

Medición hematológica forense mediante proyecciones de máculas a alta velocidad

V.P. Óscar Eduardo, Cod:20171154247

Semillero Accidentología, Programa de Física
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad Surcolombiana
20/04/2021

Resumen

Las máculas de sangre presentes en las escenas delictivas vienen determinadas por factores propios de la sangre, sus características como fluido y por aspectos externos tales como el mecanismo que las genera, la resistencia del aire, la gravedad y el tipo de superficie a la que impacta. En la mayoría de los casos en los que se producen hechos violentos se genera un derramamiento de sangre que para alguien del común no es más que un indicio o vestigio biológico para extraer una muestra con fines de obtención de ADN. Este desconocimiento unido al hecho de que se están empleando técnicas invasivas, propias a su vez de la recolección de este tipo de evidencias, puede llegar a generar la pérdida de información muy valiosa para un posterior estudio, es allí que mediante la reconstrucción del evento fundamentado en conceptos físicos se buscará de forma teórica y verificable ampliar la cobertura del peritaje en nuestra nación, aportando inicialmente la determinación del área de convergencia mediante el análisis pormenorizado de cada una de las manchas hemáticas por el mecanismo de proyección en una superficie en principio lisa, dura y no porosa en la que permita la obtención del ángulo de posible impacto, dirección para establecer posiciones del agresor, de la víctima u otros, con el fin de facilitar el desarrollo de investigación judicial al aplicar el estudio a la escena del crimen, mejorando la comprensión del fenómeno mediante la dualidad software-investigador teniendo en cuenta las condiciones del medio.

Palabras clave: Mácula, hematología, proyección, soportes, crimen, área de convergencia, fluidos, peritos, ángulos, energía, morfología, poroso, impacto, dirección, mecanismos, velocidad, indicio, patrón, satélite, viscosidad, tensión superficial.

1. OBJETIVOS

- Aplicar la física a la investigación forense hematológica en patrones por mecanismo de proyección.
- Realizar una revisión del estado del arte para la posible adaptación de modelos de software, que incluya otros aspectos físicos de la hemodinámica en la estimación de encontrar un área de convergencia.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. La Sangre

La sangre es un tejido vivo que recorre el organismo, a través de los vasos sanguíneos, transportando células y todos los elementos necesarios para realizar sus funciones vitales. La cantidad de sangre está en relación con la

edad, el peso, sexo y altura, en promedio un adulto tiene entre 4, 5 y 6 litros de sangre, y oscila entre el (6 – 8) % de su peso. La sangre está formada por líquidos y sólidos, la parte líquida, llamada plasma, contiene agua, sales y proteínas (Más de la mitad del cuerpo es plasma). Por otro lado, la parte sólida de la sangre contiene glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. Entre sus funciones incluyen:

- Transportar oxígeno y nutrientes a los pulmones y los tejidos.
- Portar células y anticuerpos que combaten las infecciones.
- Llevar productos de desecho a los riñones y al hígado, que filtran y limpian la sangre.
- Regular la temperatura corporal.

Cabe resaltar que la sangre es un fluido no Newtoniano que cuenta con características pseudoplásticas (cuanto mayor sea el esfuerzo aplicado, menor es su viscosidad). Si este es dejado en reposo, se comporta como líquido, pero si se le aplica una presión o fuerza, su consistencia cambia, y se vuelve sólido por un instante, completamente distinto a el caso de fluido Newtoniano que se puede considerar que mantiene una viscosidad constante.

2.2. Composición de la sangre

2.2.1. Plasma

Es el encargado de transportar células sanguíneas por todo el cuerpo junto con nutrientes, productos de desecho del metabolismo, anticuerpos, proteínas de coagulación, mensajeros químicos como hormonas y proteínas que ayudan a mantener el equilibrio de los líquidos del cuerpo.

2.2.2. Glóbulos rojos (Eritrocitos)

Son las células más abundantes en la sangre y representan alrededor del 40 – 45 % de su volumen. Transportan el oxígeno de los pulmones hacia los tejidos y captan el anhídrido carbónico producido en los tejidos que es eliminado luego por las vías respiratorias.

