

UNIVERSIDAD DEL ACONCAGUA



Facultad de Psicología

Licenciatura en Criminalística

Tesina

Tema General: *“Determinación de la posición del tirador a través del ángulo de incidencia en disparos efectuados a superficies metálicas”.*

Autor: GUEVARA, Cyntia Romina.

Director de Tesina: Lic. ESCUDERO, José Gustavo.

Co-Directora de Tesina: Ing. VIERA, Teresa.

Año: 2010.

RESUMEN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En el presente trabajo se planteó como objetivo establecer el ángulo de incidencia con el que un proyectil penetra una superficie metálica para determinar la posición del tirador. En un principio se estimó posible determinarlo a través de la aplicación de la fórmula establecida por M. F. Ferreyro que utiliza la longitud de los ejes mayores y menores de los orificios.

En la experiencia, se utilizó un arma de fuego de tipo pistola semiautomática calibre 9mm, marca Browning, modelo Hi power, con munición Luger de ojiva redondeada, encamisados (FMJ), de la Fábrica Magtech.

Luego de efectuar cada disparo, se inspeccionó físicamente mediante observación directa, la superficie metálica impactada, con el objeto de describir la morfología del orificio y realizar la medición del eje longitudinal y transversal del mismo.

El análisis de la experiencia concluyó que la especial dinámica del proyectil cuando afecta la placa metálica, como consecuencia de las diferentes propiedades físicas y mecánicas del metal, invalida el empleo de la fórmula de M. F. Ferreyro para esta superficie.

No obstante es suficiente la observación pormenorizada 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 conozca el ángulo límite de penetración en la superficie estudiada y además que características morfológicas presentan las perforaciones sobre superficies metálicas, para poder así acotar la posición del tirador.

SUMMARY OF RESEARCH

In the present work was considered as aim to establish the incidence angle with which a projectile penetrates a metal surface to determine the position of the shooter. At first it was estimated can be provided through the application of the formula established by M. F. Ferreyro that uses the length of major and minor axes of the holes.

In our experience, we used a semiautomatic pistol firearm 9mm, Browning brand, Hi Power model, with Luger munition of round point, jacketed (FMJ), Magtech Factory.

After making every shot, it was inspected physically by direct observation, the impacted metal surface, in order to describe the morphology of the hole and to measure of the longitudinal and transverse axis of the hole.

The analysis of the experience concluded that the particular dynamics of the projectile when it affects the metal plate as a result of different physical and mechanical properties of metal, invalidates the use of the formula by M. F. Ferreyro for this surface.

However the detailed observation of the hole is enough to detect common signs to every angle of incidence under study.

This research had a criminalistic aim, and was the proposal of a methodology for the expert knows the limit angle of penetration in the studied area and also that morphologic characteristics present the perforations on metallic surfaces, to be able to delimit the position of the shooter.

Contenido

RESUMEN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	2
SUMMARY OF RESEARCH	3
AGRADECIMIENTOS	6
INTRODUCCION	7
CAPITULO I	10
PROBLEMÁTICA	10
OBJETIVOS	12
Objetivo General	12
Objetivos Específicos	12
HIPÓTESIS DE TRABAJO	12
VARIABLES	13
Variable Cualitativa:	13
Variable Cuantitativa:	13
ANTECEDENTES	14
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	17
CAPITULO III	37
METODOLOGÍA DE INVESTIGACION	37
Tipo de investigación:	37
1-Análisis exploratorio:	37
2-Selección de elementos:	38
2.1 Elección del arma de fuego y la munición.	38
2.2 Elección de la superficie de impacto.	38
2.3 Elección de la distancia de disparo.	38
2.4 Elección de los ángulos de incidencia.	38
3-Explicación de la metodología:	39
4-Muestra:	40
5-Elementos de la experiencia:	41
CAPITULO IV	44
ANALISIS DE LOS RESULTADOS	44
Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 50°	44
Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 60°	51
Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 70°	58

Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 80°	66
Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 90°	71
DISCUSION DE LOS RESULTADOS	77
Morfología del orificio:	77
Longitud del eje menor:	78
Longitud del eje mayor:	79
Ángulo calculado:	80
CAPITULO VI	81
CONCLUSIONES	81
APORTES DE LA INVESTIGACIÓN A LA CIENCIA CRIMINALÍSTICA.	87
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	90
APENDICE	92
ANEXO	94
Tabla de datos de la morfología del orificio	94
Tablas de datos de los disparos de experiencia	95
Protocolo de estudio morfológico del orificio plasmado en el blanco	100

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo el apoyo incondicional, especialmente a mi papa y a mi hermano Federico quienes me fabricaron los soportes para la experiencia.

A mi director de tesina por todo el tiempo, la paciencia, los mates y las risas fue lo mejor de todo, gracias por la dedicación a esta profesión.

A mi co-directora por toda la ayuda y el tiempo brindado.

A mis amigas, las viejas y las nuevas, gracias por estar.....siempre.

INTRODUCCION

Si en una superficie metálica incide un proyectil, en la misma se produce una modificación del material, provocando así un orificio. Dicho orificio es importante para determinar el ángulo de incidencia. Esta investigación utilizara la fórmula establecida para superficies de madera de **M. F. Ferreyro** para comprobar si es posible establecer la posición del tirador en dicha area.

Para ello se realizaran 7 (siete) series de 20 disparos a una distancia de 5 (cinco) metros. Estos disparos se efectuaran a ángulos de incidencia conocidos, estableciendo así, el ángulo mínimo con el cual el proyectil, al abandonar la boca del cañón y entrar en contacto con la superficie de impacto, produce una perforación, la cual es útil para la medición de los correspondientes ejes del mismo. Aplicados estos datos a la fórmula establecida por M.F. Ferreyro, permitirá aportar información sobre la posición del tirador.

Una vez obtenidos los orificios de los respectivos disparos, se analizara el diseño de estos para reconocer el sentido y dirección del disparo. Asimismo se realizara una inspección física, mediante la observación directa de los mismos, y la medición milimétrica con vernier de sus ejes. Determinar la dimensión de los mismos es necesaria para aplicar la formula trigonométrica referida.

En la presente investigación se utilizará un arma de fuego de tipo pistola semiautomática marca Browning, modelo Hi power calibre 9mm, similar a las utilizadas en la Provincia de Mendoza por la fuerza policial.

Luego de efectuar cada disparo, en los ángulos de incidencia asignados y necesarios para dicha investigación, se analizara la superficie afectada por el proyectil, por lo que se deberá constatar la presencia de los orificios y así determinar el ángulo mínimo al cual se observa dicho fenómeno. De esta

manera se podrá especificar los rangos de ángulos de incidencia en donde su visualización fue posible.

Una vez determinada la presencia de los orificios de cada disparo efectuado, se construirá para cada ángulo de incidencia, una tabla que contenga los datos promedios de la medición de los ejes longitudinales y transversales de los orificios observados, datos que posteriormente se aplicaran a la formula trigonométrica establecida por M. F. Ferreyro.

El primer capítulo, se encuentra conformado por el planteamiento del problema, los objetivos de la investigación, la hipótesis y las variables.

En el segundo capítulo se exhiben los antecedentes y el marco teórico.

En el tercer capítulo se enuncia la metodología de trabajo, la cual consiste en un análisis exploratorio, la selección del arma, de la superficie de impacto, la munición, la distancia y los ángulos de incidencia establecidos para cada disparo, la metodología propiamente dicha, la muestra del trabajo de investigación y los elementos utilizados para la experiencia.

En el cuarto capítulo se expresa el análisis de los resultados con la experiencia de disparo que se realizó en cada una de las series de ángulos de incidencia conocidos, las cuales poseen una tabla resumen de las medidas que se trabajaron.

En el quinto capítulo se evalúa la discusión de los resultados que surgieron de las variables cuantitativa y cualitativa.

Por último se presenta un sexto capítulo, en el cual se muestran las conclusiones, la resolución del problema de investigación, el aporte del trabajo de investigación a la ciencia Criminalística, las referencias bibliográficas, el apéndice con información complementaria que ayudará a interpretar el trabajo de investigación y el anexo con las tablas, ya sea el de las características morfológicas de los orificios, como el de los disparo de las distintas series de ángulos de incidencia.

Este trabajo de investigación permitirá, a través de una metodología de análisis cualitativo (morfología de los orificios conformados en el blanco) establecer el sentido y orientación de los disparos, como así también determinar por medio del análisis cuantitativo (ángulo de incidencia y longitud de los orificios) el ángulo mínimo de incidencia a partir del cual el proyectil penetra la superficie, acotando de esta manera la posición del tirador en el momento en el que el proyectil abandona la boca del cañón y entra en contacto con la superficie metálica

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA

Como consecuencia de intercambios de disparos entre policías y delincuentes o en riñas callejeras, mueren o resultan lesionadas personas inocentes. En estos sucesos, aun contando con indicios relevantes que orienten el desarrollo del hecho delictivo, la determinación de la posible posición del tirador resulta compleja y hasta indefinida. Si bien es viable establecer la zona desde donde provienen los disparos, no es posible determinar la precisa ubicación del tirador en cada uno de ellos, con lo cual queda un espacio abierto, que podría resultar en la exclusión de la participación de determinado tirador frente a un hecho delictivo.

Entre los interrogantes a dilucidar por parte del perito, se encuentran la distancia aproximada a la que se efectuó el disparo, la trayectoria balística, la posición de la víctima y por consiguiente la del tirador, entre otras. Es esta última averiguación, objeto de la presente investigación, en donde es por ello que nos preguntamos si la fórmula utilizada por M. F. Ferreyro para determinar la posición del tirador en superficies de madera, puede ser aplicada en superficies de metal.

La perito Ferreyro ha solucionado el enigma respecto de los impactos originados sobre madera, sin embargo queda pendiente conocer el modo de establecer la posición del tirador cuando intervienen elementos balísticos (proyectiles) afectando superficies metálicas, como por ejemplo lo son, los vehículos o puertas y portones de viviendas, que fueron alcanzados por proyectiles procedentes de tiroteos.

Además, la necesidad de determinar con exactitud la trayectoria incidente de un proyectil disparado por un arma de fuego cuando atraviesa una superficie

metálica, tiende a facilitar la interpretación de la distancia a la que se efectúa el disparo, sobre todo, cuando esta es amplia y no se puede resolver por la investigación de los residuos de pólvora, circunstancia que ha sido previamente analizado por el Lic. Miguel Ángel Mendoza García en su Tesis de grado "*Análisis del tatuaje balístico*", en donde en la misma establece un "*ángulo de dispersión* de los residuos de pólvora según la distancia de disparo".

Sin embargo, dichos enigmas a dilucidar por parte del perito, si se establecieran, podrían resolver innumerables casos en donde como resultado de disparos y de la intervención de las nombradas superficies, no ha sido posible identificar al culpable de un hecho, sino también, poder establecer la trayectoria incidente, para así de esta manera, fijar con precisión la posición del tirador.

De los más renombrados casos nos remitimos a dos de los últimos, en donde tuvieron una fuerte intervención balística, como lo son las armas de fuego, los proyectiles y los tiradores. Estos hechos son de data reciente en donde el 27 de Marzo de 2010 mueren como consecuencia de una emboscada entre al menos 7 siete delincuentes un cobrador y su custodia, quienes se movilizaban en un vehículo en dirección a la localidad de Los Corralitos, donde fueron interceptados en una esquina por dos automóviles. En su interior se encontraban los delincuentes, comenzando así un tiroteo por parte de estos y los custodios del cobrador. Otro suceso se produjo el 10 de Enero de dicho año después de un asalto en un hotel lujoso de Lujan de Cuyo, en donde 10 delincuentes luego de ingresar y robarles a los huéspedes se dieron a la fuga escapando en un automóvil robado. Fueron perseguidos por vehículos de la Policía de Mendoza, se inicio un intercambio de disparos entre estos y dichos delincuentes a medida que los mismos, se desplazaban por el acceso a la ciudad.

En este sentido surge el cuestionamiento sobre la validez de la fórmula propuesta por dicha autora, para calcular el ángulo de incidencia sobre superficies metálicas planas, en donde a través de una ciencia exacta como lo

es la Matemática, permite arribar a una posible posición del tirador, para así de esta manera dar solución a aquellos casos donde se desconoce al responsable del hecho.

OBJETIVOS

Objetivo General

“Determinar el ángulo de incidencia en superficies metálicas a través de la longitud de los ejes mayores y menores de los orificios de entrada”.

Objetivos Específicos

- Establecer el ángulo de incidencia mínimo a partir del cual el proyectil penetra en la superficie metálica.
- Analizar morfología de los orificios de entrada de los impactos balísticos,
- Analizar la relación que existe entre la longitud de los ejes mayores y menores de los orificios y los ángulos de la trayectoria incidente.

HIPÓTESIS DE TRABAJO

“Si se determina el ángulo de incidencia, de disparos efectuados a superficies metálicas, a través de la fórmula de M. F. Ferreyro entonces se establecerá la posición del tirador.”

VARIABLES

Las variables que se utilizaron en la presente investigación, son de carácter cuantitativo y cualitativo:

Variable Cualitativa:

Morfología del orificio: El orificio registra distintas características según los fenómenos que ocurren en el momento del impacto, los que dependen a la vez del ángulo de incidencia. Interesan: la figura que forma la perforación en la probeta, las características que registran los bordes invertidos (cara incidente), las características que se advierten en los bordes evertidos (cara saliente), las singularidades de la sección del material de la probeta, las transferencias del proyectil hacia el material impactado.

Variable Cuantitativa:

Principal

Angulo de incidencia: Es el formado por la trayectoria del proyectil y el plano que forma la superficie de contacto. Es medido en grados. Esta variable es de carácter **Independiente**, ya que el experimentador la modifica a voluntad para averiguar si sus modificaciones provocan o no cambios en las otras variables.

Secundaria

Longitud de los ejes mayores y ejes menores del orificio de entrada: Determinada por la figura que forma la perforación del blanco, que es gestada por el impacto del proyectil. Es medida en milímetros. Esta variable es **dependiente**, porque toma valores diferentes en función de las modificaciones que sufre la variable independiente.

CAPITULO II

ANTECEDENTES

Los antecedentes que a continuación se detallan, fueron de gran importancia al momento del desarrollo de esta tesina.

El **Lic. en Criminalística Carlos Guzmán**, en su “**Manual de criminalística**”, da un aporte relevante sobre el análisis de la ***distancia de disparo con escopetas***, determinando factores que influyen en la impresión del tatuaje sobre la superficie del blanco, como lo son la longitud del cañón, la distancia de disparo, el ángulo formado por la boca del cañón y el blanco, entre otros, estableciendo un diámetro del dibujo que a cortas distancias será de 2,5 a 7,5 cm de diámetro, y que por el contrario si es a larga distancia, el diámetro excederá los 25 cm de diámetro.

Por otro lado el mismo autor hace a su vez un ***análisis sobre la formación de orificios de bala en láminas de acero***, en la que determina que proyectiles de mayor velocidad y calibre remueven discos metálicos del centro del orificio y que a su vez los bordes evertidos de este último adoptan la forma de rulos.

Según el **Tratado de Criminalística en su Tomo II**, de la Policía Federal Argentina, de Editorial Policial, de 1983, se obtuvo conclusiones determinantes sobre el ***estudio físico de las roturas de vidrios***, en donde se pudo determinar la dirección de la fuerza, sentido de la misma, su intensidad y cronología frente a roturas varias.

P.M. Garamendi según el estudio realizado en el marco de la investigación que tenía por objeto “***determinar la lesión por disparo con rebote atípico de proyectil 9 mm Luger KPO***”, estableció entre sus

conclusiones que cuando los proyectiles de esta munición impactan sobre hormigón, varían su comportamiento según el ángulo con el que inciden sobre el mismo. Se logró establecer un ángulo crítico (correspondiente a 30°) a partir del cual los proyectiles incidentes se desvían sin fragmentación, mientras que existe un rango de ángulos (30° a 50°) entre los cuales los proyectiles al colisionar contra hormigón se fragmentan, proyectando sus fragmentos en ángulos inferiores a 6° . Sugieren además el uso de fórmulas básicas de trigonometría para calcular de forma aproximada el diámetro máximo de dispersión de los fragmentos tras el rebote.

Burke TW y Rowe WF en su publicación de la revista Forensic Sci del año 1992 volumen 37 obtuvieron conclusiones importantes respecto del ***comportamiento de los proyectiles frente a los impactos***. En el trabajo destaca que a cada tipo de superficie le corresponde un ángulo crítico de incidencia por debajo del cual los proyectiles al impactar rebotan. Por encima de este ángulo los proyectiles se desintegran o perforan la superficie de impacto.

A punto de partida de esta información resulta importante establecer el ángulo crítico para el binomio proyectil-superficie que se ha seleccionado para esta investigación, ya que diferentes características como lo son, el diseño y la construcción del proyectil, como así también las propiedades físicas y mecánicas de los blancos a impactar, van a depender del grado de dicho ángulo.

Según el **Laboratorio de Física y Mecánica de Materiales** de la Universidad Carlos III de Madrid-España, establece como conclusión en su ***“estudio experimental y numérico del comportamiento de láminas de acero de bajo contenido de carbono sometidas a impactos de media y alta velocidad”***, que el aumento de la velocidad de impacto produce un aumento de la deformación circunferencial y de fisuras radiales en dicha superficie y que a su vez el trabajo plástico disminuye con la velocidad y el incremento de los efectos inerciales.

El mismo **Laboratorio de Física y Mecánica de Materiales** de la Universidad Carlos III de Madrid-España, presenta en su investigación un **“análisis numérico del comportamiento de placas de acero Weldox 460 E de 12 mm de espesor sometidas al impacto normal de proyectiles rígidos de diferentes geometrías: cilíndrica, hemisférica y cónica”**, determinando que los proyectiles cilíndricos producen el fallo de la placa por la propagación de bandas adiabáticas de corte, generando un tapón de material al final del proceso, mientras que los proyectiles cónicos producen un estado de compresión radial y alargamiento de la zona impactada. Durante el proceso de perforación de proyectiles hemisféricos se produce una combinación de los mecanismos de fallo anteriores dependiendo de la velocidad de impacto.

De acuerdo a la **revista de Metalurgia Madrid 36 del año 2000** del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de la Universidad Nacional de Colombia, en su **“estudio sobre los tipos de cráteres obtenidos en el impacto de proyectiles 5,56mm SSI 09, sobre blancos de acero AISI-SAE 1045W (6,35mm)”**, determina que es posible obtener del análisis de la morfología de los tipos de cráteres en impactos de estos proyectiles sobre dicha superficie, información que permite evaluar el nivel de eficiencia de un material y la forma en que se produce la penetración y además que en dichos cráteres predominará el cizallamiento por bandas de corte adiabáticas sobre el flujo viscoso, cuando la microestructura del blanco sea lo suficientemente resistente.

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Cuando se produce un hecho delictivo de índole balístico, surgen de la inspección del lugar, elementos como: proyectiles, vainas, cartuchos, armas de fuego y los daños que surgen de su utilización. Todos ellos nacen debido a la intervención del hombre, provocando fenómenos que son el resultado de comportamientos individuales y conjuntos entre estos, y que a su vez es motivo de estudio de la ciencia de la Balística

La Balística es la ciencia que estudia el movimiento de los proyectiles, es decir, los fenómenos que ocurren en el interior de las armas de fuego para que el proyectil sea lanzado al espacio, lo acaecido durante su desplazamiento por éste y los efectos que produce en el blanco impactado.

La Balística Forense es la Balística aplicada a la Criminalística. Clásicamente, se ha venido considerando la Balística Forense como una rama especial de la Ciencia Balística, basada en las relaciones de identidad existentes entre las lesiones impresas en vainas y proyectiles por el arma utilizada y las partes o piezas de dicha arma productoras de las referidas lesiones. Sin embargo, para los expertos en Balística Forense, ésta no es una rama especial de la Ciencia Balística, sino la propia Ciencia Balística en sí, una acepción especial de la misma que pretende resolver toda la problemática que plantea la investigación policial de aquellos hechos delictivos en los que han intervenido armas de fuego.

Mientras que en la ciencia Balística clásica el problema planteado es qué arma y qué munición emplear para, efectuando un disparo desde una distancia determinada y con un determinado ángulo de tiro, lograr ciertos efectos en un blanco concreto, la Balística Forense actúa en sentido inverso, es decir, a la vista de los efectos producidos en un blanco concreto, debe determinar el tipo de arma y de munición utilizados, la distancia desde la que se efectuó el

disparo, el *ángulo de incidencia* siendo este, el ángulo formado por la trayectoria del proyectil y el plano que forma la superficie de contacto (ver figura nº 01) el numero de disparos realizados y, en su caso, si la vaina y el proyectil recogidos han sido percutido y disparado, respectivamente, por el arma sospechosa o lo han sido por otra diferente.(Nieto Alonso, 2002)

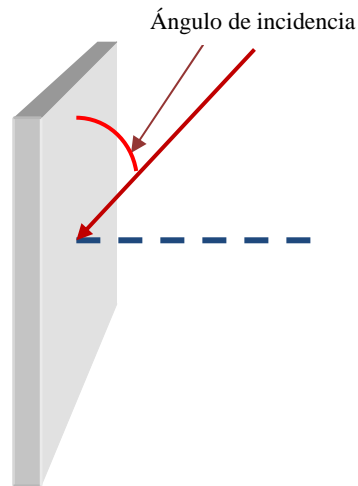


Figura nº 01

Ahora bien desde el enfoque de la investigación policial o judicial, la correcta valoración de los efectos o consecuencias de un disparo trasuntan como elementos determinantes para la resolución del proceso. En el caso de un proyectil, su efecto balístico está estrechamente relacionado con la *energía cinética* con que el proyectil sale de la boca del arma y le transfiere total o parcialmente al blanco a impactar.

