4 de 4

RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN

Los errores obtenidos durante la calibración se encuentran expresados en las páginas No. 2 y 3, Tabla de resultados.

INCERTIDUMBRE DE LA MEDICIÓN

La incertidumbre de medición se encuentra en las páginas No. 2 y 3, Tabla de resultados, la cual fue calculada utilizando un factor de cobertura $k=2,18$ para un nivel de confianza aproximado del 95% para una distribución t-student y fue estimada con el documento JCGM 100:2008. GUM 1995 with minor corrections. Evaluation of measurement data Guide to the expression of uncertainty in measurement. First Edition. September 2008.

TRAZABILIDAD

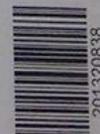
Los patrones del laboratorio de metrología de Pinzuar Ltda. han sido trazados al Sistema Internacional de Unidades S.I.

OBSERVACIONES

1. Los certificados de calibración sin las firmas no tienen validez.
2. El usuario es responsable de la recalibración de los instrumentos de medición a intervalos apropiados.
3. Este certificado expresa fielmente el resultado de las mediciones realizadas No podrá ser reproducido, excepto cuando se haya obtenido permiso previamente por escrito del laboratorio que lo emite.
4. Los resultados contenidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos.
5. Se adjunta con el certificado la estampilla de calibración No. L - 9524

Tec. Víctor Ballesteros
Director Laboratorio Metrología .

Tec. Juan Camilo Abril
Metrólogo Laboratorio Metrología .



ANEXO 8. Resultados finales de la investigación.