2.2.3. Glóbulos blancos (Leucocitos)

Son un conjunto heterogéneo de células sanguíneas que son ejecutoras de la respuesta inmunitaria, interviniendo así en la defensa del organismo contra sustancias extrañas o agentes infecciosos (antígenos). Por lo que ayudan a curar heridas ingiriendo células muertas, restos de tejido y glóbulos rojos dañados. Se encuentran tanto en la sangre como en los tejidos linfáticos y son menos numerosos que los glóbulos rojos.

2.2.4. Plaquetas

Son las células sanguíneas más pequeñas. Las plaquetas permite el proceso de coagulación de la sangre al reunirse en el lugar de la lesión, adherirse al revestimiento del vaso sanguíneo lesionado y formar una plataforma en la que puede producirse la coagulación de la sangre. Esto da como resultado la formación de un coágulo de fibrina, que cubre la herida y evita que la sangre se filtre

y se detenga la hemorragia. La fibrina forma el andamiaje inicial sobre el que se forma tejido nuevo, lo que promueve la curación (Cicatrización).

2.3. La hemoglobina

La hemoglobina es una proteína que se encuentra dentro de los glóbulos rojos, al contener hierro es la responsable de la coloración rojiza característica, también es la encargada de llevar el oxígeno de los pulmones al resto del cuerpo, transportarlo hacia los órganos y tejidos de todo el organismo. Así mismo, puede fijar una pequeña cantidad de dióxido de carbono, un producto de desecho del metabolismo celular, transportándolo desde los órganos y tejidos hacia los pulmones, donde es exhalado.

Los hematíes o eritrocitos representan alrededor del 40 % del volumen sanguíneo, se producen en la médula ósea y se liberan a la circulación sanguínea cuando han completado su proceso de maduración. La vida media de un hematíe es de 120 días, de tal manera que la médula ósea debe sintetizar continuamente nuevos eritrocitos, para ir sustituyendo a los que han envejecido, se han deteriorado o perdido por un sangrado.

2.4. La Hemodinámica

La Hemodinámica relaciona el estudio del movimiento de la sangre y las causas que lo producen, mediante un análisis desde la biofísica se estudia el flujo de la sangre en el sistema circulatorio, incluidas la función cardíaca y la fisiología vascular periférica (transporte de sangre hacia las extremidades), basándose en los principios físicos de la dinámica de fluidos.

2.5. Flujo laminar y flujo turbulento

La sangre al ser un fluido puede presentar una dinámica laminar o turbulenta, este flujo sanguíneo se puede presentar como la cantidad de sangre que atraviesa un punto dado de la circulación en un período determinado de tiempo. El flujo laminar se da cuando el flujo sanguíneo se mantiene en equilibrio a través de un vaso sanguíneo siguiendo una trayectoria suave o regular, manteniéndose cada capa de sangre a la misma distancia de la pared del vaso, es decir el fluido se desplaza en láminas cilíndricas en las que todas las partículas se mueven sin excepción paralelamente al eje vascular, el flujo laminar se caracteriza porque la sangre que viaja en el centro de flujo tiene mayor velocidad que la del lado exterior y el frente se asemeja a una parábola, véase figura 1.

Por otro lado, el flujo turbulento se caracteriza por el movimiento irregular de las partículas del fluido, por lo que transcurre en todas las direcciones del vaso y se mezcla continuamente en su interior presentando una

interrupción entre capas de forma aleatoria, formando remolinos aperiódicos en el cual la velocidad del fluido en un punto está experimentando cambios continuos tanto en magnitud como en dirección.

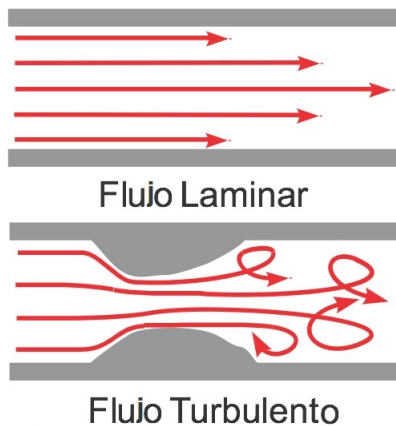


Figura 1: Representación del flujo laminar y turbulento.