La energía cinética se origina en la trayectoria interna, es decir dentro del arma; cuando se enciende la pólvora propulsora que tiene la vaina, da comienzo un fenómeno con la consecuente producción de energía química; cuando el fuego transforma la pólvora en gas, esa energía química mueve al proyectil a través del cañón del arma (ánima), le hace tomar el giro sobre su eje longitudinal y cuando llega al exterior, es decir comienza la trayectoria externa, esa energía química se transforma en energía cinética. Esta energía es directamente proporcional a la masa y al cuadrado de la velocidad.

La velocidad se la llama velocidad inicial y es la que tiene mayor valor, porque a medida que el proyectil transita por el aire, la resistencia del mismo lo frena y pierde velocidad.

Para mantener el valor de la velocidad inicial hasta la mayor distancia posible, tiene mucha importancia la forma del proyectil, o sea el diseño; un proyectil esférico pierde más rápido su velocidad, ya que la resistencia del aire acciona sobre una mayor superficie, por el contrario en proyectiles ojivales, el diseño aerodinámico hace que la resistencia del fluido del aire influya menos, por lo tanto la velocidad inicial se pierde más lentamente.

El otro factor importante para la energía cinética, dijimos que es la masa, que también como el cuadrado de la velocidad, es directamente proporcional; por lo tanto, es importante tener en cuenta el material con que está hecho el proyectil, ya que una simple observación nos permite apreciar que si disponemos de un proyectil de igual geometría y a idéntica velocidad, pero de diferente material, como por ejemplo plomo o plástico, es fácil predecir que el proyectil más liviano perderá más fácilmente su velocidad durante el vuelo, y además, por ser la masa menor, también será menor la energía cinética, o dicho de otra manera, el más pesado impactara más lejos y con mayor fuerza, esto último por ser mayor la energía cinética. En este caso la única variable es el peso del proyectil.

En relación con el alcance y formato del proyectil, otra observación que podemos hacer es que de dos de ellos contruidos con el mismo material, pero de distintos formatos, uno cilíndrico y el otro ojival, el último llegara más lejos y con mayor fuerza.

Una tercera observación nos puede indicar que de dos proyectiles cilíndricos del mismo material, con la misma velocidad inicial, el mismo diámetro, pero de distinto largo, por lo tanto de distinto peso, siendo más pesado el más largo, la más larga impactara más lejos y con mayor fuerza (mayor energía cinética).

En el caso de dos proyectiles con igual forma pero con distinto peso, el más pesado retendrá la velocidad (energía) por más tiempo. Ello obedece a la relación diámetro-peso. Dicha relación se denomina *densidad seccional*, esta resulta ser directamente proporcional al peso e inversamente proporcional al cuadrado del diámetro del proyectil.

Pero como dijimos anteriormente el análisis no está completo si no contemplamos la forma del proyectil, siendo esta relación el *coeficiente balístico*.

Mediante el coeficiente balístico se puede calcular y definir la parábola que recorre el proyectil durante su trayectoria y la capacidad de mantener la velocidad.

Para obtener mayor energía cinética y por consiguiente mayor efecto balístico sobre el blanco, sería suficiente aumentar la masa y la velocidad; esta última tiene mucha importancia la longitud del cañón.

Otro detalle importante es que existen armas que disparan proyectiles por debajo de la velocidad del sonido, o sea las subsónicas, y otras por encima de dicha velocidad, las supersónicas; por ejemplo, todos los revólveres, a excepción del "Magnum", tienen una velocidad inicial subsónica, y la mayoría de las pistolas como los fusiles tienen una velocidad inicial supersónicas.

La balística de efecto en estos casos tiene diferencia entre unos y otros; por ejemplo los subsónicos dejan orificios de entrada no muy definidos y con bordes irregulares; pero los producidos por supersónicos, por el contrario, son de bordes definidos, en forma de sacabocados y regulares (Locles, 2006).

Por otro lado el efecto producido va a depender también de la densidad del material afectado; de la viscosidad de este, característica que hace que se oponga a la deformación; y la elasticidad, que es la capacidad que tiene el material de retornar a su forma original después de que sobre él se ha ejercido por parte del proyectil una fuerza.

Cuando el proyectil entra en contacto con la superficie impactada, ocurren dentro de ella una sucesión de eventos que estarán determinados por la estructura cristalina con el que están constituidos los cuerpos.

Así los metales cristalizan en solo tres estructuras, dependiendo de la temperatura y de la presión. A presión atmosférica, estas son: la estructura cubica centrada en el cuerpo (bcc) (el *acero de bajo contenido de carbono* utilizado en la presente investigación presenta esta estructura), la estructura cubica centrada en las caras (Fcc), y la estructura hexagonal compacta (Hc). Cada estructura cristalina tiene sistemas de deslizamiento distintos. Cuantos más sistemas de deslizamiento tenga, más fácil será de deformar plásticamente (Ing. Moisés Hinojosa, 2000)

Además de su estructura cristalina, las propiedades de los cuerpos a su vez se basan en la Teoría de la Elasticidad que establece que estos pueden ser: *rígidos*, cuando un cuerpo por la acción de una fuerza se rompe sin cambiar aparentemente su forma; *plásticos*, siendo aquellos en los que a la acción de fuerzas se alteran sin romperse, quedando deformados cuando deja de actuar la fuerza; y *elásticos*, aquellos en los que a la acción de una fuerza el cuerpo se deforma, pero recupera sus dimensiones originales cuando cesan dichas fuerzas. La presente investigación se apoya en el comportamiento plástico que corresponde a los metales como el seleccionado.

Teniendo en cuenta las apreciaciones anteriores, el resultado (deformación) que se obtendrá si se le aplican tensiones será distinto y dependerá de su propiedad como material.

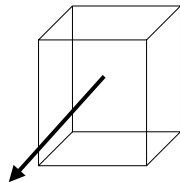
ESTADOS BÁSICOS DE TENSIÓN

Las *tensiones* correspondientes a las deformaciones tienen valores mensurables. Llamamos *tensión* a la relación de la carga (fuerza) con la sección del material.

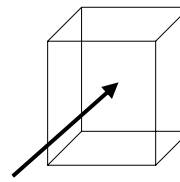
$$\text{Tensión} = \text{fuerza} / \text{superficie}$$

Las distribuciones de tensión pueden ser muy complejas: cada una consiste a los sumo en sólo tres estados básicos de tensión: *tracción*, *compresión* y *corte*.

Las tensiones de *tracción* y *compresión* están originadas por fuerzas que son perpendiculares al plano de la sección.

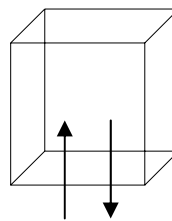


Tracción



Compresión

Las tensiones de *corte* están originadas por fuerzas que son contenidas en el plano de la sección



Corte

Tracción:

Tracción es el estado de tensión en el cual las partículas del material tienden a separarse (fuerzas iguales y opuestas). Ciertos materiales como el hormigón se rompen fácilmente a tracción, otros como el acero por ejemplo, son más resistentes.

Compresión:

Compresión es el estado de tensión en el cual las partículas del material se aprietan entre sí. Las deformaciones provocadas por compresión son de sentido contrario a las producidas por tracción: hay un acortamiento en la dirección de la carga y un ensanchamiento perpendicular a esa dirección.

Corte o cizalladura:

Corte es un estado de tensión en el cual las partículas del material se deslizan con movimiento relativo de unas con respecto a las otras.

Las fuerzas que producen esta deformación actúan sobre los planos en los cuáles se produce el deslizamiento; cuando se las mide sobre una unidad de superficie se denomina tensiones de corte. Una característica fundamental del corte es producir deslizamiento no en un solo plano, sino en dos planos, siempre paralelas entre sí.

Flexión:

Todos los estados complejos de tensión son combinaciones de sólo 3 estados básicos: tracción, compresión y corte. La compresión y tracción en distintas fibras del mismo elemento estructural es quizá la más común de estas combinaciones: se denomina flexión y desempeña un papel fundamental en la mayoría de los sistemas estructurales (Ing. José María Canciani, 2009)

MECANICA DE LA FRACTURA

Es la disciplina que cuantifica las condiciones bajo las cuales un elemento estructural puede romperse debido a la existencia y crecimiento de una grieta dominante en la estructura. Esta puede ser:

- Por sobrecarga:* la resistencia del material es insuficiente y se despedaza, desgarrar, rasga o rompe (esfuerzos permisibles de cada material)
- Por deformación excesiva:* la rigidez de la estructura es insuficiente y se deforma, tiene curvatura excesiva, vibra intensamente o se pandea (según el módulo de elasticidad de cada material).

La *fractura simple* es la separación de un cuerpo en dos o más trozos como respuesta a una tensión que puede ser estática (constante o variante lentamente con el tiempo) y a temperaturas que son bajas en relación a la temperatura de fusión del material. Las tensiones aplicadas pueden ser de

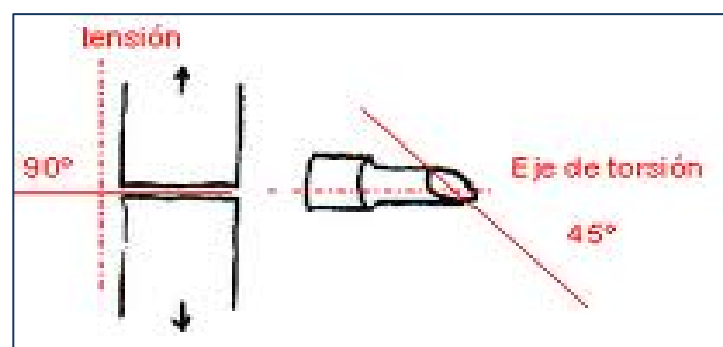
tracción, compresión, de corte o torsionales. Las etapas a tener en cuenta en su producción son:

- Iniciación de una grieta o fisura.
- Propagación de dicha grieta o fisura (es la etapa que determina el modo de fallo). Los tipos de fracturas son:

1. *Fractura dúctil*: Tiene asociada una gran deformación plástica en el entorno de la grieta (o zona fracturada). Se trata de una grieta estable, ya que para seguir creciendo necesita que el esfuerzo (externo) sea cada vez mayor. Además, el avance de la grieta es lento y existe una deformación plástica apreciable en las superficies de fractura. La superficie de fractura presenta una parte plana y un labio de corte (formando unos 45° con la dirección del esfuerzo) lo que confiere a la fractura una apariencia de “copa y cono” y aspecto fibroso. En placas delgadas toda la superficie de fractura puede ser un labio de corte. Esta superficie suele no ser brillante (ver figura nº 02)

✓ Características:

- Este tipo de fractura es típica de materiales con zona plástica.
- Es típica de materiales sin zonas de acumulación de tensiones.
- Las temperaturas elevadas favorecen este tipo de fractura



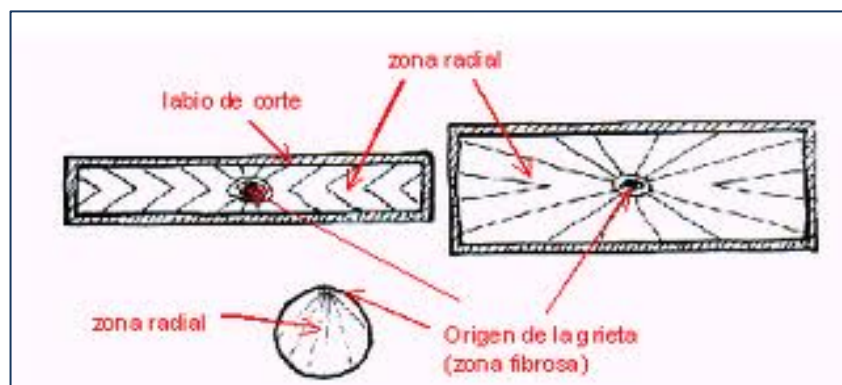
Fuente: **Propiedades mecánicas de los materiales**

Figura nº02

2. *Fractura frágil*: Una vez iniciada, la grieta se propaga rápidamente sin necesidad de aumentar el esfuerzo (grieta inestable), y además no existe deformación plástica en el entorno de la grieta. Supone la separación brusca de las dos partes sin deformación permanente, es visiblemente apreciable. La superficie de fractura suele formar unos ángulos concretos con las direcciones de tensiones máximas, siendo esta superficie brillante y sin rugosidades. Un ejemplo es el vidrio (ver figura nº 03)

✓ Características:

- Este tipo de fractura es típica de materiales sin zona plástica.
- Es típica de materiales con zonas de acumulación de tensiones.
- Las temperaturas bajas favorecen este tipo de fractura.
-



Fuente: **Propiedades mecánicas de los materiales.**

Figura nº03

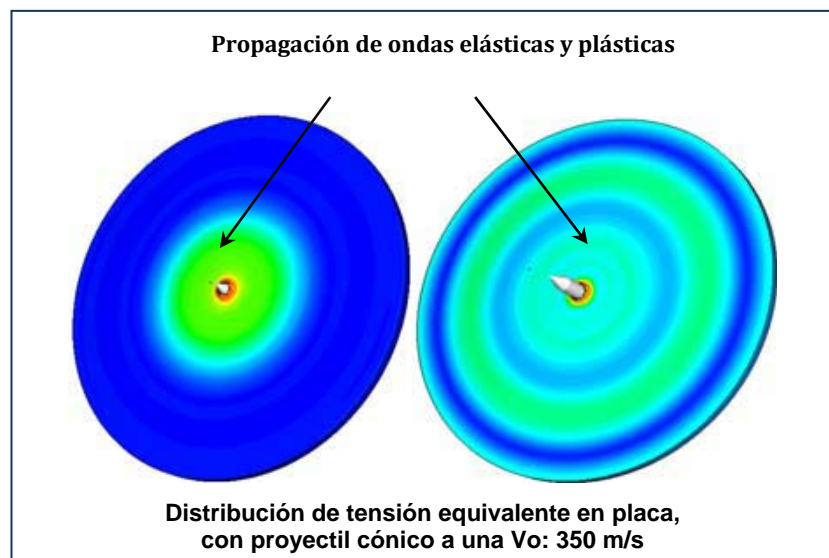
3. *Fluencia térmica*: Deformación que se produce en un período cuando un material está sometido a un esfuerzo constante y a temperatura constante. En los metales, la fluencia suele producirse únicamente a elevadas temperaturas. La fluencia a temperatura ambiente es más

común en los materiales plásticos y se conoce como flujo frío o deformación bajo carga.

✓ Etapas:

- Fluencia primaria: al aplicar un esfuerzo el material se deforma permanentemente.
- Fluencia secundaria: se va produciendo una deformación constante en el tiempo. El material se está endureciendo pero al mismo tiempo está a temperatura elevada y se produce reblandecimiento.
- Fluencia terciaria: material muy deformado. El material se deforma rápidamente y acaba rompiéndose. (Rodríguez. 2004)

Ahora bien, teniendo en cuenta lo anterior descrito y de acuerdo a la presente investigación, los impactos balísticos en placa metálicas se asocian a fenómenos que a raíz del contacto y fricción originan daño ostensible en el material. Cuando el proyectil impacta, transfiere la energía cinética a la superficie afectada; genera a partir de allí fenómenos termodinámicos que están ligados a propagación de ondas elásticas y plásticas, (ver figura n°04), flujo plástico (movimiento del material) y grandes deformaciones, que puedan dar lugar a la aparición de inestabilidades plásticas.



El fenómeno de la formación del orificio de entrada por impacto de proyectiles sobre materiales metálicos tiene las siguientes variables principales: la velocidad del proyectil, materiales y microestructura del proyectil, ángulo de incidencia sobre el blanco, materiales y microestructura del blanco y su espesor. Dicha perforación ocurre en cinco etapas:

- (a) Penetración dinámico-plástica, en la cual hay un flujo masivo del material de la región de impacto, en el sentido de avance del proyectil.
- (b) Formación de abombamiento de la superficie opuesta al impacto.
- (c) Avance del abombamiento.
- (d) Formación del tapón y su salida del blanco, donde se pueden formar bandas de corte adiabáticas o presentarse el desconchamiento, y por último,
- (e) Salida del proyectil. (Castro, Espejo y Martínez, 2000)

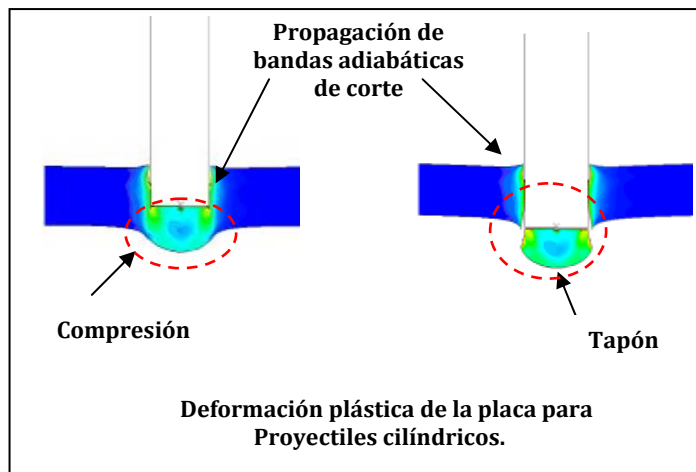
A su vez, se constata que la forma del cuerpo del proyectil, cambia los mecanismos de fallo de la chapa, el límite balístico (máxima velocidad para detención) y la contribución de los diferentes términos energéticos del proceso. Así, *los proyectiles cilíndricos* presentan un modo de perforación muy eficiente a *bajas velocidades* de impacto debido a la aparición de las nombradas bandas adiabáticas de corte (alta rapidez de deformación cuando el calor generado no es disipado). Este proceso de aparición de bandas adiabáticas de corte está fuertemente conectado al *endurecimiento por deformación, la velocidad de deformación y la temperatura*. El fallo de la chapa debido a las bandas adiabáticas de corte induce la eyección de un tapón como etapa final del

proceso de perforación siendo el diámetro de éste aproximadamente igual al diámetro del proyectil y su espesor aproximadamente igual al espesor de la placa perforada

Por el contrario, a *altas velocidades* de impacto el empleo de geometrías de punta de *proyectiles como cónica o hemisférica* produce velocidades residuales mayores. En este caso la perforación de la placa se produce debido *al alargamiento de la zona afectada por el impacto*, que puede llegar a formar “*pétalos*” de material para chapas de mínimo espesor.

En cuanto al diseño del proyectil, la perforación estará determinada por distintos comportamiento físicos:

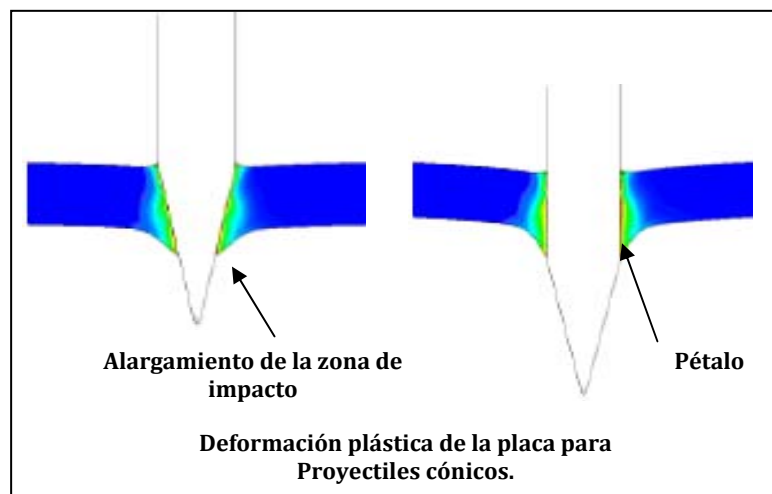
- a) Para el caso de **proyectiles cilíndricos**, en los primeros instantes del proceso de perforación se observan la aparición de *bandas adiabáticas de corte*, debido a la singularidad geométrica del proyectil, causado por la restricción al aumento de deformación plástica en las zonas de máxima deformación tangencial, ya que el ablandamiento térmico del material hace que la velocidad de propagación de las ondas plásticas, sea nula. (Ver figura nº05).



Fuente: Anales de Mecánica de la fractura 25, volumen 1.

Figura nº 05

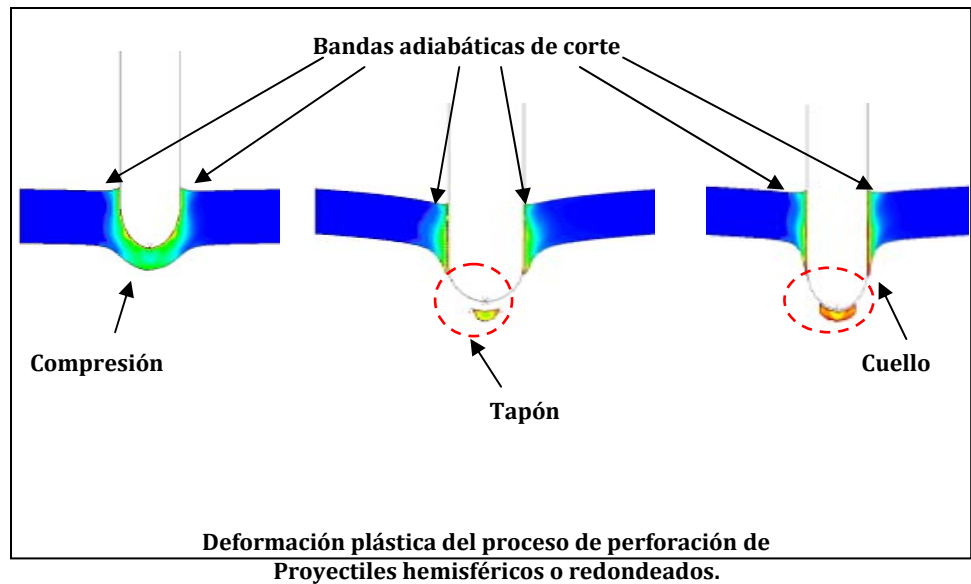
- b) En el caso de los **proyectiles cónicos**, la perforación se produce mediante un proceso de *alargamiento de la zona afectada*, este proceso consiste en el desplazamiento del material de la chapa, lateralmente a medida que el proyectil avanza, disipando gran cantidad de energía, por deformación plástica y por fricción; (Ver figura nº06).



Fuente: Anales de Mecánica de la fractura 25, volumen 1.

Figura nº 06

- c) Por último, en el caso de emplear **proyectiles hemisféricos o redondeados**, se producen *estados tensionales de tracción y compresión* debido a la flexión incipiente de la chapa, lo que reduce el espesor de tapón arrancado en comparación con el correspondiente al proyectil cilíndrico, en este caso se produce una combinación de *bandas adiabáticas de corte* y formación de un “*cuello*”, cuyo proceso de formación dependerá de la velocidad de impacto. (Ver figura nº07 en página siguiente). (Martínez, Rusinek, Arias, Klepaczko y Sáez, 2008)



Fuente: Anales de Mecánica de la fractura 25, volumen 1.

Figura nº07

De lo expuesto queda comprobado que la fuerza con la que incide el proyectil es la que permitirá la formación del orificio. De esta manera si la fuerza que impulsa al proyectil es perpendicular al plano afectado, es decir, corresponde a una trayectoria incidente con un ángulo de 90° se generarán los siguientes efectos (ver figura nº08):

- a) Sus ejes longitudinales y transversales serán iguales, con lo cual la observación macroscópica informa sobre un *orificio circular*.
- b) Diremos a su vez que la *fuerza* que propulsa al proyectil por ser perpendicular a la placa provoca un orificio de *mayor* envergadura.

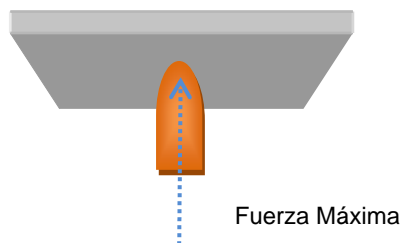


Figura nº08

Por otro lado, a medida que va disminuyendo el ángulo de incidencia, *esta fuerza* se descompone en dos, una *normal* y una *tangencial*, provocando, (ver figura nº09):

- a) La primera es la responsable de ocasionar el *orificio de entrada*, y
- b) La segunda es la que produce la *deformación del material* actuando en la sección del mismo.

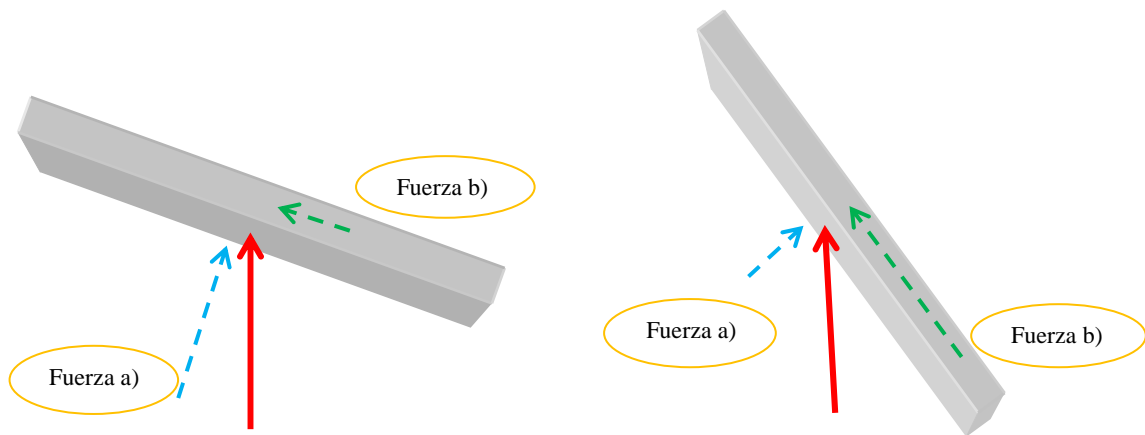


Figura nº 09

A su vez, a medida que disminuye el ángulo de incidencia, la fuerza normal (Fuerza a) se hace pequeña pero la tangencial (Fuerza b) es cada vez mayor, por lo que la deformación será superior y determinará un eje longitudinal de mayor tamaño que el transversal. Estos ejes son útiles para la determinación del ángulo de incidencia.

En cuanto al diseño morfológico, las cualidades del orificio provendrán de la velocidad del proyectil, del espesor del material, de la longitud a la cual se efectuó el disparo, del calibre, la masa del proyectil, así como de la forma del mismo, sobre todo de la punta (Antón Barbera y de Luis y Turégano, 1998).

Asimismo, para estudios sobre la trayectoria de un proyectil en superficies de vidrio, es posible determinar según la orientación con la que haya penetrado el disparo, características particulares que nos permitirán establecer la orientación y dirección del proyectil, es por esto que, si el disparo es efectuado

de izquierda a derecha, se observara un bisel que estará en el sector derecho del orificio de entrada (de forma *ovoide horizontal*) y cuyas líneas concéntricas estarán más juntas del lado izquierdo; pero si el disparo es de derecha a izquierda se invierten los lados de las observaciones del caso anterior, ahora si el disparo es desde arriba, dicho bisel estará en la parte inferior del orificio de entrada (de forma *ovoide vertical*) y las líneas concéntricas se ubicaran en las partes más juntas en la sección superior del orificio; a su vez, si el disparo es desde abajo, se invierten los lados de las observaciones del caso anterior; ahora bien, si el disparo es perpendicular, el orificio de entrada es *circular*, los biseles son parejos en todo su contorno y las líneas concéntricas se distribuyen en formas iguales en todo el perímetro del orificio (Locles,2005).

Según la Perito M. Fernanda Ferreyro, si el estudio es realizado sobre superficies metálicas, las características que se observaran en la superficie afectada serán:

a) En cuanto *al proyectil*: Si este posee una punta aguzada, la capacidad de perforar el metal es mayor, y menor será el hundimiento adyacente. Por el contrario, si la punta es plana, la superficie de aplicación de la fuerza es mayor y distribuida la presión, la huella general es de gran tamaño. Si hubiera pintura sobre la chapa, el desprendimiento es notorio. Si el proyectil es de plomo y la resistencia del metal es importante, la ojiva se aplastara antes de atravesar la chapa, haciendo un orificio de diámetro mayor al que le corresponde verdaderamente al proyectil.

b) Con respecto *al ángulo de tiro o incidencia*: Si el impacto se produce en un ángulo de 90° , le será más fácil al proyectil atravesarlo, y si a ello se le suma que el proyectil posee punta ojival redondeada o chata, hará el efecto de sacabocado. En este caso, la reconstrucción de la superficie afectada por el impacto sería imposible por la falta del material.

Si la punta es ojival aguzada y el punto de aplicación de la fuerza es pequeño, el metal se va a abrir hasta dejar que lo atraviere con todo su diámetro, desplazando sus bordes en sentido de la incidencia. Cuando

ese ángulo comienza a disminuir, se observa una zona de ingreso o huella de arrastre inicial, donde el proyectil comienza a hundir la chapa hasta que la corta. El espesor de la zona de la huella de arrastre se va afinando y los bordes del resto de la huella se invierten, características que señalan la dirección de tiro. Si el ángulo es muy pequeño, no logrará atravesar el metal, aunque puede llegar a fisurarlo.

Particularmente en los casos de impactos con angulación en metales, el proyectil logra desplazar el material o la pintura adyacente en forma de ondas cóncavas que indican su incidencia.

En los casos de canales de roce, donde no se puede observar claramente el inicio y el final de la huella, es importante evaluar estas marcas (M. F. Ferreyro, 2007)

- c) Con respecto *a la determinación del calibre* teniendo en cuenta el orificio de entrada del proyectil la misma autora establece que si la incidencia es perpendicular, se describe un orificio circular en superficies planas; este orificio se puede medir, y nos dará un valor que podría ser asimilado con el diámetro del proyectil, pero hay que considerar una posible deformación de este proyectil al perforar el metal, circunstancia que puede evidenciarse ante una huella total con gran hundimiento y perforación pequeña.

Si la angulación de tiro es menor a 90° , el calibre del proyectil sobre la huella surge del ancho máximo de la huella de arrastre, y no de la amplitud del orificio total, porque el proyectil en esa zona ha cortado el metal, y hace que su cuerpo en todo su diámetro tome contacto con ella. Cuando la huella es solo un arrastre sin perforación, hay que prestar suma atención a la profundidad de la misma. Como el proyectil no ha perforado el metal, pudo ocurrir que haya tomado contacto con la superficie pero no con todo su diámetro; por lo tanto, un proyectil con diámetro de 10 mm podrá dejar una huella de 10 mm si su profundidad tiene por lo menos 5 mm, o bien una de 5 mm si su profundidad es insignificante.

Esto es muy variable, pero debe ser tomado como un punto de cuidado al momento de informar sobre el calibre de un proyectil. Este rozamiento, en la mayor cantidad de casos, si nos permite informar sobre qué calibre de proyectil no fue el actuante, o cuáles son los posibles.

d) Con respecto del *tipo y espesor del metal*; estas características marcaran la resistencia que debe vencer el proyectil. Con una misma velocidad, una lamina metálica fina, se estirara y cortara rápidamente.

Si el metal es más grueso, es posible que el proyectil no llegue a atravesarlo, dejando un hundimiento definido. Si la velocidad del proyectil aumenta y su material es de metales duros, como acero y bronce, con poco hundimiento arranca la zona de impacto en forma de sacabocado. Sobre blindajes metálicos, es normal que el proyectil perforante evierta el metal sobre el borde del orificio de entrada, acrecentándose ese material desplazado cuantos más grueso es el panel de acero (M. F. Ferreyro, 2007)

Es por lo expuesto con antelación que este trabajo utilizará la formula de M. F. Ferreyro, quien basando su estudio en disparos con armas cortas y largas, como así también con proyectiles de distintas geometrías y velocidades, en superficies de madera de distintos tipos, estableció la importancia de la dirección de las fibras de este material a la hora de imprimir el calibre de un proyectil, a través de la medición de la longitud de los ejes longitudinales y transversales de los orificios de entrada y en donde dicha autora expresa que, contando con los ejes mencionados anteriormente se puede arribar a un cono de probabilidad de incidencia del tiro.

La misma establece que si se considera el cilindro descrito por el cuerpo del proyectil y la línea de la superficie afectada-los ejes longitudinales del elemento y la transversal-se obtiene un triangulo útil para la determinación del ángulo de incidencia vertical, siendo esta fórmula:

$$\text{Angulo de incidencia} = 90^\circ - \arcsin \text{EJE MENOR} / \text{EJE MAYOR}$$

A su vez dicha autora establece que en ángulos menores, los proyectiles producen canales inútiles para los calculas con la nombrada formula, ya que estos tienden a desarrollar trayectorias tangenciales, sin perforación; por el contrario, en ángulos mayores, los ejes son prácticamente iguales, pero se puede estimar que estamos ante una angulación entre 90 y 80 grados.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACION

Tipo de investigación:

- Según su metodología es *cuantitativa*.
- Según su diseño es *experimental*.

1-Análisis exploratorio:

Luego de realizar cada disparo de experiencia, los orificios que logran constituirse, en este caso en el blanco de chapa, quedan definidos perfectamente por el proyectil, formando los ejes longitudinales y transversales. El análisis cuantitativo de estos ejes, es lo que se enfoca principalmente, en este trabajo de investigación.

Saber cuál es el ángulo de incidencia del proyectil, entre la boca de fuego de la pistola calibre 9 mm y el blanco abatido, donde se observan el eje longitudinal y transversal de los orificios, es lo que se pretende conseguir por medio de esta experiencia. En este caso los blancos elegidos para realizar dicha experiencia, son de probetas de chapa.

El arma de fuego utilizada y los cartuchos, con los que se efectuarán los disparos de experiencia, serán los mismos en la realización de toda la investigación. Con relación a la munición, ésta será toda de la misma marca y lote de fabricación, ya que la carga propulsora, varía según la marca o tipo de cartucho.

2-Selección de elementos:

2.1 Elección del arma de fuego y la munición.

Para la realización de éste trabajo de investigación, y para la ejecución de los disparos de experiencia, se utilizará un arma de fuego tipo pistola semiautomática calibre 9 mm, marca Hi power, número fabril 448311, con un cañón de 118 milímetros de longitud. En cuanto a la munición, se eligió el calibre 9 mm Luger de la fábrica Magtech, de proyectiles de tipo *blindado*, cuyo núcleo de plomo se encuentra recubierto con otro metal de mayor dureza denominado encamisado, ya que esta posee una máxima penetración pero sin expansión del mismo.

2.2 Elección de la superficie de impacto.

Se tomo como superficie de impacto el acero convencional o de bajo contenido de carbono, utilizado en la industria automotriz y que hoy en día se la está empleando en la fabricación de puertas y portones de viviendas. Tiene un contenido normalmente inferior al 0,20% de carbono.

2.3 Elección de la distancia de disparo.

Esta etapa de la investigación, sirvió para saber la distancia a la que se debían efectuar los disparos, ya que a mayor distancia, el proyectil perdería velocidad y energía, por lo que en el momento de penetrar, no lo haría o no llegaría a perforar la superficie, esto es de sumo interés ya que se debe contar con los ejes característicos de cada orificio. Por lo que la distancia de disparo establecida para esta investigación es de 5 (cinco) metros.

2.4 Elección de los ángulos de incidencia.

Para saber el ángulo de incidencia inicial de la presente investigación, se realizaron diez (10) disparos de arma de fuego. Se utilizo la misma arma de

fuego y munición, que se utilizará en toda la experiencia posterior; éstos se efectuaron sobre probetas de chapa de número 16 (dieciséis), de 15 cm por 12 cm de dimensión, y de 1,5 milímetros de espesor, a los siguientes ángulos de incidencia:

- | | |
|-------|-------|
| ❖ 30° | ❖ 70° |
| ❖ 40° | ❖ 80° |
| ❖ 50° | ❖ 90° |
| ❖ 60° | |

Hasta los 30 grados se constató que no se producía perforación debido a que el proyectil apenas entraba en contacto con la superficie, modificando su dirección y sentido. A su vez, se observó que a un ángulo de incidencia de 40 grados, el proyectil entraba en contacto con el blanco pero sin perforarlo generando una “rasgadura”. Por lo tanto se comenzó a trabajar con el ángulo de incidencia de 50 grados, siendo el menor ángulo a partir del cual, la probeta se perforaba, pudiéndose visualizar los ejes del orificio, motivo de la presente investigación

3-Explicación de la metodología:

La experiencia de disparos se realizó, en un recinto abierto, por lo que no es posible controlar los distintos factores climáticos, que son frecuentes en un medio ambiente al aire libre. No obstante el hecho de que la distancia seleccionada sea reducida, resulta determinante para minimizar la influencia del ambiente sobre los efectos del disparo de modo tal que estos sean despreciables.

Se fabricó un bastidor metálico, en donde fue firmemente sujeta mediante una prensa la probeta que serviría de blanco. El centro de dicho blanco, quedó distante a 0,85 centímetros del piso.

Para colocar el arma, se necesitó un soporte el cual proveyera a la boca de fuego, igual altura al centro del blanco y una base que impidiera su movimiento; para esto se adaptó tres maderas que conforman un trípode. En la unión de estas tres maderas se le adhiere una base de chapa que posee un soporte que contendrá la pistola.

De esta manera, la boca de fuego durante toda la experiencia estuvo a la misma altura que el centro de los blancos, lo que permitió, que todos los disparos se dirigieran hacia el centro de la probeta de metal.

Se realizaron 20 disparos por cada una de las series de ángulos de incidencia, el primer ángulo fue de 50 grados, luego comenzó la graduación entre la línea de tiro del cañón del arma y la probeta de metal, cada 10 grados, esta escala se estableció ya que a menor graduación (menores a 10 grados) las diferencias era muy sutiles para el posterior análisis. Dicha probeta fue graduada hacia la izquierda del observador.

Después de cada disparo, se observaba el blanco en el bastidor para constatar su perforación, luego se retiraba la probeta metálica y se la colocaba sobre una mesa donde se inspeccionaba nuevamente y se identificaba el eje longitudinal y transversal del orificio mediante su medición con Vernier, colocándole la numeración correlativa, para poder cuantificarlos.

4-Muestra:

La muestra de esta investigación son los orificios en los ángulos de incidencia analizados durante la experiencia, que se detallan a continuación:

❖ **50°**

❖ **60°**

❖ **70°**

❖ **80°**

❖ **90°**

5-Elementos de la experiencia:

- ❖ Pistola semiautomática calibre 9mm, marca Browning modelo Hi power, número fabril 448311, con un cañón de 118 milímetros de longitud.



- ❖ Munición calibre 9mm Luger Magtech.



- ❖ Calibrador Vernier.



- ❖ Soporte de probeta de chapa.



- ❖ Soporte con graduación angular.



- ❖ Probeta de chapa de numero 16 de 1,5 mm. de espesor y de 15 cm por 12 cm de dimensión, ubicada en el soporte graduado.



- ❖ Soporte del arma.



CAPITULO IV

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

De las series de disparos efectuados a determinados ángulos de incidencia, se obtuvieron los siguientes antecedentes:

Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 50º

Morfología del orificio

De la observación directa de la *cara incidente* se desprende lo siguiente: Orificio que morfológicamente puede clasificarse como *Piriforme* (ver fotografía nº10), que presenta en uno de sus extremos (el que a su vez coincide con el punto de impacto) *huella de arrastre* con borde irregular en el extremo de la sección, la misma registra a la vez *adherencia cobriza* y *complejos lineales paralelos* con el eje mayor del orificio (ver fotografía nº11).

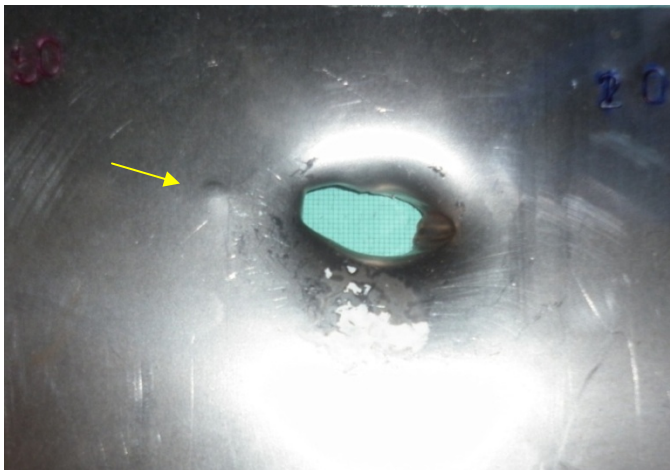
El extremo opuesto del orificio presenta el *plegamiento* del material hacia la cara opuesta de la cara incidente definiendo en el borde plegado *sector recto*. Todo el contorno del orificio se encuentra flexionado definiendo bordes invertidos (ver fotografía nº12).

En la periferia del orificio, opuesto a la huella de arrastre y distante del pliegue recto, sobre la misma línea del eje mayor, se constata una *protuberancia redondeada* (ver fotografía nº10).