Fuente: <https://www.cvphysiology.com/Hemodynamics> .

La determinación del tipo de flujo se puede dar en proporción directa a la velocidad del flujo sanguíneo, al diámetro del vaso sanguíneo y a la densidad de la sangre y es inversamente proporcional a la viscosidad de la sangre, proporción que da un número y este es llamado número de Reynolds (Re) una medida adimensional que da idea de la tendencia a producirse turbulencias.

El flujo laminar es típico de fluidos a velocidades bajas o viscosidades altas, mientras que flujos de fluidos de viscosidad baja, velocidad alta o grandes caudales suelen ser turbulentos.

2.6. Hematología forense

La hematología forense es el estudio científico de la sangre con fines legales. Su objetivo es el de aportar información sobre la morfología de la mancha y su mecanismo de formación; así como la identificación de las evidencias dando certeza que es de origen hemático. Es así que se presenta una revisión minuciosa de las diversas manchas que se pueden obtener para la tipificación sanguínea y fundamentado en la orientación a la que fueron encontradas en determinada zona, mediante los respectivos análisis por parte de los especialistas, el cual su experticia hematológica es un medio de prueba que demostrará la veracidad de los hechos de pretensión de las partes en el proceso judicial cursante, de allí la importancia de conocer y comprender la información que arroja las pruebas de laboratorio durante el análisis de una muestra hemática aplicado al campo forense. La hematología forense se divide en:

2.6.1. Hematología identificadora:

Corresponde al mundo microscópico, tiene que ver con la realización de análisis químicos y exámenes internos mediante el empleo de luminol y métodos cromatográficos o microespectroscópicos, como por ejemplo para identificar si la sangre en cuestión es humana o de animal; asimismo determinar el grupo sanguíneo y factor Rh, entre otros.

2.6.2. Hematología reconstructora:

Corresponde al mundo macroscópico, pues se estudia el mecanismo de producción de las manchas más que evidentes visualmente y en forma deductiva y analítica estudiar su forma, situación, aspecto, cantidad, orientación, características del traumatismo, violencia empleada, intensidad del traumatismo y en ocasiones hasta el arma empleada, entre otros factores.

2.7. Diferencia entre sangre humana y sangre animal.

La diferencia entre sangre humana y animal incluye múltiples factores. La principal diferencia radica en que la primera contiene hemoglobina como pigmento respiratorio el cual tiene como función el transporte del oxígeno, mientras que la sangre animal puede incluir otros tipos de pigmentos respiratorios; por lo que según el tipo de pigmento respiratorio presente en la sangre, tendrá diferentes colores.

Los primates y mamíferos, tienen muchas similitudes en los componentes presentes en su sangre con los humanos. Sin embargo, los artrópodos, moluscos y algunos invertebrados tienen una sangre considerablemente diferente a la de los mamíferos. La sangre de los mamíferos y las aves siempre está caliente (Endotermos-Homeotermicos), ya que sus actividades metabólicas están siempre activas y requieren energía para mantener la temperatura, pero la sangre de otros animales varía de acuerdo al medio en el que se encuentran (Ectotermos-Poiquilotermicos); en ellos la temperatura de la sangre depende de la temperatura del ambiente.

Los vertebrados suelen tener tres tipos de células sanguíneas conocidas como eritrocitos, leucocitos y trombocitos; estos son importantes como transportadores de oxígeno, inmunidad y mantenimiento del flujo sanguíneo, respectivamente. Algunos animales como los cocodrilos poseen bajos niveles de glóbulos rojos y hemoglobina, y los eritrocitos de las aves están nucleados.