Con respecto a su *cara saliente*, este presenta *bordes evertidos*, observando en el sector opuesto a la huella de arrastre *grietas* que definen el contorno de la misma, estas se extienden desde el sector correspondiente al punto de impacto hacia el extremo opuesto del orificio (ver fotografía nº13-a y b).

El borde del orificio va mutando sus características desde el sector correspondiente a la huella de arrastre hacia el extremo opuesto. En el sector de la huella de arrastre el borde es tan delgado que no se observa (a simple vista) la sección del material. Sin embargo, en el extremo opuesto el borde es de mayor espesor, aunque a simple vista, es menor al grosor de la chapa. Así mismo, se aprecia ausencia de material en el sector superior de la huella de arrastre (ver fotografía nº14- a y b).

Por último, en el sector opuesto a la huella de arrastre y continuando con el pliegue descrito en la cara incidente, se observa la fracción del material parcialmente desprendido del orificio. El extremo de esta fracción del material registra forma de copa, con borde recto y en donde a su vez se observa en el sector superior de la copa, la porción de material correspondiente a la fracción desprendida de la huella de arrastre. En la superficie de la copa se aprecia adherencia cobriza (ver fotografía nº15).

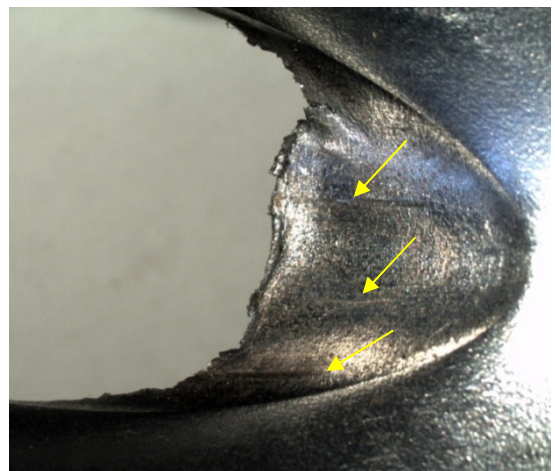


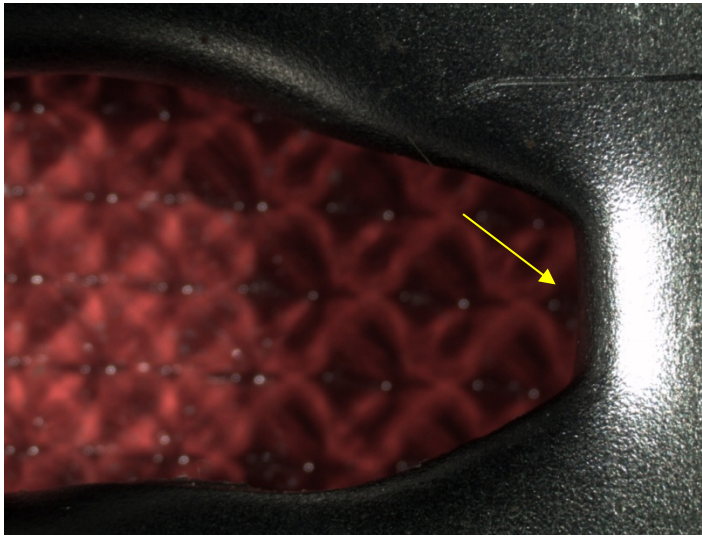
Fotografía nº 10:

Orificio *piriforme* en donde se observa a la izquierda de la imagen y señalado con flecha amarilla *protuberancia redondeada*, mientras que a la derecha de la misma se aprecia huella de arrastre.

Fotografía nº 11:

Huella de arrastre con borde irregular, en donde se constatan, señalado con flechas amarillas *complejos lineales paralelos* y *adherencia cobriza* sobre su superficie.





Fotografía nº 12:

Plegamiento del material hacia la cara opuesta de la cara incidente, definiendo en el borde plegado y señalado con flecha amarilla sector recto.

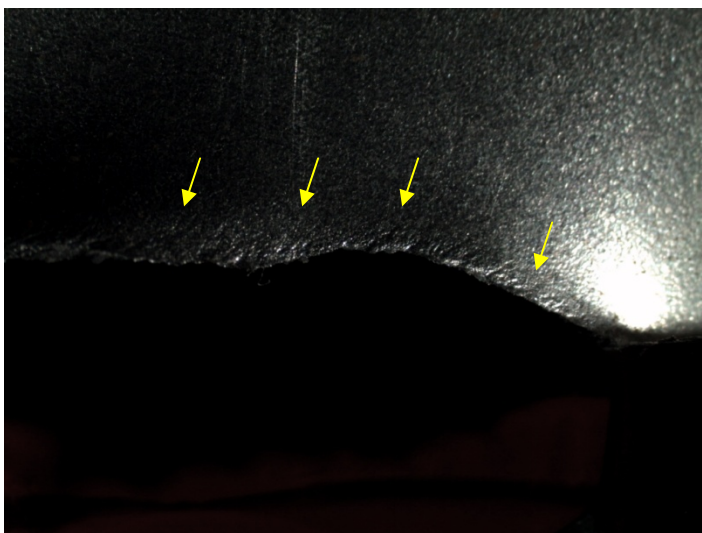
Fotografía nº 13:

Cara saliente del orificio cuyos bordes se encuentran *evertidos* y en donde además se aprecia, señalado con flechas amarillas *grietas* en todo su contorno.



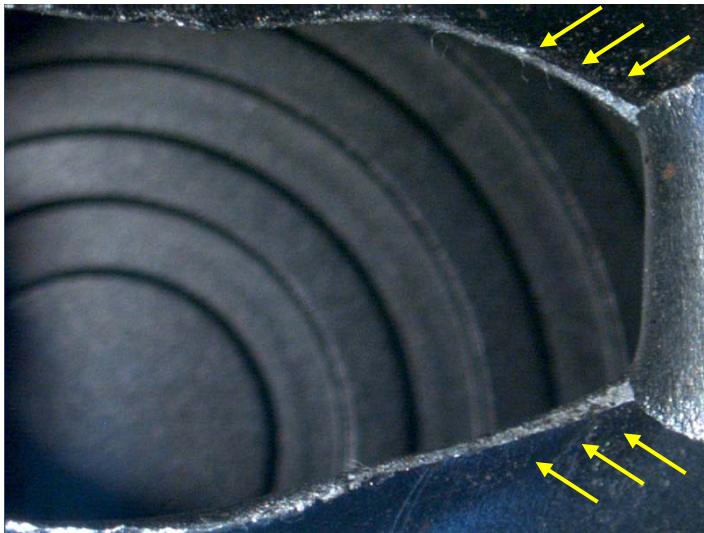
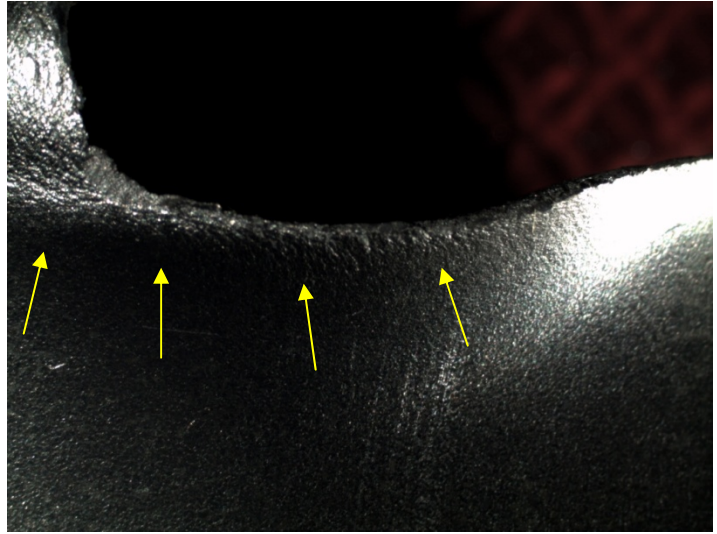
Fotografía nº 13-a:

Sector superior del orificio en donde se observa con aumento bordes *evertidos* y en donde además se aprecia, señalado con flechas amarillas *grietas* en su contorno.



Fotografía nº 13-b:

Sector inferior del orificio en donde se observa con aumento bordes *evertidos* y en donde se aprecia, señalado con flechas amarillas *grietas* en su contorno.

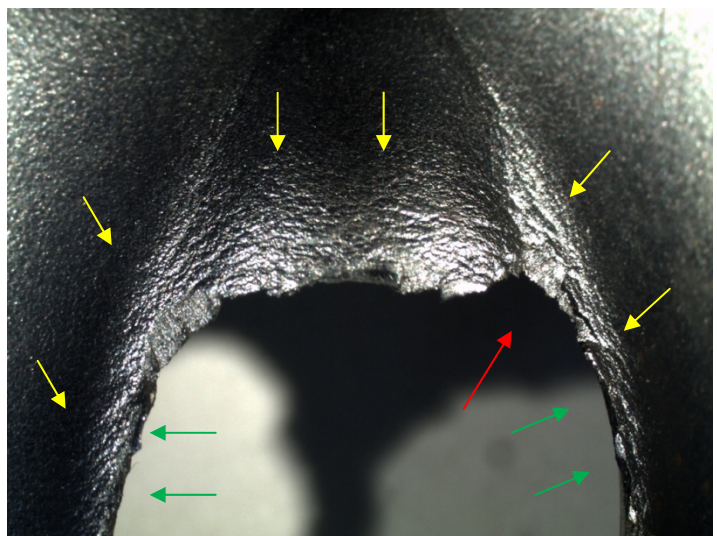


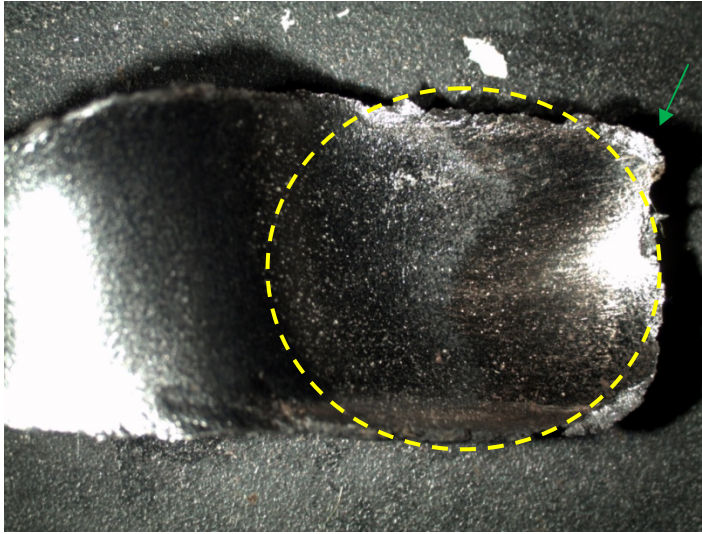
Fotografía nº 14-a:

A la derecha de la imagen se observa en la cara saliente del orificio el borde opuesto a la huella de arrastre. Se señala con flechas amarillas *la sección del borde evertido que posee mayor espesor*.

Fotografía nº 14-b:

A la izquierda de la imagen se observa en la cara saliente de la huella de arrastre y señalado con flechas verdes *borde delgado*, en donde a su vez es posible apreciar *grietas* en su contorno, estas destacadas con flechas amarillas. Asimismo en el sector superior de la huella y señalado con flecha roja, se advierte *ausencia de material*.





Fotografía n°15:

A la izquierda de la imagen se observa en el fondo de la *copa*, la zona circunscripta donde se advierten las *adherencias cobrizas*. A su vez es posible apreciar, señalado con flecha verde, la porción del material desprendido de la huella de arrastre.

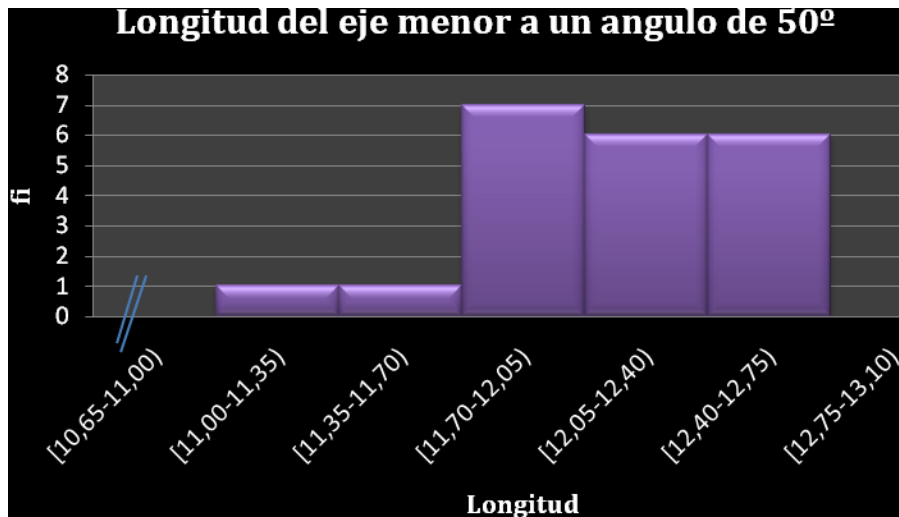
Longitud del eje menor

Tabla 1: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 50°

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[10,65-11,00)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[11,00-11,35)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[11,35-11,70)	1	0,05	4,76	2	0,10	9,52
[11,70-12,05)	7	0,33	33,33	9	0,43	42,86
[12,05-12,40)	6	0,29	28,57	15	0,71	71,43
[12,40-12,75)	6	0,29	28,57	21	1,00	100,00
[12,75-13,10)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Elaboración propia. Año 2010

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje menor que se encuentran en el intervalo [11,70; 12,05) milímetros son 7, representando este valor una proporción de 0,33 respectivamente del total, lo que corresponde a un 33,33% del total.



Fuente: Elaboración propia. Año 2010.

Según lo observado en el grafico, la longitud del eje menor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [11,70; 12,05), con un total de 7 observaciones.

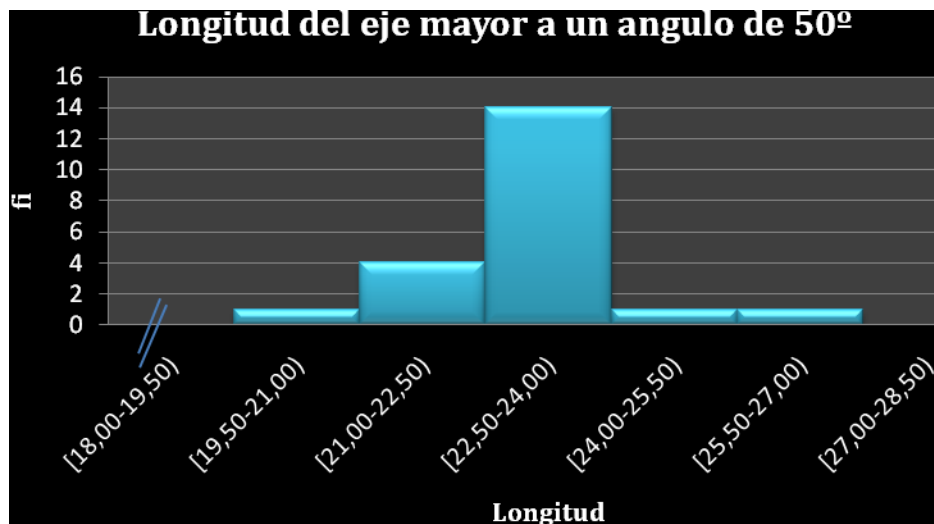
Longitud del eje mayor

Tabla 2: Longitud del eje mayor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 50°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[18,00-19,50)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[19,50-21,00)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[21,00-22,50)	4	0,19	19,05	5	0,24	23,81
[22,50-24,00)	14	0,67	66,67	19	0,90	90,48
[24,00-25,50)	1	0,05	4,76	20	0,95	95,24
[25,50-27,00)	1	0,05	4,76	21	1,00	100,00
[27,00-28,50)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Elaboración propia. Año 2010.

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje mayor que se encuentra en el intervalo [22,50; 24,00) milímetros son 14, representando este valor una proporción de 0,67 del total, lo que corresponde a un 66,67 % del total.



Fuente: Elaboración propia. Año 2010.

Según lo observado en el gráfico, la longitud del eje mayor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [22,50; 24,00), con un total de 14 observaciones.

Tabla de Medidas de Tendencia Central de los ejes:

Tabla 3: Longitud del eje longitudinal y transversal (en milímetros).

	Longitud del eje menor	Longitud del eje mayor	Ángulo calculado en grados
PROMEDIO	12,15	23,10	31,87
MEDIANA	12,18	23,10	32,27
RANGO	1,35	5,60	10,20
1ºCUARTIL	11,89	22,60	30,55
3ºCUARTIL	12,41	23,38	33,24
DESVIACIÓN	0,33	1,17	2,28

Fuente: Elaboración propia. Año 2010.

Como se observa en la tabla de medidas de tendencia central, en esta serie de ángulo de incidencia de 50°: El promedio de la longitud del eje menor

fue de 12,15 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 12,18 milímetros o menos y en el otro 50% más de 12,18 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,33 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 11,89 milímetros y el 75% de los valores es menor a 12,41 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 11,89 y 12,41 milímetros.

Ahora bien, con respecto a la longitud del eje mayor: El promedio de la longitud de este eje fue de 23,10 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 23,10 milímetros o menos y en el otro 50% más de 23,10 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 1,17 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 22,60 milímetros y el 75% de los valores es menor a 23,38 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 22,60 y 23,38 milímetros.

Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 60°

Morfología del orificio

De la observación directa de la *cara incidente* se desprende lo siguiente: Orificio que morfológicamente puede clasificarse como *Piriforme* (ver fotografía nº16), que presenta en uno de sus extremos (el que a su vez coincide con el punto de impacto) *huella de arrastre* con borde irregular en el extremo de la sección, la misma registra a la vez *adherencia cobriza* y *complejos lineales paralelos* con el eje mayor del orificio (ver fotografía nº17).

El extremo opuesto del orificio presenta el *plegamiento* del material hacia la cara opuesta a la cara incidente definiendo en el borde *sector recto*. Todo el contorno del orificio se encuentra flexionado definiendo bordes invertidos (ver fotografía nº18).

En la periferia del orificio, opuesto a la huella de arrastre y distante del pliegue recto, sobre la misma línea del eje mayor, se constata una *protuberancia redondeada* (ver fotografía nº16).

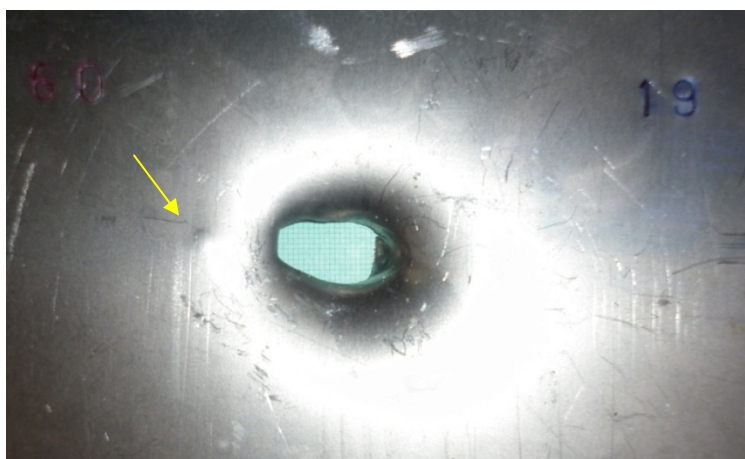
Con respecto a su *cara saliente*, este presenta *bordes evertidos*, observando en la cara opuesta de la huella de arrastre *grietas* que definen el contorno de la misma, estas se extienden desde el sector correspondiente al punto de impacto hacia el extremo opuesto del orificio (ver fotografía nº19). Es posible también apreciar en un sector de la huella de arrastre una *rasgadura* en forma de “V” (ver fotografía nº20).

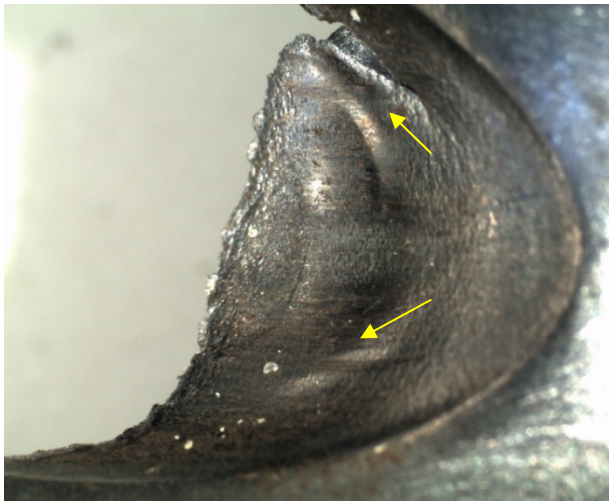
El borde del orificio va mutando sus características desde el sector correspondiente a la huella de arrastre hacia el extremo opuesto. En el sector de la huella de arrastre el borde es tan delgado que no se observa (a simple vista) la sección del material. Sin embargo, en el extremo opuesto el borde es de mayor espesor, aunque a simple vista, es menor al grosor de la chapa (ver fotografía nº21 a y b).

Por último, en el sector opuesto a la huella de arrastre y continuando con el pliegue descrito en la cara incidente, se observa la fracción del material parcialmente desprendido del orificio. El extremo de esta fracción del material registra una forma de copa con borde recto y con adherencia cobriza en su superficie (ver fotografía nº22).

Fotografía nº 16:

Orificio *piriforme* en donde se observa a la izquierda de la imagen y señalado con flecha amarilla *protuberancia redondeada*, mientras que a la derecha de la misma se aprecia *huella de arrastre*.



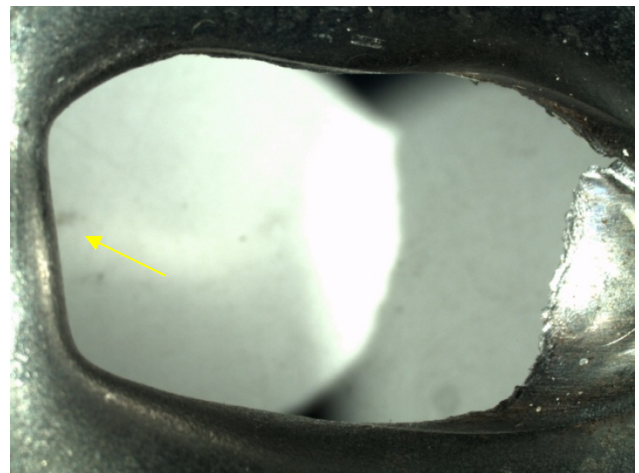


Fotografía nº 17:

Huella de arrastre en donde se observa con aumento *complejos lineales paralelos* señalados con flechas amarillas y que además es posible apreciar *adherencia cobriza*.

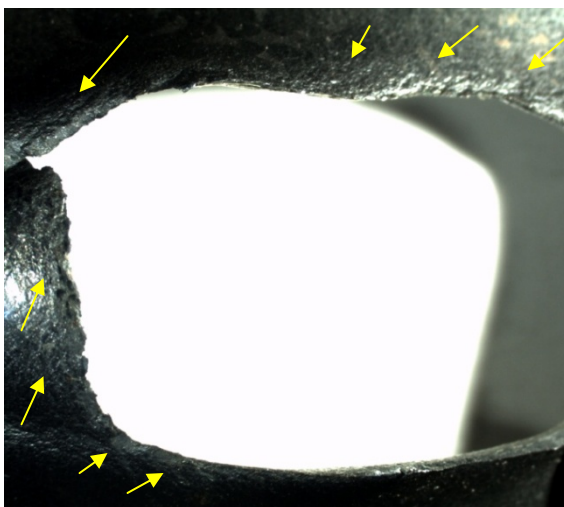
Fotografía nº 18:

Plegamiento del material hacia la cara opuesta de la cara incidente, definiendo en el borde plegado y señalado con flecha amarilla *sector recto*.



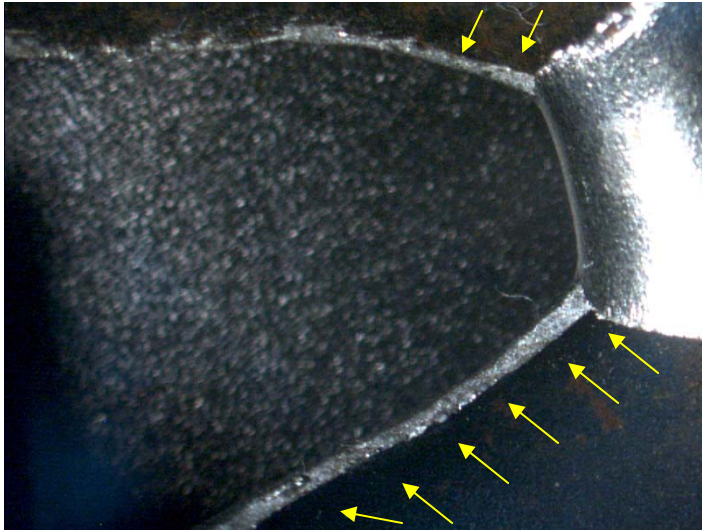
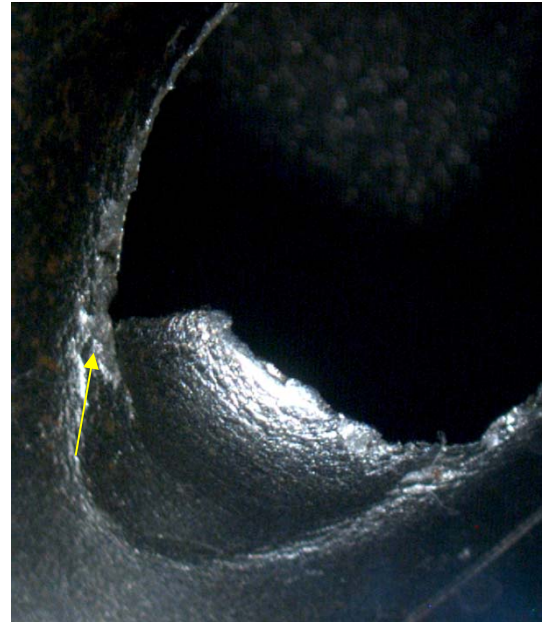
Fotografía nº 19:

Cara saliente del orificio, definiendo *bordes evertidos* en todo su contorno. A su vez es posible apreciar *grietas* que bordean el orificio, estas señaladas con flechas amarillas.



Fotografía nº 20:

Se observa en la cara saliente de la huella de arrastre, señalado con flecha amarilla rasgadura en forma de "V".

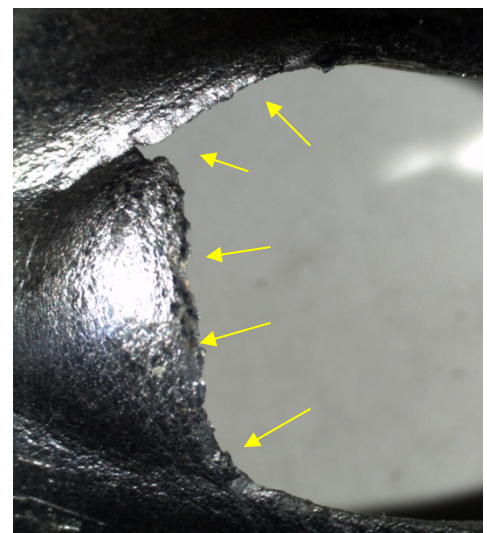


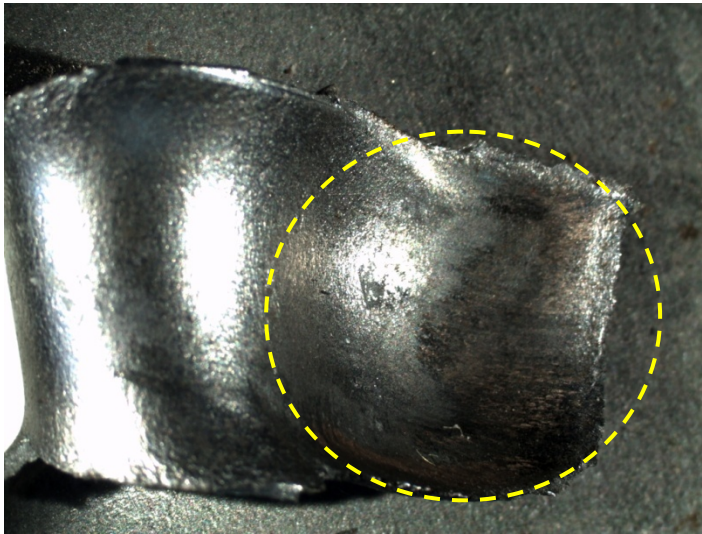
Fotografía nº 21-a:

A la derecha de la imagen de la cara saliente del orificio, se observa el borde opuesto a la huella de arrastre. Se señala con flechas amarillas la zona donde la *sección* del borde evertido posee *mayor espesor*.

Fotografía nº 21-b:

A la izquierda de la imagen de la cara saliente del orificio, se observa *borde delgado*, este señalado con flechas amarillas





Fotografía nº 22:

A la derecha de la imagen se observa en el fondo de la *copa*, en la fracción de material plegado sobre la cara saliente, la zona circunscripta donde se advierten las *adherencias cobrizas*.

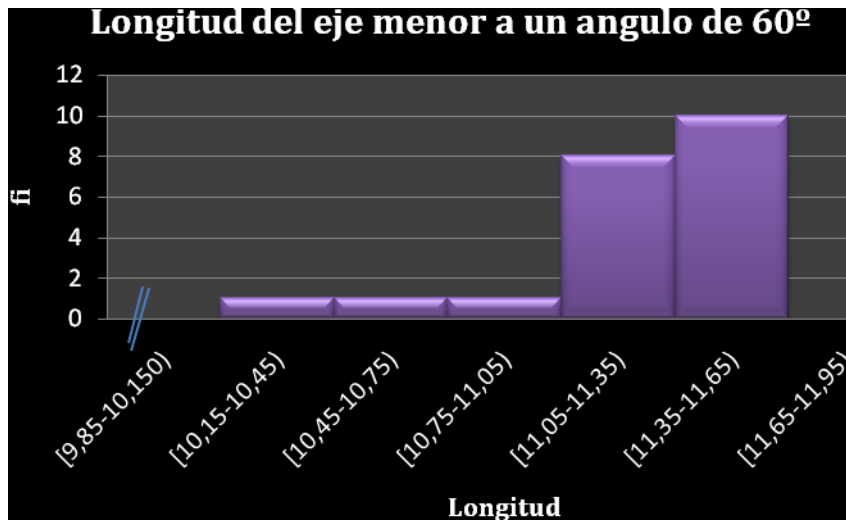
Longitud del eje menor

Tabla 4: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 60°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[9,85-10,150)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[10,15-10,45)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[10,45-10,75)	1	0,05	4,76	2	0,10	9,52
[10,75-11,05)	1	0,05	4,76	3	0,14	14,29
[11,05-11,35)	8	0,38	38,10	11	0,52	52,38
[11,35-11,65)	10	0,48	47,62	21	1,00	100
[11,65-11,95)	0	0,00	0,00	21	1,00	100

Fuente: Elaboración propia. Año 2010.

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje menor que se encuentra en el intervalo de [11,35; 11,65) milímetros son 10, representando este valor una proporción de 0,48 del total, lo que corresponde a un 47,62 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 60°

Según lo observado en el grafico, la longitud del eje menor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [11,35; 11,65), con un total de 10 observaciones.

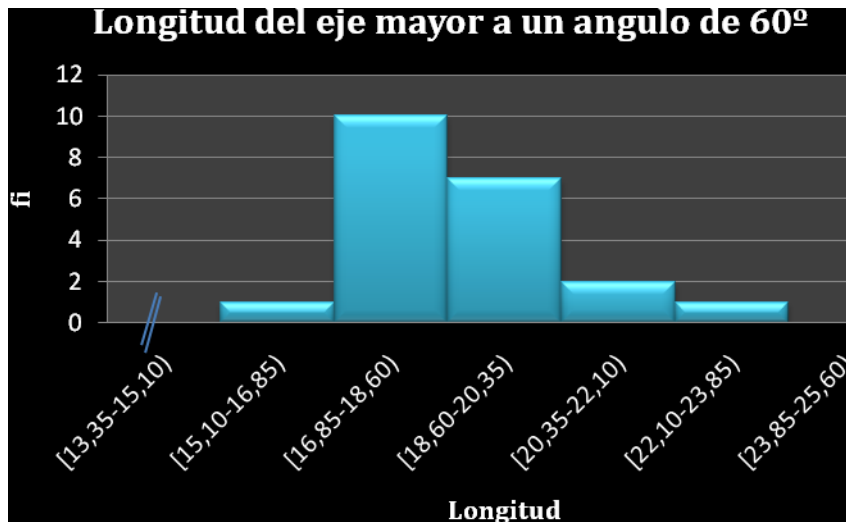
Longitud del eje mayor

Tabla 5: Longitud del eje mayor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 60°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[13,35-15,10)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[15,10-16,85)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[16,85-18,60)	10	0,48	47,62	11	0,52	52,38
[18,60-20,35)	7	0,33	33,33	18	0,86	85,71
[20,35-22,10)	2	0,10	9,52	20	0,95	95,24
[22,10-23,85)	1	0,05	4,76	21	1,00	100,00
[23,85-25,60)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 60°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje mayor que se encuentran en el intervalo de [16,85; 18,60) milímetros son 10, representando este valor una proporción de 0,48 del total, lo que corresponde a un 47,62 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo a 60°

Según lo observado en el gráfico, la longitud del eje mayor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [16,85; 18,60), con un total de 10 observaciones.

Tabla de Medidas de Tendencia Central de los ejes:

Tabla 6: Eje longitudinal y transversal (en milímetros).

	Longitud del eje menor	Longitud del eje mayor	Ángulo calculado en grados
PROMEDIO	11,26	18,98	36,61
MEDIANA	11,33	18,70	37,57
RANGO	1,05	5,85	11,66
1ºCUARTIL	11,20	18,10	35,04
3ºCUARTIL	11,36	19,73	38,25
DESVIACIÓN	0,24	1,39	2,96

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 60°

Como se observa en la tabla de medidas de tendencia central, en esta serie de ángulo de incidencia de 60°: El promedio de la longitud del eje menor

fue de 11,26 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 11,33 milímetros o menos y en el otro 50% más de 11,33 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,24 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 11,20 milímetros y el 75% de los valores es menor a 11,36 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 11,20 y 11,36 milímetros.

Ahora bien, con respecto a la longitud de eje mayor: El promedio de la longitud de este eje fue de 18,98 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 18,7 milímetros o menos y en el otro 50% más de 18,70 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 1,39 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 18,10 milímetros y el 75% de los valores es menor a 19,73 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 18,10 y 19,73 milímetros.

Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 70º

Morfología del orificio

De la observación directa de la *cara incidente* se desprende lo siguiente: Orificio que morfológicamente puede clasificarse como *Piriforme* (ver fotografía nº23), que presenta en su base (que a su vez coincide con el punto de impacto) *aro de penetración* con borde regular en el extremo de la sección, la misma registra a la vez *adherencia cobriza* (ver fotografía nº24).

El extremo opuesto de la base del orificio presenta el *plegamiento* del material hacia la cara opuesta a la cara incidente, definiendo en el borde *sector curvo*. Todo el contorno del orificio se encuentra flexionado definiendo bordes invertidos (ver fotografía nº25).

En la periferia del orificio, opuesto al aro de penetración y distante del pliegue curvo, sobre la misma línea del eje mayor, se constata con mayor claridad, una *protuberancia redondeada* (ver fotografía nº26).

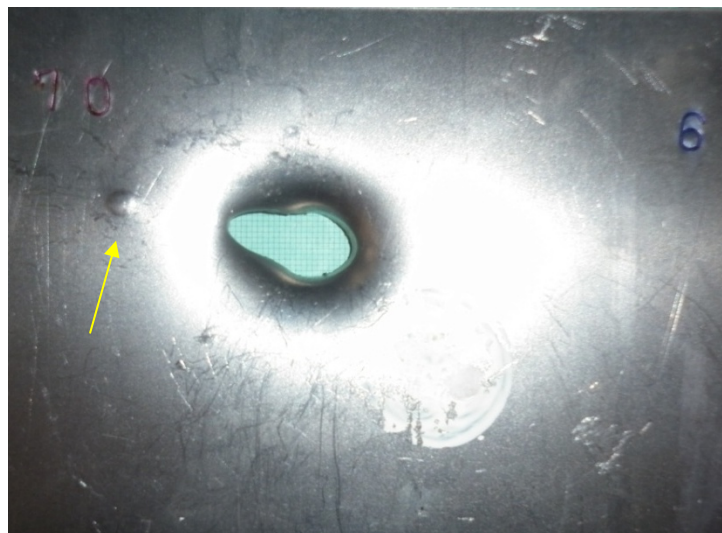
Con respecto a su *cara saliente*, este presenta *bordes evertidos*, observando en la cara opuesta del aro de penetración *grietas* que definen el contorno de la misma, estas se extienden desde el sector correspondiente al punto de impacto hacia el extremo opuesto de la base del orificio (ver fotografía nº27).

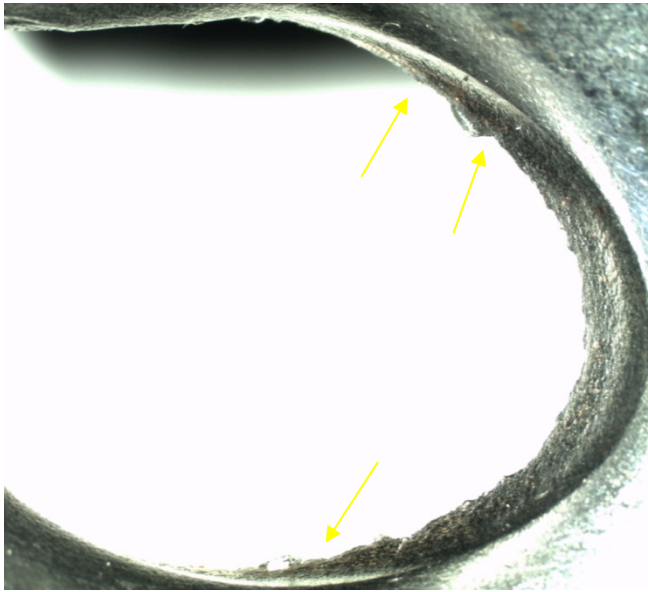
El borde va mutando sus características desde el sector correspondiente al aro de penetración hacia el extremo opuesto. En el sector del aro de penetración el borde es tan delgado que no se observa (a simple vista) la sección del material. Sin embargo, en el extremo opuesto el borde es de mayor espesor, aunque a simple vista, es menor al grosor de la chapa (ver fotografía nº28-a y b).

Por último, en el sector opuesto al aro de penetración y continuando con el pliegue descrito en la cara incidente, se observa la fracción del material parcialmente desprendido del orificio. El extremo de esta fracción del material registra una forma de copa, con borde redondeado y con notable adherencia cobriza (ver fotografía nº29).

Fotografía nº 23:

Orificio *piriforme* en donde se observa (a la izquierda de la imagen) señalado con flecha amarilla *protuberancia redondeada*, mientras que a la derecha de la misma se aprecia *aro de penetración*.



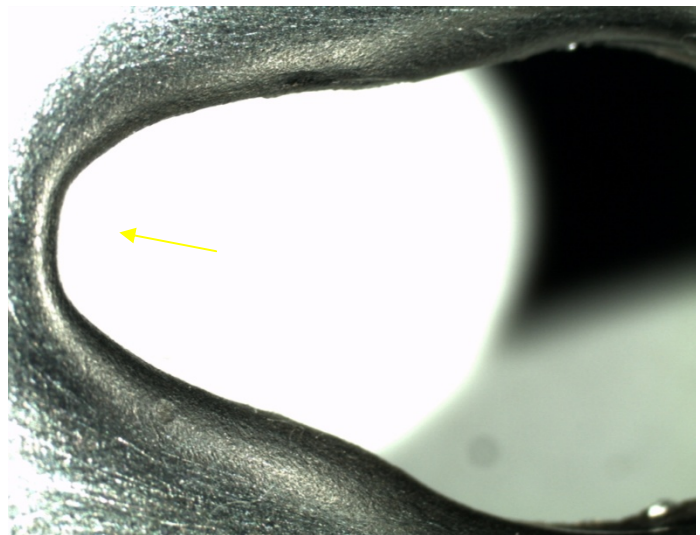


Fotografía nº 24:

Se observa en el sector del punto de impacto del proyectil *aro de penetración* en donde además es posible apreciar, señalado con flecha amarilla *adherencia cobriza* en su contorno.