Los glóbulos rojos humanos que han alcanzado la madurez celular son diferentes del de los animales no mamíferos en que carecen de un núcleo. Estos glóbulos rojos eliminan el núcleo y los orgánulos una vez que se diferencian y maduran para aumentar su capacidad de

hemoglobina y eliminar su necesidad de oxígeno, lo que permite una circulación más eficiente. Cabe mencionar que los seres humanos tienen un sistema de vasos sanguíneos cerrado y completo, mientras que algunos animales tienen sistemas sanguíneos abiertos y/o incompletos, los sistemas cerrados son los más desarrollados en los vertebrados, en los que un corazón con cámaras bombea la sangre a alta presión a los vasos sanguíneos. Por otro lado los sistemas abiertos o incompletos denotan que la sangre está fuera de los vasos sanguíneos formando lagunas en la cavidad del cuerpo, bañando directamente a los órganos, existiendo una mezcla parcial de sangre venosa y arterial en el corazón.

2.8. Recolección de muestras hemáticas.

La manipulación de un fluido biológico (ya sea en estado sólido o líquido) al recogerla del lugar de los hechos, de la víctima o del victimario, tratándose de algo tan delicado, se debe proceder con cuidado con estos indicios, si está en tela, cartón o algo movable se debe recortar o transportar el fragmento, si está aún líquida se puede recolectar en un recipiente mediante la impregnación con un hisopo de algodón y luego dejando secar previo al embalaje, en este caso se refiere más a la hematología identificadora. Para el caso dado de este proyecto de manera hipotética en principio se tomará la sangre como si estuviera en fase sólida entonces se mide en el sitio y se registra fotográficamente con testigos métricos para garantizar la escala natural, con la sangre ya solidificada por un tiempo considerable, se puede raspar para los casos de enviar también al laboratorio.

La física puede ser partícipe del aspecto reconstructor según la morfología de las manchas de naturaleza hemática, es allí donde es necesario identificar el mecanismo de expulsión de la sangre del cuerpo de la víctima, entre estos mecanismos se encuentran:

2.8.1. Mecanismo por proyección.

Estas manchas se producen cuando una forma de energía ha sido transferida desde la fuente del origen de la sangre, siendo creadas estas manchas cuando sale la sangre expuesta por un objeto en acción o una fuerza mayor a la gravedad. Se trata de una salida de sangre con una fuerza considerable, esta puede ser de forma en caída libre, horizontal u oblicuo. Si la proyección es en caída libre, podríamos saber teniendo en cuenta la mancha, si la sangre salió con mayor o menor velocidad



Figura 2: Manchas de sangre por proyección

Fuente: Caso real

del cuerpo, e incluso la altura, ya que cuando la gota cae perpendicular al soporte se produce una mancha redondeada y en cuanto mayor sea la altura, mayor será la mancha y más irregular, con pequeñas gotas alrededor (gotas satélites), véase Figura 2, que hacen parte de la proyección.

2.8.2. Mecanismo por escurrimiento.

Es la acción de la sangre que se desliza por un soporte impermeable, desde la fuente productora (herida), por acción de la gravedad y no por proporción de una fuerza externa. Cuando el desplazamiento se hace sobre un soporte inclinado se forma el reguero; cuando el soporte es horizontal o presenta depresiones se forman “charcos”.

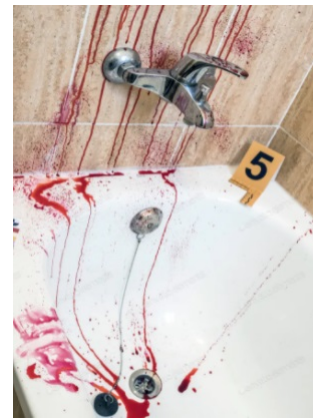


Figura 3: Manchas de sangre por escurrimiento

Fuente: Desconocida

2.8.3. Mecanismo por contacto.

Se producen justamente por el contacto directo de la fuente productora y el soporte. El contacto puede ser simple (Ej. las manchas de sangre de las ropas que están en contacto directo con la herida) o adjuntadas, en la que represente una imagen totalmente reconocible o una porción en la que en la superficie original se pueden observar un determinado patrón morfológico (Ej. planta del pie o de la mano en alguna textura específica), véase Figura 4. Transferencia de sangre desde un objeto ensangrentado a una superficie no manchada.



Figura 4: Manchas de sangre por contacto

Fuente: <https://sites.google.com/site/hematologia>

2.8.4. Mecanismo por deslizamiento.

Son manchas producidas sobre diferentes planos de soporte y presentan rastros en forma de franja ancha o angosta rectangular, producidas por un goteo ininterrumpido formándose manchas periféricas, indicando el desplazamiento y significa que la víctima, quizás ya inmóvil, fue arrastrada por el victimario y de acuerdo a su dirección obviamente indicará el movimiento efectuado por el agresor al trasladar o mover a la víctima, habiendo una evidente referencia para registro de medida longitudinal.

2.8.5. Mecanismo por impregnación.

Este caso se da cuando las máculas se absorben en su espacio receptor (Figura 5), apreciándose directamente que la superficie es porosa, se da sobre todo en las prendas de vestir (sobre telas), siendo estas fácilmente identificables debido a que resaltan y producen una sensación de rigidez al tacto, en soportes que son fácilmente impregnables como lo es la seda; poseen una mala conservación y cambian de aspecto con rapidez, este fenómeno se produce también con maderas y papeles, variando según la porosidad del soporte y cuando es el caso de una superficie no porosa como metales, cerámica y vidrios no se tiene el color característico de la sangre pero conservan un brillo especial.



Figura 5: Manchas de sangre por impregnación

Fuente: <https://sites.google.com/site/hematologia>

2.8.6. Lago hemático.

Es la acumulación de cierta cantidad de sangre de forma irregular o circular y se forma cuando la sangre gotea por causa de escurrimiento sobre un plano horizontal, esta se da una vez el occiso tiene heridas y lleva un determinado tiempo en el mismo lugar, este mecanismo también es uno de los factores utilizados para determinar la



Figura 6: Occiso en Lago hemático

Fuente: Caso real

posición original y/o final del occiso dado el volumen generado del biológico.

Una vez conocido los mecanismos que la sangre puede generar como evidencia, se podrá determinar:

- **Área de convergencia:** El punto (área) común en una superficie, que puede ser hallado a través de la direccionalidad de varias gotas de sangre. Es el área que contiene las intersecciones generadas por las líneas trazadas a través de los ejes longitudinales de manchas individuales, que indican en dos dimensiones la ubicación de la fuente de sangre con fines de luego proyectarla en 3D.
- **Área de origen:** Localización tridimensional desde la que se originó la salpicadura.
- **Direccionalidad:** Característica de una mancha de sangre que indica en qué dirección se movía la sangre en el momento de partir de su depositado, la cual se puede intuir analíticamente y por determinación de ángulos.
- **Característica de borde:** Elemento físico de la periferia de una mancha de sangre, sometido en el caso de la investigación a un mecanismo de proyección.
- **Patrón de impacto:** Patrón de una mancha de sangre que se produce cuando un objeto impacta sobre sangre líquida generando su respectivo mecanismo a analizar.
- **Manchas satélites:** Irregularidades de una gota de sangre que impacta en una superficie dada a una gran velocidad o altura considerable.

2.9. Importancia de la superficie:

En el desarrollo de un caso es parte fundamental y necesaria determinar que, se entiende por soporte toda aquella superficie que es susceptible de recibir o acoger una mancha, en este caso de sangre.

Por tanto, a la hora de estudiar una escena, cualquier objeto será un soporte apto o capaz de albergar manchas de sangre, lo que pone de manifiesto la importancia de atender a las características presentes en cada una de las posibles superficies, evitando errores en su estudio y análisis posterior, pues, según el soporte sea más o menos rugoso, permeable o poroso, duro o blando, el aspecto de la mancha variará.