Fotografía nº 25:

Se observa en el sector opuesto al punto de impacto del proyectil *plegamiento del material*, con borde *redondeado*, este señalado con flecha amarilla

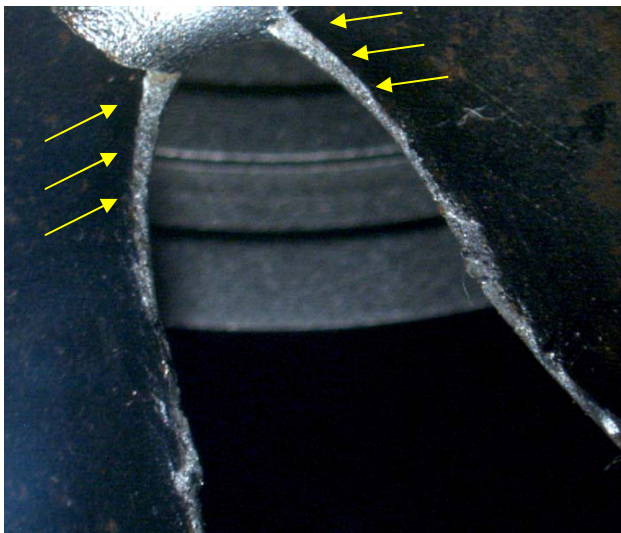
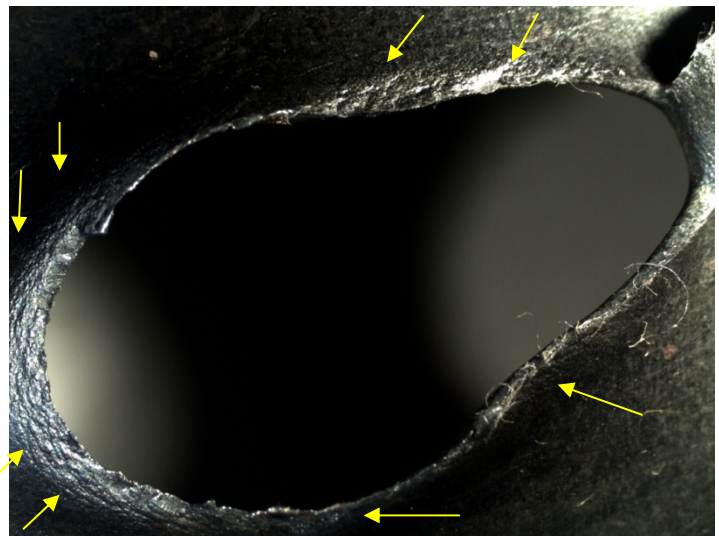




Fotografía nº 26:

Se observa en el sector distante al aro de penetración con aumento *protuberancia redondeada*.

Fotografía nº 27:
Se observa en la cara saliente del orificio *borde evertido* y señalado con flechas amarillas, *grietas* en todo su contorno.

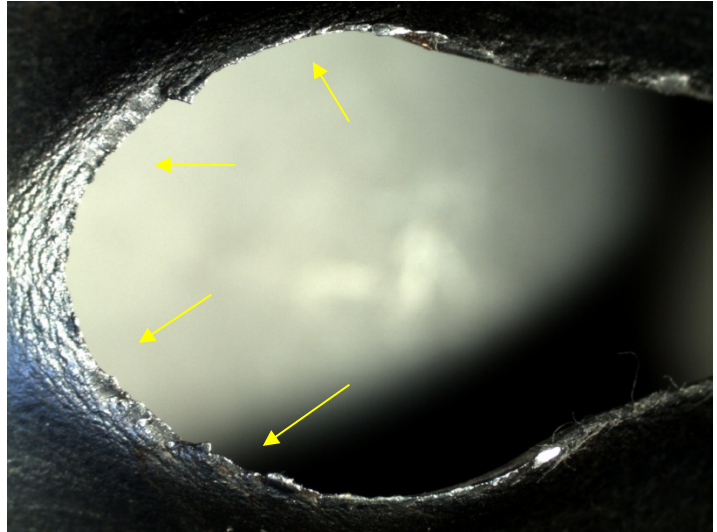


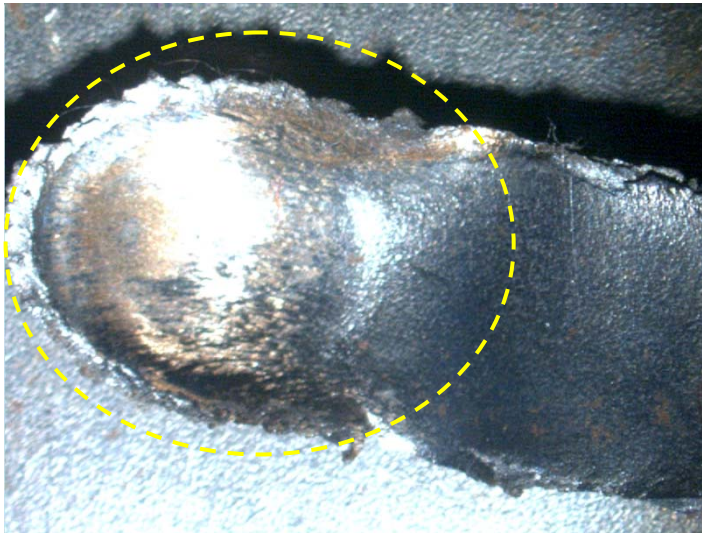
Fotografía nº 28-a:

Se observa en el borde opuesto al aro de penetración (cara saliente) señalado con flechas amarillas la *sección del borde evertido de mayor espesor*.

Fotografía nº 28-b:

Se observa en el sector izquierdo de la imagen *borde delgado*, este señalado con flechas amarillas.





Fotografía nº 29:

A la izquierda de la imagen se observa en el fondo de la *copa*, en la fracción de material plegado sobre la cara saliente, la zona circunscripta donde se advierten las *adherencias cobrizas*.

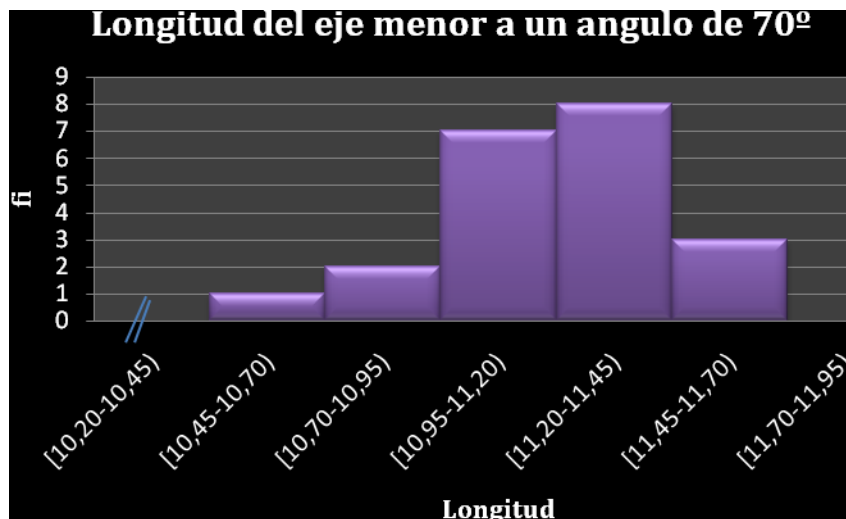
Longitud del eje menor

Tabla 7: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 70°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[10,20-10,45)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[10,45-10,70)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[10,70-10,95)	2	0,10	9,52	3	0,14	14,29
[10,95-11,20)	7	0,33	33,33	10	0,48	47,62
[11,20-11,45)	8	0,38	38,10	18	0,86	85,71
[11,45-11,70)	3	0,14	14,29	21	1,00	100,00
[11,70-11,95)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 70°.

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje menor que se encuentra en el intervalo de [11,20; 11,45) milímetros son 8, representando este valor una proporción de 0,38 del total, lo que corresponde a un 38,10 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 70°.

Según lo observado en el grafico, la longitud del eje menor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [11,20; 11,45), con un total de 8 observaciones.

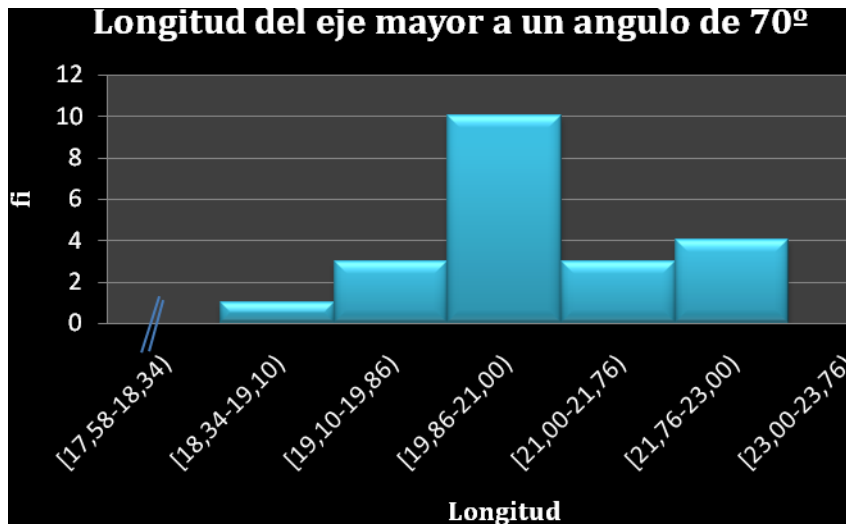
Longitud del eje mayor

Tabla 8: Longitud del eje mayor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 70°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[17,58-18,34)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[18,34-19,10)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[19,10-19,86)	3	0,14	14,29	4	0,19	19,05
[19,86-21,00)	10	0,48	47,62	14	0,67	66,67
[21,00-21,76)	3	0,14	14,29	17	0,81	80,95
[21,76-23,00)	4	0,19	19,05	21	1,00	100,00
[23,00-23,76)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 70°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje mayor que se encuentra en el intervalo de [19,86; 21,00) milímetros son 10, representando este valor una proporción de 0,48 del total, lo que corresponde a un 47,62 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 70°

Según lo observado en el grafico, la longitud del eje mayor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [19,86; 21,00), con un total de 10 observaciones.

Tabla de Medidas de Tendencia Central de los ejes:

Tabla 8: Eje longitudinal y transversal (en milímetros).

	Longitud del eje menor	Longitud del eje mayor	Ángulo calculado en grados
PROMEDIO	11,17	20,73	32,64
MEDIANA	11,20	20,48	32,71
RANGO	0,85	3,05	5,01
1°CUARTIL	11,04	20,29	31,81
3°CUARTIL	11,28	21,36	33,46
DESVIACIÓN	0,21	0,84	1,44

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 70°

Como se observa en la tabla de medidas de tendencia central, en esta serie de ángulo de incidencia de 70°: El promedio de la longitud del eje menor fue de 11,17 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 11,20 milímetros o menos y en el otro 50% más de 11,20 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,21 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 11,04 milímetros y el 75% de los valores es menor a 11,28 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 11,04 y 11,28 milímetros.

Ahora bien, con respecto a la longitud de eje mayor: El promedio de la longitud de este eje fue de 20,73 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 20,48 milímetros o menos y en el otro 50% más de 20,48 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,84 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 20,29 milímetros y el 75% de los valores es menor a 21,36 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 20,29 y 21,36 milímetros.

Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 80°

Morfología del orificio

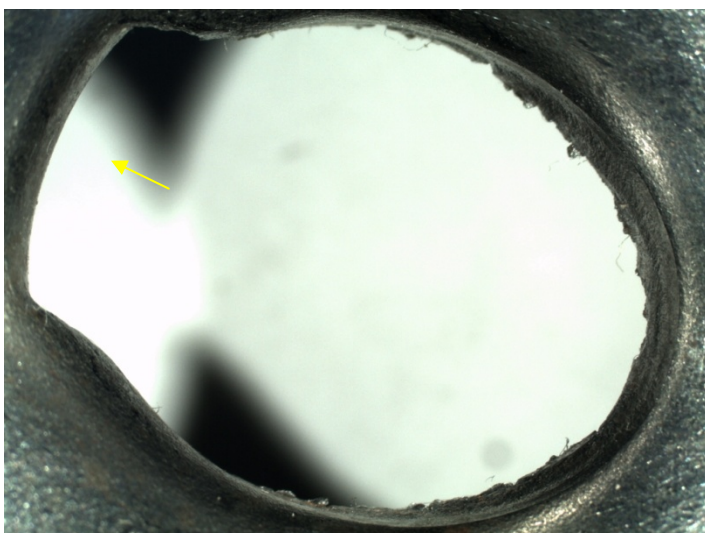
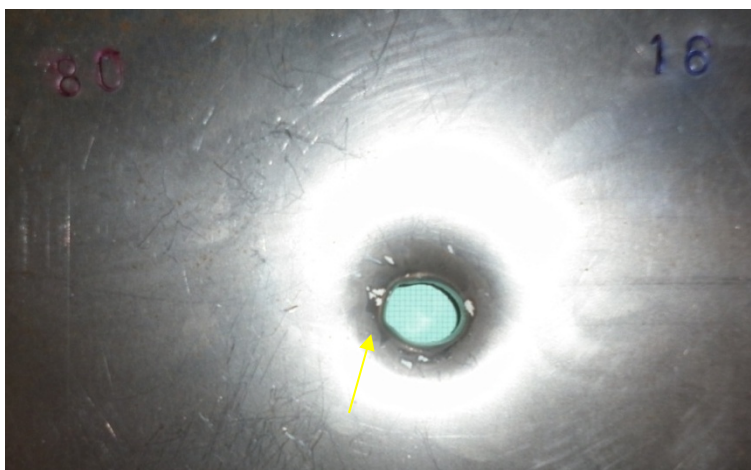
De la observación directa de la *cara incidente* se desprende lo siguiente: Orificio que morfológicamente puede clasificarse como *ovoide* (ver fotografía nº30), que presenta en su contorno *aro de penetración* con borde regular en el extremo de la sección; esta se interrumpe por presentar en el sector opuesto al punto de impacto *borde recto* (en la mayoría de los casos) o de una curvatura muy tendida (ver fotografía nº31). Todo el contorno del orificio se encuentra flexionado definiendo bordes invertidos.

Con respecto a su *cara saliente*, este presenta una forma que puede clasificarse como *tronco cónico* con *bordes evertidos* (ver fotografía nº32), observando *grietas* y *rasgadura* que define un pétalo, esta con *adherencia*

cobriza en su superficie, ubicada en el sector opuesto al aro de penetración, así mismo se observan *fisuras*, las que aumentan su tamaño en la región opuesta al punto de impacto, definiendo así el contorno de la misma (ver fotografía nº33). A su vez se advierte, que en la zona próxima al punto de impacto, la altura del cono es mucho menor que la que presenta en el extremo opuesto del ovoide, donde la zona rasgada se encuentra perpendicular a la superficie de la probeta.

Fotografía nº 30:

Orificio *ovoide* en donde se observa en el sector izquierdo y señalado con flecha amarilla, *borde recto*.

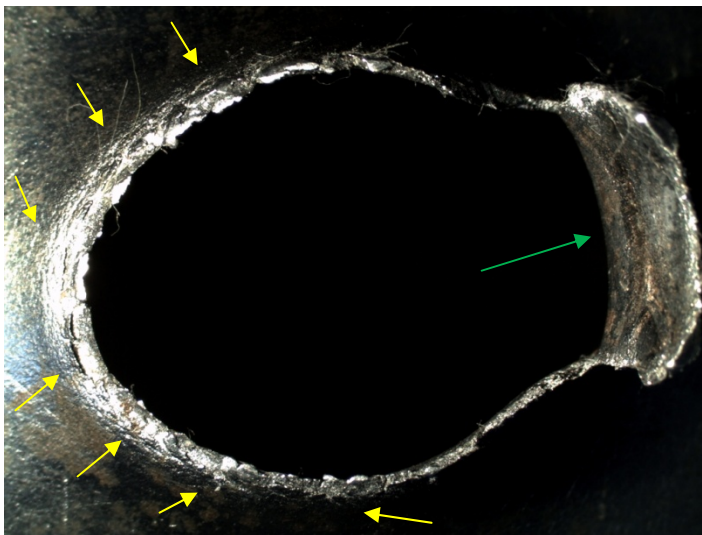
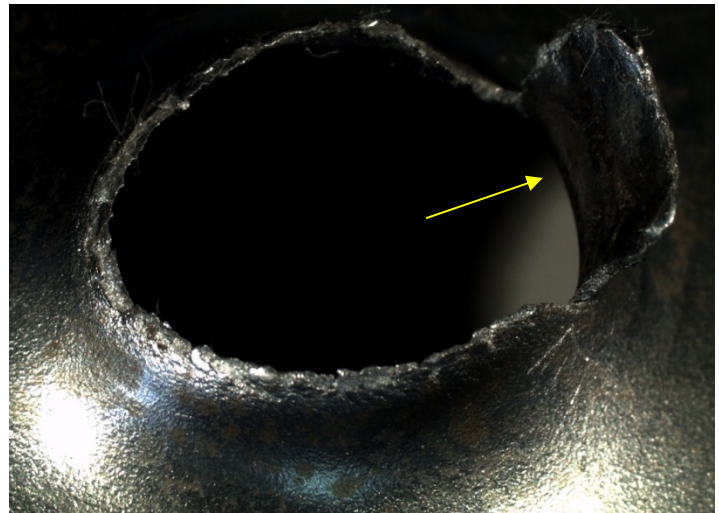


Fotografía nº 31:

Se observa en el sector del punto de impacto del proyectil *aro de penetración*. Además es posible apreciar *borde recto* en el sector opuesto al aro, este señalado con flecha amarilla.

Fotografía nº 32:

Se observa en la cara saliente, *orificio tronco-cónico*, y señalado con flecha amarilla, se aprecia *rasgadura perpendicular al soporte*, está en forma de pétalo.



Fotografía nº 33:

Se observa en la cara saliente del orificio *borde evertido* y *fisuras* en su contorno, a su vez se señala con flechas amarillas *grietas*, que bordean el orificio; asimismo es posible apreciar en la *rasgaduras adherencia cobriza*, esta se señala con flecha verde.

Longitud del eje menor

Tabla 9: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 80°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[9,70-9,90)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[9,90-10,10)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[10,10-10,30)	1	0,05	4,76	2	0,10	9,52
[10,30-10,50)	2	0,10	9,52	4	0,19	19,05
[10,50-10,70)	12	0,57	57,14	16	0,76	76,19
[10,70-10,90)	5	0,24	23,81	21	1	100,00
[10,90-11,10)	0	0,00	0,00	21	1	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 80°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje menor que se encuentra en el intervalo de [10,50; 10,70) milímetros son 12, representando este valor una proporción de 0,57 del total, lo que corresponde a un 57,14 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 80°

Según lo observado en el gráfico, la longitud del eje menor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [10,50; 10,70), con un total de 12 observaciones.

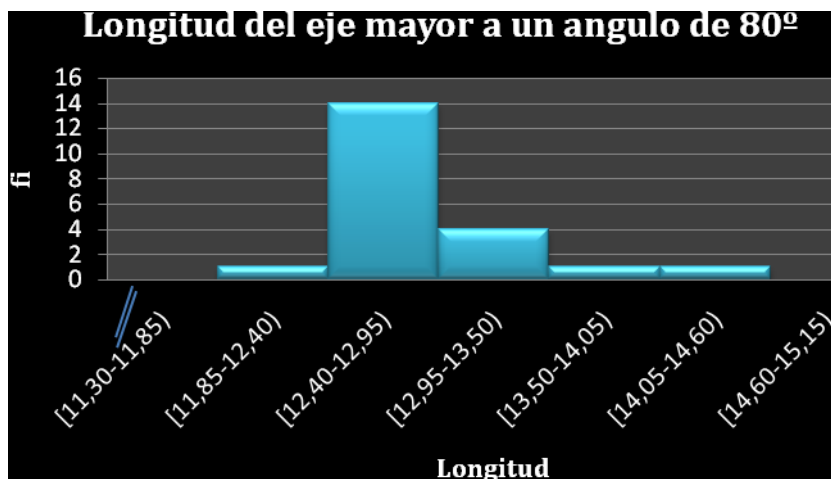
Longitud del eje mayor

Tabla 10: Longitud del eje mayor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 80°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[11,30-11,85)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[11,85-12,40)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[12,40-12,95)	14	0,67	66,67	15	0,71	71,43
[12,95-13,50)	4	0,19	19,05	19	0,90	90,48
[13,50-14,05)	1	0,05	4,76	20	0,95	95,24
[14,05-14,60)	1	0,05	4,76	21	1,00	100,00
[14,60-15,15)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 80°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje mayor que se encuentra en el intervalo de [12,40; 12,95) milímetros son 14, representando este valor una proporción de 0,67 del total, lo que corresponde a un 66,67 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 80°

Según lo observado en el gráfico, la longitud del eje mayor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [12,40; 12,95), con un total de 14 observaciones.

Tabla de Medidas de Tendencia Central de los ejes:

Tabla 11: Eje longitudinal y transversal (en milímetros).

	Longitud del eje menor	Longitud del eje mayor	Ángulo calculado en grados
PROMEDIO	10,59	12,96	54,99
MEDIANA	10,60	12,83	55,35
RANGO	0,70	2,20	12,00
1°CUARTIL	10,53	12,60	53,78
3°CUARTIL	10,66	13,14	56,89
DESVIACIÓN	0,16	0,53	2,76

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 80°

Como se observa en la tabla de medidas de tendencia central, en esta serie de ángulo de incidencia de 80°: El promedio de la longitud del eje menor fue de 10,59 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 10,60 milímetros o menos y en el otro 50% más de 10,60 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,16 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 10,53 milímetros y el 75% de los valores es menor a 10,66 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 10,53 y 10,66 milímetros.

Ahora bien, con respecto a la longitud de eje mayor: El promedio de la longitud de este eje fue de 12,96 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 12,83 milímetros o menos y en el otro 50% más de 12,83 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,53 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 12,60 milímetros y el 75% de los valores es menor a 13,14 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 12,60 y 13,14 milímetros.

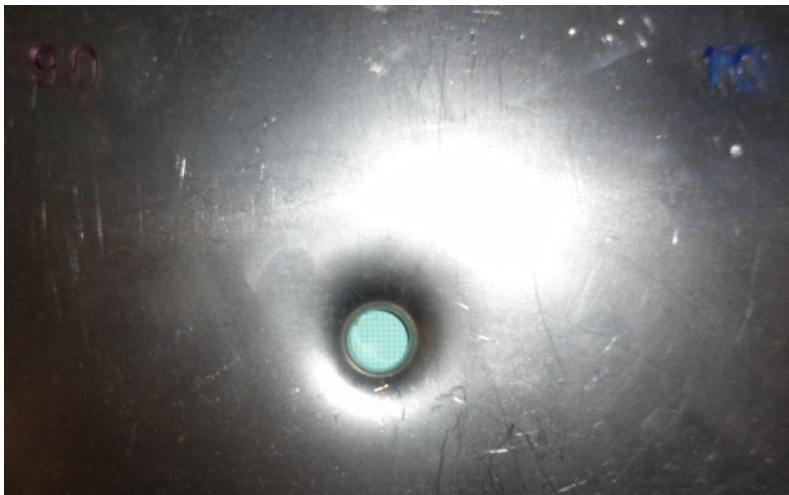
Datos obtenidos a un ángulo de incidencia de 90°

Morfología del orificio

De la observación directa de la *cara incidente* se desprende lo siguiente: Orificio que morfológicamente puede clasificarse como *ligeramente ovoide* (ver fotografía nº34), que presenta en su contorno *aro de penetración* con borde regular en el extremo de la sección (ver fotografía nº35). Todo el contorno del orificio se encuentra flexionado definiendo *bordes invertidos*.

Con respecto a su *cara saliente*, este presenta una forma que puede clasificarse como *tronco cónico* con *borde evertido* (ver fotografía nº36), observando *grietas* y también fisuras (ver fotografía nº37), distribuidas

uniformemente en todo su contorno, la altura del cono presenta diferencias pequeñas entre la zona de impacto y el extremo opuesto.

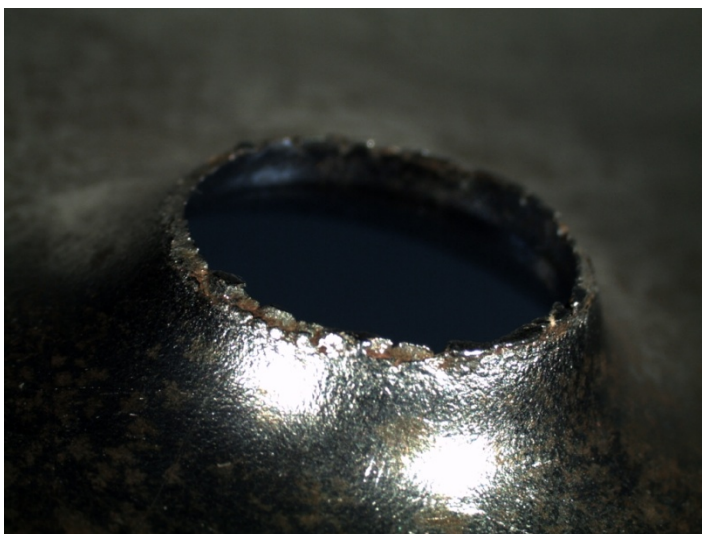
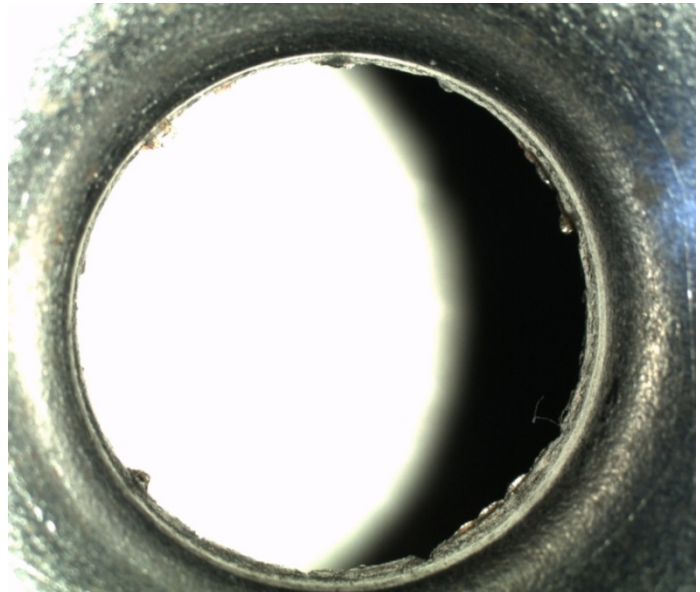


Fotografía nº 34:

Orificio *ovoide* definido en todo su contorno.

Fotografía nº 35:

Se observa en el sector del punto de impacto del proyectil *aro de penetración*.

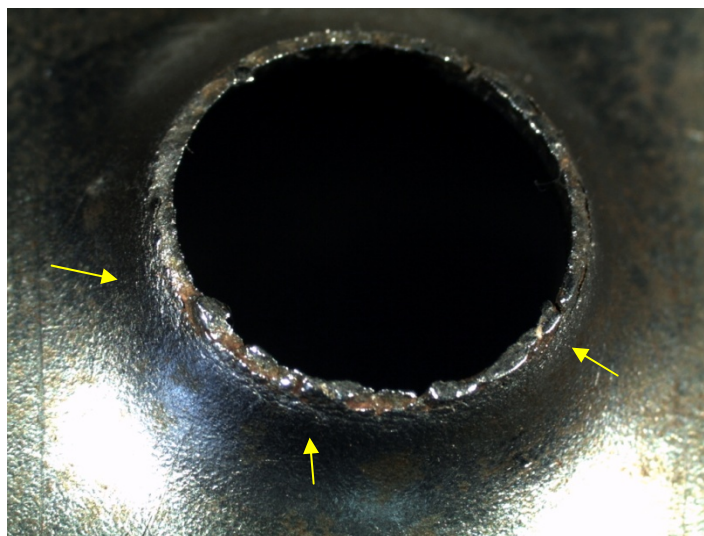


Fotografía nº 36:

Se observa en la cara saliente, *orificio tronco-cónico*.

Fotografía nº 37:

Se observa en la cara saliente del orificio *borde evertido* y señalado con flechas amarillas, *grietas* que bordean el orificio, asimismo se aprecian *fisuras* en todo su contorno.



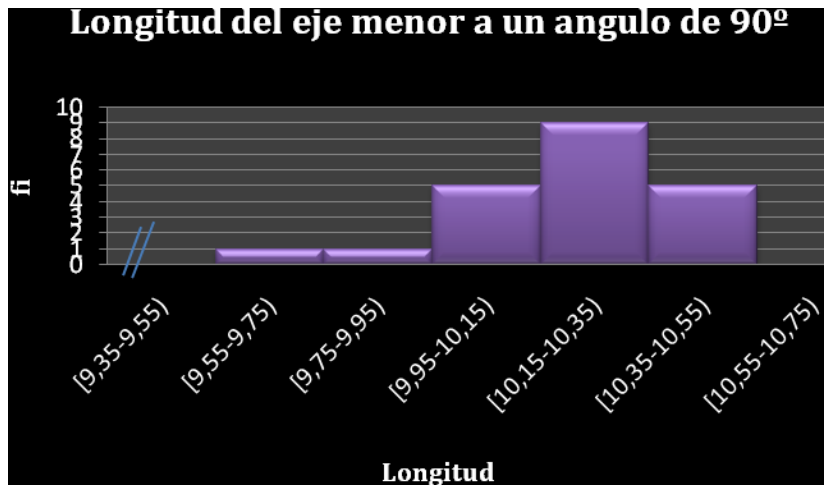
Longitud del eje menor

Tabla 12: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 90°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[9,35-9,55)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[9,55-9,75)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[9,75-9,95)	1	0,05	4,76	2	0,10	9,52
[9,95-10,15)	5	0,24	23,81	7	0,33	33,33
[10,15-10,35)	9	0,43	42,86	16	0,76	76,19
[10,35-10,55)	5	0,24	23,81	21	1,00	100,00
[10,55-10,75)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo 90°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje menor que se encuentra en el intervalo de [10,15; 10,35) milímetros son 9, representando este valor una proporción de 0,43 del total, lo que corresponde a un 42,86 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo 90°

Según lo observado en el grafico, la longitud del eje menor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [10,15; 10,35), con un total de 9 observaciones.

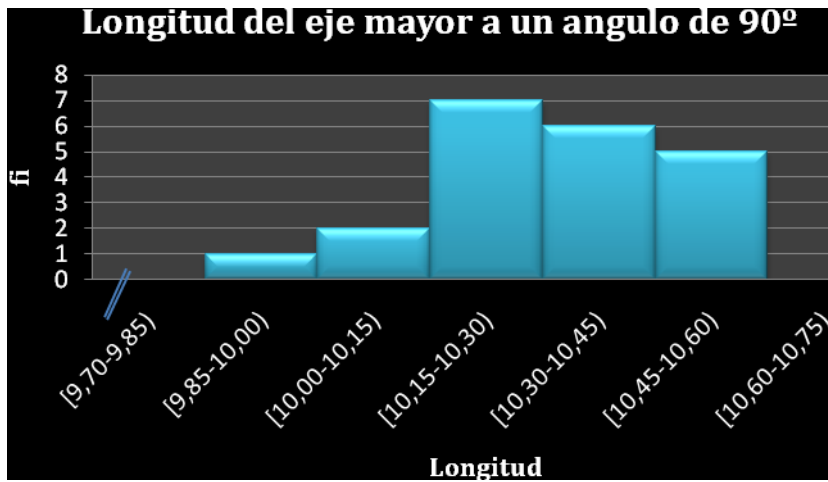
Longitud del eje mayor

Tabla 13: Longitud del eje menor (en milímetros) a un ángulo de incidencia de 90°.

	fi	fri	fri%	Fi	Fri	Fri%
[9,70-9,85)	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00
[9,85-10,00)	1	0,05	4,76	1	0,05	4,76
[10,00-10,15)	2	0,10	9,52	3	0,14	14,29
[10,15-10,30)	7	0,33	33,33	10	0,48	47,62
[10,30-10,45)	6	0,29	28,57	16	0,76	76,19
[10,45-10,60)	5	0,24	23,81	21	1,00	100,00
[10,60-10,75)	0	0,00	0,00	21	1,00	100,00

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 90°

Como se aprecia en la tabla de distribución de frecuencia, puede decirse que de la muestra estudiada, las longitudes del eje mayor que se encuentra en el [10,15; 10,30) milímetros son 7, representando este valor una proporción de 0,33 milímetros del total, lo que corresponde a un 33,33 % del total.



Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 90°

Según lo observado en el gráfico, la longitud del eje mayor con mayor frecuencia, se encontró en el intervalo de clase [10,15; 10,30), con un total de 7 observaciones.

Tabla de Medidas de Tendencia Central de los ejes:

Tabla 14: Eje longitudinal y transversal (en milímetros).

	Longitud del eje menor	Longitud del eje mayor	Ángulo calculado en grados
PROMEDIO	10,21	10,33	82,57
MEDIANA	10,23	10,35	82,08
RANGO	0,70	0,55	14,87
1ºCUARTIL	10,10	10,25	79,49
3ºCUARTIL	10,31	10,41	84,39
DESVIACIÓN	0,17	0,14	4,91

Fuente: Experiencia de disparo a un ángulo de 90°

Como se observa en la tabla de medidas de tendencia central, en esta serie de ángulo de incidencia de 90°: El promedio de la longitud del eje menor fue de 10,21 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se

obtuvieron orificios con una longitud de 10,23 milímetros o menos y en el otro 50% más de 10,23 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,17 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 10,10 milímetros y el 75% de los valores es menor a 10,31 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 10,10 y 10,31 milímetros.

Ahora bien, con respecto a la longitud de eje mayor: El promedio de la longitud de este eje fue de 10,33 milímetros, además se observó que en el 50% de los datos se obtuvieron orificios con una longitud de 10,35 milímetros o menos y en el otro 50% más de 10,35 milímetros. En promedio los valores se separan de la media aritmética en 0,14 milímetros. El 25% de los valores de la variable es menor a 10,25 milímetros y el 75% de los valores es menor a 10,41 milímetros. Por lo tanto el 50% de los datos de la variable se encuentra entre 10,25 y 10,41 milímetros.

CAPITULO V

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Teniendo en cuenta las variables de la presente investigación se llego a las siguientes conjeturas:

Morfología del orificio:

De los orificios de las correspondientes series de disparo se desprende que para ángulos de incidencia de 50 a 70 grados la figura que provoca el paso del proyectil en el blanco es "*piriforme*"; su borde con respecto a la cara incidente es *invertido*. Por el contrario, se observa en su cara saliente *bordes evertidos*, a su vez en estos es posible apreciar la *sección del material*.

En la cara incidente se aprecia en series de ángulos de 50 a 70 grados *protuberancia redondeada*, ubicada en la periferia del orificio, distante del extremo opuesto al punto incidente, como así también *huella de arrastre del proyectil*, con *estrías y adherencias cobrizas* en su superficie.

Es posible, en estas tres series de disparos apreciar también el *semi-desprendimiento del material* del orificio que se presenta como un pétalo que en su extremo distal adopta forma de *copa* donde se repiten las *adherencias cobrizas*.

Así mismo en la serie de 50 grados se aprecia en uno de los vértices de la huella de arrastre la *falta de una pequeña fracción*. Esta porción es en *forma de "V"*, a su vez la misma se encuentra sujeta al extremo final del pétalo (copa). Por el contrario en serie de 60 grados la falta de la anterior fracción es reemplazada por una *rasgadura* de la misma conformación que la porción descrita anteriormente.

Con respecto a la serie de 70° no se aprecia la huella de arrastre ya que el modelo de perforación determina un *aro de penetración* donde tampoco se observan las adherencias cobrizas. No obstante continua apareciendo el pétalo que en su extremo distal presenta la forma de “*copa*” donde se mantiene el fenómeno de *adherencias cobrizas*.

Ahora bien, con respecto a los ángulos de 80 y 90 grados, el plano afectado presenta orificios de conformación *ovoide*. A la vez se observa que el corte del orificio adopta forma *tronco cónica*, con *bordes invertidos* en su cara incidente y *evvertidos* en la saliente con *fisuras* en todo su contorno.

En estas series se mantiene ausente la huella de arrastre, reemplazada desde las series de 70 grados por el *aro de penetración*. Tampoco se han observado *estrías*. Las *adherencias cobrizas* se han registrado solamente en la serie de 80 grados y únicamente en el sector correspondiente al pétalo presente en la zona opuesta al punto de impacto.

En todas las series de disparos es posible apreciar en la cara saliente *grietas* que rodean el punto de incidencia del proyectil.

Longitud del eje menor:

Tabla de resumen a distintos ángulos de incidencia:

Angulo de incidencia en grados	x	Me	R	1º Cuartil	3º Cuartil	σ
50º	12,15	12,18	1,35	11,89	12,41	0,33
60º	11,26	11,33	1,05	11,20	11,36	0,24
70º	11,17	11,2	0,85	11,04	11,28	0,21
80º	10,59	10,60	0,70	10,53	10,66	0,16
90º	10,21	10,23	0,70	10,10	10,31	0,17

Se constató que el promedio de la longitud del eje menor de los orificios, disminuyó paulatinamente de 12,15 a 10,21 milímetros, desde la serie de

ángulo de incidencia de disparo de 50 grados hasta los 90 grados. La mediana se comportó de igual modo que el promedio. En el rango se observó que los valores no presentaban ningún tipo de regularidad. Los cuartiles disminuyeron sus valores a medida que aumentaba el ángulo de incidencia.

Longitud del eje mayor:

Tabla de resumen a distintos ángulos de incidencia:

Angulo de incidencia en grados	x	Me	R	1º Cuartil	3º Cuartil	σ
50º	23,10	23,10	5,60	22,60	23,38	1,17
60º	18,98	18,70	5,85	18,10	19,73	1,39
70º	20,73	20,48	3,05	20,29	21,36	0,84
80º	12,96	12,83	2,20	12,60	13,14	0,53
90º	10,33	10,35	0,55	10,25	10,41	0,14

Se verificó que el promedio de la longitud del eje mayor de los orificios, disminuyó de 23,10 a 10,33 milímetros, desde la serie de ángulo de incidencia de disparo de 50 grados hasta los 90 grados, pero es posible apreciar que en la serie de ángulo de incidencia de 70º el eje mayor aumento a 20,73 milímetros. La mediana se comportó de igual modo al promedio. En el rango se observó que los valores no presentaban ningún tipo de regularidad. Los cuartiles disminuyeron sus valores a medida que disminuía el ángulo de incidencia, salvo en el ángulo de incidencia de 70 grados, en donde se observó que su valor aumento, para luego disminuir hasta el ángulo de incidencia de 90 grados.

Ángulo calculado:

Tabla de resumen a distintos ángulos de incidencia:

Ángulo calculado en grados	x	Me	R	1º Cuartil	3º Cuartil	σ
50º	31,87	32,27	10,20	30,55	33,24	2,28
60º	36,61	37,57	11,66	35,04	38,25	2,96
70º	32,64	32,71	5,01	31,81	33,46	1,44
80º	54,99	55,35	12,00	53,78	56,89	2,76
90º	82,57	82,08	14,87	79,49	84,39	4,91

Las medidas de tendencia central de los ángulos calculados se mantienen regulares a medida que aumenta el ángulo de incidencia, salvo en los ángulos de incidencia de 80 y 90 grados, que aumentan sus valores. Los valores de la mediana se mantienen regulares a medida que aumenta el ángulo de incidencia, salvo en los ángulos de incidencia de 80 y 90 grados en donde estos aumentan sus valores. Los valores del rango no presentaron ningún tipo de regularidad. Los valores de los cuartiles se comportan de igual modo que las medidas de tendencia central. Los valores de desviación estándar no presentaron un comportamiento regular durante la experiencia.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

- **El ángulo de incidencia mínimo en el que se observa penetración.**

Para la relación chapa de bajo contenido de carbono número 16 (de uso conocido en metalúrgica –puertas y portones- y en la industria automotriz – carrocería-), proyectiles totalmente encamisados de punta redondeada de 124 grains, disparados por pistola calibre 9mm marca Browning, modelo Hi Power, se determina como ángulo mínimo en que el proyectil penetra la superficie metálica el de *50 (cincuenta) grados*.

No obstante las pruebas realizadas con probetas expuestas a disparos con ángulos de incidencia de 40 (cuarenta) grados determinaron que el material es atravesado por el proyectil, sin embargo, tal efecto resulta por el profundo estiramiento del material a lo largo de un extenso canal.

- **La morfología del orificio.**

Esta varía claramente según se modifica el ángulo de incidencia. Se han podido definir en forma amplia dos grupos: para los orificios generados con proyectiles incidentes a 50, 60 y 70 grados conformaciones *piriformes* cuya máxima expresión se advierte en el ángulo de 70 grados; mientras que en las pruebas realizadas a 80 y 90 grados los orificios han adoptado formas *ovoides*.

No obstante se han detectado otras características que se reiteraron en todas las experiencias y que permiten diferenciar la angulación respecto de la trayectoria incidente. Así pues para ángulos de 50 grados se aprecia en la cara saliente de la huella de arrastre la falta de una *pequeña fracción del material en forma de “V”* que se corresponde con la porción sujeta en el extremo del pétalo (copa) y para incidencias de 60 grados se constata que esa fracción del

material ausente es reemplazada por una *rasgadura de la misma conformación* que en el ángulo de 50 grados (forma de “V”). Así mismo en ambos ángulos de incidencia se observa un *plegamiento del material* hacia la cara saliente del orificio, la fracción desprendida finaliza en forma de *copa*, cuya finalización es forma *recta*.

Por otro lado en ángulos de 70 grados el borde inicial del *plegamiento del material* descrito anteriormente es considerablemente menor en cuanto a su tamaño, y la fracción desprendida finaliza también en forma de *copa* pero su finalización es *redondeada*. Otra característica notoria, es que la huella de arrastre presente en incidencias menores a 70 grados, es reemplazada por un *aro de penetración* que bordea el punto de incidencia del proyectil y que a su vez es interrumpida por el inicio del semi-desprendimiento del material del orificio; así mismo la *copa* que conforma el extremo final de la fracción semi-desprendida presenta un *borde redondeado*.

Finalmente para ángulos de incidencia de 80 grados se verifica que el *borde* opuesto al punto de incidencia del proyectil presenta una *forma recta* (en su mayoría) o de una *curvatura muy tendida*, dicha apreciación es producto de la formación de la rasgadura perpendicular a la superficie de la probeta observada en la cara saliente del orificio. Por último, para ángulos de 90 grados se observa en la cara saliente, *fisuras* en todo su contorno.

- **El aspecto de los bordes:**

- Cara incidente**

- El estudio sobre los bordes en la cara incidente dio posibilidad de analizar el comportamiento físico que los provocó. Así pues se verifica siempre la flexión del material en toda la periferia de la perforación, circunstancia que en el marco teórico se define en general como *inversión de los bordes*.

- No obstante, profundizando el estudio se ha corroborado que además de la simple flexión del material, todos los proyectiles generan ya bien: *aro de penetración o huella de arrastre*. El daño sobre la probeta surge por la acción de dos fuerzas: una normal, perpendicular al plano afectado, causante del diseño circular en derredor al punto incidente; y otra fuerza tangencial al plano impactado, generadora de la deformación del material que provoca efectos en zonas opuestas al punto incidente.

De lo anterior surge la diferenciación no solo de la morfología tratada con antelación (orificios piriformes u ovoides), sino de la característica presencia de *aro de penetración* que corresponde a un anillo de fricción que bordea el interior del orificio y cuya presencia es producto de la máxima fuerza normal con la que incide el proyectil. Para nuestras experiencias el modelo típico corresponde solamente a ángulos de incidencia de 90 grados.

Por otro lado la *huella de arrastre* como consecuencia del mayor contacto del proyectil con el blanco, es fruto del incremento de la fuerza tangencial, en la misma proporción que disminuye el ángulo de incidencia. Las experiencias demostraron este signo en incidencias de 50 y 60 grados.

Sin embargo dependiendo del ángulo de incidencia el aro de penetración puede presentarse en forma incompleta. Estos *semi-aros de penetración* acusan forma de *medialuna*. Su interrupción tiene origen en la formación del pétalo resultado del material desprendido del orificio.

Por último, la conformación del pétalo (producto del semi-desprendimiento del material del orificio) determina la existencia de un *sector del borde* del orificio donde se advierte un plegamiento, siempre opuesto al punto incidente y cuya *conformación es recta* y de extensión ligeramente menor al eje menor del orificio ante incidencias de 50, 60 y 80 grados. Ante incidencias de 70 grados si bien existe el plegamiento, el borde no es claramente recto, sino más bien redondeado y su extensión es notablemente menor a los anteriores.

Cara saliente

Al momento del análisis de la cara saliente se ha podido verificar que debido a la flexión del material se presentan los *bordes evertidos*, circunstancia que explica la dirección previa del proyectil.

Ahora bien, si se observa el corte transversal del orificio, el fenómeno resulta mucho más complejo, pues confluye además la *fluencia* del material por efecto del incremento de temperatura en el momento en que el proyectil toma contacto con la superficie, provocando además la adopción de una forma *tronco-cónica*, cuyo modelo arquetípico se aprecia con más claridad con las incidencias de 80 y 90 grados.

Juntamente con la flexión y fluencia del material en la periferia del orificio, se registran *grietas* que contornean toda la zona donde el proyectil ha tomado contacto con el blanco.

Así mismo, de lo anterior descrito se desprende el término de *cuello*, fenómeno que se presenta en ángulos de incidencia de 80 y 90 grados, ya que en esta incidencia la fuerza normal que le concede el arma de fuego es máxima y la tangencial es prácticamente nula, no obrando la misma en el plano horizontal.

Tal como lo prevé el marco teórico, para las pruebas realizadas a 80 y 90 grados de incidencia se detectaron *fisuras* en el margen del orificio de mayor magnitud y cantidad que las observadas para incidencias menores.

Cuando la incidencia del proyectil es menor a 80 grados la fuerza tangencial aumenta, y debido a que esta actúa en la sección del material, expande y desgarrar el material proyectándolo en la dirección del proyectil. Esta expansión es producto a que el proyectil entra en contacto con la superficie progresivamente y desde su lateral, lateral que estará determinado por la dirección del proyectil en el momento del disparo. Este material proyectado adquiere la designación de *pétalo*, y cuyas características morfológicas determinan una incidencia de mayor angulación.

En la zona en forma de *copa* adherida a la fracción de material semi-desprendida se observaron en todas las experiencias *adherencias cobrizas*, dado que resulta la zona de primer contacto entre el proyectil y el plano afectado.

Cuando los ángulos de incidencia corresponden a 80 y 90 grados se comprobó desprendimiento de material en forma de *tapón* como resultado del mayor módulo de fuerza normal que afecta la zona. Para las incidencias en ángulos menores el tapón se mantiene adherido al extremo distal del pétalo que se conforma adoptando la forma de *copa* que se ha descrito.

- **Micro transferencias.**

En la *cara incidente* se comprobó la presencia de *complejos lineales* en la huella de arrastre, suceso que se presentó en las pruebas realizadas a 50 y 60 grados.

Las marcas resultan paralelas al eje longitudinal del orificio, de allí que determinan la dirección y sentido de la trayectoria incidente, a la vez que informan sobre la magnitud de las estrías.

Con respecto a la ***cara saliente*** se observó que los bordes que conforman el orificio son distintos en cuanto a su fisonomía, ya que los que constituyen el punto de incidencia del proyectil presentan un ***adelgazamiento*** notorio a simple vista, hecho producto de que el material fue desprendido por dos comportamientos simultáneos, siendo estos de ***compresión*** (*en la cara que recibe la fuerza directa del proyectil*) y ***tracción*** (*en la cara opuesta*).

Por el contrario este fenómeno no se observó en el sector opuesto al punto de incidencia, en donde se constató que los bordes poseían mayor espesor, porque el material semi-desprendido fue proyectado mediante ***corte***.

- **Relación del diámetro de los ejes del orificio.**

Fue posible establecer que a medida que ***aumenta el ángulo de incidencia*** del proyectil, ***disminuye el eje menor y mayor del orificio***, excepto para la serie de 70 grados en donde el eje mayor aumenta con respecto a las series anteriores, motivo que se le atribuye a la confluencia de las tensiones en un punto determinado, continuando la disminución a partir de la serie de 60 grados.

Asimismo con respecto al eje menor, a pesar de que este representa el calibre del proyectil, expuso diferencias considerables. De hecho se constató el incremento de la longitud del eje en la medida en que el ángulo de incidencia se hace más tangencial.

- **Hipótesis.**

Se rechaza la hipótesis debido a que la fórmula establecida por M.F. Ferreyro ***no fue útil para verificar los ángulos de incidencia de los proyectiles disparados*** en cada serie, por lo que se sostiene que esta fórmula ***no es aplicable a superficies metálicas***. Esto es debido a que dicha superficie presenta propiedades físicas y mecánicas diferentes a la madera; la más representativa y aplicable a esta investigación es la mayor ***elasticidad*** que presenta el material utilizado (acero de bajo contenido de carbono) con respecto a la madera.

No obstante, se demuestra que a partir del *estudio de la morfología del orificio es posible acotar la posición del tirador* a través del estudio de los signos generados por proyectiles (pistola semiautomática cal.9mm) disparados contra superficies metálicas planas (acero de bajo contenido de carbono).

Asimismo esta investigación permitió desarrollar un protocolo para el estudio morfológico del orificio plasmado en el blanco, el mismo consta de 4 (cuatro) preguntas correlativas, siendo estas:

1. ¿Qué forma presenta el orificio observado en la superficie? Si esta conformación es *ovoide*, surge la siguiente pregunta;

2. ¿Presenta un *borde recto* en el sector opuesto al punto de incidencia? Si lo presenta, la trayectoria posee una *incidencia de 80* grados, sino es así corresponde a una incidencia de *90 grados*.

Ahora bien, si la respuesta a la pregunta 1., respecto a la forma observada es *piriforme* le sigue:

3. ¿Posee *huella de arrastre*? Si no la posee la *incidencia es de 70* grados, por el contrario, si dispone de ella corresponde cuestionarse;

4. ¿Cuenta con la *ausencia de una fracción en forma de “V”* en la cara saliente de esta? Si es así, la *incidencia es de 50* grados, caso contrario la *incidencia será de 60* grados.

Dicho protocolo de estudio es posible observarlo en el anexo de esta investigación.

APORTES DE LA INVESTIGACIÓN A LA CIENCIA CRIMINALÍSTICA.

El aporte fundamental de esta experiencia fue lograr determinar el ángulo de incidencia mínimo o límite de penetración (50 grados) a partir del cual no hay presencia de orificios formados en el blanco abatido. A partir de allí, todas las trayectorias que inciden entre 50 y 0 grados respecto del plano afectado provocarán mayores o menores daños, pero la constante es el importante desvío (rebote) en la trayectoria posterior. Por el contrario para las incidencias entre 90 y 50 grados se advierte claramente el daño restringido al paso del proyectil a través de la placa de acero.

Esta determinación es relevante, ya que en la actualidad, en bibliografías de la ciencia Criminalística es muy escasa la información sobre determinación de ángulos de incidencia en superficies metálicas. Por lo que a través de este trabajo se trata de ofrecer una metodología para averiguar el ángulo de incidencia de disparos, sobre la cual lo que se modifica en cada uno de los hechos delictivos sería el arma de fuego, la munición y el blanco incriminado sobre el que se deben realizar los disparos.

Se confeccionaron con las variables investigadas tablas con valores promedios, que le permiten al investigador cotejar sus resultados, cuando se encuentre frente a un hecho donde se haya utilizado la misma arma, superficie y munición.

Del diámetro de los orificios de entrada analizados a ángulos de incidencia de 50 grados a 90 grados, se obtuvieron valores que pueden cotejarse con algún hecho, en el cual se utilizó un arma de fuego y una munición con iguales características a los usados en la experiencia.

El estudio pormenorizado del orificio y el material expulsado por el paso del proyectil resulta importante para individualizar el tipo de arma y munición

utilizado en un hecho delictivo. Se advierte que a través de marcas impresas en la huella de arrastre de un orificio balístico que se atribuyen a las estrías del proyectil podría informarse calibre, marca y modelo del arma involucrada.

Por otro lado la detección de transferencias de la cubierta del proyectil en la huella de arrastre y el tapón ha llamado la atención con el objeto de conocer el tipo de punta empleada para el cartucho.

Estas marcas y transferencias de la cubierta del proyectil que se imprimen en la huella de arrastre no solo se observaron en orificios perforados, sino también en ángulos de incidencia de 30 y 40 grados. Estas marcas son resultado del contacto entre el proyectil y el blanco. Por la razón anterior y en base al principio de transferencia es posible contribuir para la individualización del tipo de cartucho que utiliza el arma involucrada.

En otro orden de análisis la dinámica del proyectil sobre todo para los ángulos próximos al límite de perforación, nos permite reconocer el trabajo efectuado por el mismo sobre el blanco. Esto implica indefectiblemente la modificación de la dirección de la trayectoria, razón por la cual se sostiene que después del paso por la placa metálica el proyectil sigue una trayectoria con un ángulo diferente con respecto al plano afectado.

Debido a que esta investigación fue acotada en lo que se refiere a munición, superficie y arma de fuego, la misma originó gran cantidad de interrogantes que no fueron analizados en este trabajo y que pueden ser investigados en el futuro, por lo que se mencionan a continuación el planteamiento de algunos problemas de investigación:

- ¿Las deformaciones que presenta la superficie de contacto del proyectil en el blanco, son las mismas si se modifica el material afectado?

- ¿De las deformaciones que sufre el proyectil una vez impactado en el blanco, se puede determinar la dirección y sentido del mismo?

- ¿Cuáles son las características que presentan los orificios de entrada sobre placas metálicas de número 16 de acero de bajo contenido de carbono si se utiliza munición de otro calibre?

- ¿Cuánto se modifica la trayectoria de un proyectil después de atravesar una placa metálica?

- ¿Se puede establecer una relación entre el ángulo de la trayectoria incidente y el ángulo de la trayectoria consecuente, cuando un proyectil atraviesa una placa metálica?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- **María Fernanda Ferreyro.** (2007) “Manual de Balística. Peritajes balísticos y Metodologías”. Editorial B de F. Montevideo Bs. As.
- **Burke TW, Rowe WF.** Bullet ricocheting: a comprehensive review. J Forensic Sci. 1992;37(5):1254-1260. <http://journalsip.astm.org/>.
- **Carlos A. Guzmán,** (2003) “Manual de Criminalística”. Ediciones La Rocca. Bs.As.
- **Albarracín Roberto.** (1971) “*Manual de Criminalística*”. Editorial de la Policía Federal Argentina – Buenos Aires.
- **Roberto Jorge Locles.** (2005) “Tratado de Balística”, Tomo II. Editorial La Rocca
- **Pedro M. Garamendi** (2004) “Lesión por disparo con rebote atípico de proyectil 9 mm Luger KPO”. Trabajo de investigación -. Sevilla - España.
- **Policía Federal Argentina.** (1983) “Tratado de Criminalística” tomo II. Editorial Policial. Capital Federal.
- **Prof. Julio Nieto Alonso** (2002) “Apuntes de Criminalística”. Edición Tecnos.
- **Francisco Antón Barberà y Juan Vicente de Luis y Turègano** (1998) “Manual de Técnica Policial”. Edición Tirant Lo Blanch. Valencia.
- **Anales de Mecánica de la fractura 25, volumen 1** (2008) “Mecanismo de fallo en placas de acero sometidas a impacto de proyectiles cilíndricos, cónicos y hemisféricos”. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Laboratorio de Física y Mecánica de Materiales -Universidad Carlos III- Madrid-España.

- **Revista de Metalurgia. Madrid 36 (2000)** “Estudio de los tipos de cráteres obtenidos en el impacto de proyectiles 5,56 SS109, sobre blancos de acero AISI-SAE 1045”. Universidad de Colombia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica- Santa Fe de Bogotá- Colombia.
- **Anales de Mecánica de la fractura 25, volumen 1 (2008)** “Estudio experimental y numérico del comportamiento de láminas de acero de bajo contenido de carbono sometidas a impactos de media y alta velocidad”. Departamento de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructuras. Laboratorio de Física y Mecánica de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid-España.

APENDICE

- Las armas de "Puño", también llamadas "Cortas", son aquellas que han sido diseñadas para ser empleadas normalmente utilizando una sola mano sin ser apoyada en otra parte del cuerpo.
- Pistolas: Conforme a la Ley Nacional de Armas y Explosivos N° 20.429, son las armas "cortas o de puño" de uno o dos cañones de ánima rayada, con su recámara alineada permanentemente con el cañón. Según su sistema de disparo, pueden ser tiro a tiro, de repetición o semiautomáticas.
- Sistema de disparo Semiautomático: se trata de las armas en que es necesario oprimir el disparador (gatillo) para cada disparo y en el que el ciclo de carga y descarga se efectúa sin la intervención del tirador.
- Cartucho: Conforme a la Ley Nacional de Armas y Explosivos N° 20.429, el cartucho es el conjunto constituido por el proyectil único o perdigones, la carga de proyección (pólvora), la cápsula fulminante y la vaina. El conjunto de cartuchos, se lo denomina Munición.
- Pólvora: Sustancia sólida, que al recibir una excitación térmica, comienza a quemarse realizando una deflagración, que genera elevadas presiones, que le permiten lanzar proyectiles a distancia.
- Fulminante: Elemento encargado de producir la excitación de la mezcla deflagrante, el cual se puede encontrar adherido en los rebordes de la base del cartucho, como es el caso del que fue utilizado en esta investigación, denominándose los cartuchos de percusión anular, o encontrarse la materia fulminante en un receptáculo metálico que es un componente más del cartucho, a éste se lo denomina cartucho de percusión central.

Propiedades Mecánicas del acero:

- ❖ Elasticidad: Propiedad que tienen los materiales de deformarse por acción de una fuerza y de recobrar su forma inicial cuando deja de obrar dicha fuerza.

- ❖ Plasticidad: La plasticidad es la fuerza interna de conservar la deformación indefinidamente, aun cuando cese la fuerza que está provocando tal deformación.
- ❖ Fragilidad: Es la fuerza interior del material que no permite que se experimente ninguna deformación en dicho material.
- ❖ Dureza: Es la fuerza interna del material que le impide ser rayado o ser atravesado por otro material.

Propiedades Físicas del acero:

- ❖ *Peso específico*
- ❖ *Porosidad*
- ❖ *Estructura*
- ❖ *Conductividad térmica*
- ❖ *Resistividad*
- ❖ *Resistencia eléctrica*
- ❖ *Calor específico*
- ❖ *Coefficiente de expansión*
- ❖ *Brillo*
- ❖ *Radiación térmica.*

ANEXO

Tabla de datos de la morfología del orificio

Disparo	50°	60°	70°	80°	90°
Orificio piriforme	X	X	X		
Orificio ovoide				X	X
Bordes invertidos en la cara incidente	X	X	X	X	X
Bordes evertidos en la cara saliente	X	X	X	X	X
Protuberancia en la periferia del orificio (cara incidente)	X	X	X		
Cuello				X	X
Pétalo				X	X
Tapón expulsado				X	X
Tapón adherido al pétalo	X	X	X		
Adherencias cobrizas	X	X	X	X	
Complejos lineales paralelos	X	X			
Aro de penetración			X	X	X
Huella de arrastre	X	X			
Sección del orificio en el sector opuesto al punto de impacto	X	X	X		

Tablas de datos de los disparos de experiencia

Tabla 01: Serie a 50°

Disparo	Eje menor	Eje mayor
1	12,1mm	23,25mm
2	11,9mm	23,45mm
3	12,2mm	23,25mm
4	11,85mm	23,35mm
5	11,35mm	23,6mm
6	12,4mm	23,1mm
7	12,65mm	23,1mm
8	11,85mm	21,8mm
9	11,8mm	24,7mm
10	12mm	26,8mm
11	12,45mm	22,65mm
12	11,85mm	23,3mm
13	12,15mm	22,1mm
14	12,5mm	22,75mm
15	12,3mm	22,9mm
16	12,7mm	21,2mm
17	12,3mm	23,65mm
18	12,2mm	22,6mm
19	12,45mm	21,75mm
20	12mm	22,6mm

Tabla 02: Serie de 60°

Disparo	Eje menor	Eje mayor
1	11,1mm	17,95mm
2	11,2mm	20,1mm
3	11,35mm	18,1mm
4	11,5mm	17,35mm
5	11,2mm	18,1mm
6	11,3mm	18,35mm
7	11,2mm	19,4mm
8	11,45mm	18,9mm
9	11,5mm	17,4mm
10	10,45mm	16,85mm
11	11,35mm	18,3mm
12	11,45mm	19,3mm
13	11,35mm	20,1mm
14	11,3mm	22,7mm
15	11,35mm	18,5mm
16	10,9mm	20,9mm
17	11,4mm	19,25mm
18	11,25mm	20,35mm
19	11,15mm	18,15mm
20	11,35mm	19,6mm

Tabla 03: Serie a 70°

Disparo	Eje menor	Eje mayor
1	11,45mm	21,1mm
2	11mm	20,3mm
3	11,2mm	19,6mm
4	11mm	19,1mm
5	11,2mm	20,35mm
6	11,2mm	21,9mm
7	11,35mm	21,9mm
8	11,35mm	20,25mm
9	11,2mm	20,85mm
10	11,25mm	20,3mm
11	10,7mm	19,85mm
12	11,2mm	20,35mm
13	11,05mm	20,1mm
14	10,9mm	20,6mm
15	10,95mm	21,8mm
16	11,1mm	21,25mm
17	11,15mm	22,15mm
18	11,05mm	20,9mm
19	11,55mm	21,7mm
20	11,45mm	20,3mm

Tabla 04: Serie a 80°

Disparo	Eje menor	Eje mayor
1	10,6mm	12,9mm
2	10,35mm	12,45mm
3	10,45mm	12,85mm
4	10,65mm	13,1mm
5	10,5mm	12,75mm
6	10,6mm	12,6mm
7	10,8mm	14,6mm
8	10,8mm	13,95mm
9	10,1mm	12,9mm
10	10,6mm	12,6mm
11	10,6mm	12,8mm
12	10,75mm	12,45mm
13	10,5mm	12,8mm
14	10,55mm	12,6mm
15	10,65mm	13,3mm
16	10,7mm	13,25mm
17	10,65mm	12,7mm
18	10,7mm	13,3mm
19	10,65mm	12,85mm
20	10,55mm	12,4mm

Tabla 05: Serie a 90°

Disparo	Eje menor	Eje mayor
1	10,15mm	10,4mm
2	10,15mm	10,25mm
3	10,3mm	10,4mm
4	10,1mm	10,1mm
5	10,25mm	10,25mm
6	10,45mm	10,5mm
7	10,15mm	10,2mm
8	10,3mm	10,4mm
9	10,25mm	10,25mm
10	10,45mm	10,55mm
11	10,1mm	10,25mm
12	10,2mm	10,25mm
13	10,35mm	10,5mm
14	10,35mm	10,4mm
15	9,95mm	10,25mm
16	10,1mm	10,45mm
17	10,1mm	10,45mm
18	9,75mm	10mm
19	10,3mm	10,3mm
20	10,35mm	10,4mm

Protocolo de estudio morfológico del orificio plasmado en el blanco