En algunas superficies la mancha resultante del impacto de la sangre apenas presentará salpicaduras, en otros casos como por ejemplo superficies rugosas, ásperas o con salientes, se producirán muchas más salpicaduras a raíz del impacto de la mancha primaria contra el soporte, al romperse su tensión superficial bruscamente y de

manera abrupta. En tejidos absorbentes como moquetas, papel de cocina, las manchas perderán la regularidad de sus bordes, presentándose en forma de estrella y un sin número de variables que se pueden tener en cuenta.

3. Planteamiento del Problema

La motivación para el sometimiento a este proyecto se da debido a que en Colombia siendo un país tan conflictivo y en cierta parte con un rango grande de delincuencia los encargados de las resoluciones en temas que conllevan a hematología son escasos, los peritos se limitan a recolectar la sangre para enviarla al laboratorio para pruebas de genética y la potencialidad para identificar individuos, mediante recursos que corresponden únicamente a la parte microscópica por medio de laboratorios y la química forense, pero en lo macro si acaso se ha logrado llevar un procedimiento básico en lo que corresponde a mediciones de las manchas de sangre únicamente con fines de intuir visualmente la posible proveniencia dada la dirección en la que son encontradas tales máculas. La otra parte de carácter científico es la que hacen los médicos forenses en el informe que dan de la autopsia dependiendo de las heridas de la víctima, pero esto obviamente se da también distante al lugar del hecho no *in situ*.

En Colombia en el manual de policía judicial no hacen referencia a lo relacionado con la utilidad de uno de los principales indicios en los casos criminales como es la sangre en cuanto a la reconstrucción de un hecho, por su parte en el manual único de criminalística establecido por la fiscalía la física que se plantea está relacionada a accidentes viales, balística, acústica pero en lo que corresponde a hematología lo redirigen a aspectos de química forense y genética, siendo la física en este aspecto muy reducida comparable a lo que se podría realmente obtener.

Entonces, un perito en un lugar de los hechos procede a acordonar, fijar y recolectar el material probatorio con ciertas mediciones, pero el modelo que se busca en el semillero como físicos corresponde a estimar de manera más puntual el origen del flujo sanguíneo una vez dada una herida, mediante toma de medidas, ángulos y relaciones que logren percibir las distancias a la cual se dio una agresión teniendo en cuenta el soporte del impacto y sobre todo el fluido hemático con todas sus condiciones reales dadas por su viscosidad y tensión superficial al impactar en determinada superficie y ya logrando esto, se abriría el campo laboral y gestión social de los físicos, y se proyectarán las aplicaciones en el análisis de un evento de suma importancia en lo que corresponde a la parte judicial con el aporte de esta área de la ciencia.

En la actualidad existen algunos programas computacionales a nivel mundial como el HemoSpat – Bloodstain Pattern Analysis Software (Figura 7), BackTrack TM Computer o FARO Zone 3D (Figura 8), este último más potente ya que tiene diversas aplicaciones en el campo de la criminalística, validado científicamente y verificado de forma independiente por algunos medios como la revista Science Justice, la revista de la Association for Crime Scene Reconstruction entre otros.

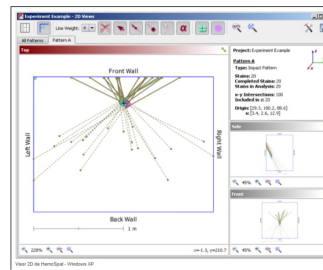


Figura 7: Líneas de convergencia en software

Fuente: Extraído Software Hemo-Spat

En nuestro territorio todos estos software brindan facilidades al investigador judicial, pero limitándolo a tomar medidas superficiales para luego digitalizarlas en el sistema sin tener un conocimiento profundo para hacer el tratamiento físico-matemático en un evento criminal, de manera sencilla e intuitiva y por lo tanto al no estar sujeto a un previo análisis o deducción lógica se podría caer en falacias en la resolución de delitos, por seguir patrones lineales sin muchas variables como por ejemplo la textura del medio al que impacta la mancha de sangre o la misma resistencia del aire. Si bien en Colombia no está del todo desarrollado el análisis de patrones de rastros de manchas de sangre se pretende a largo plazo instaurar progresivamente un modelo que mejore estas técnicas e incluya diversas variables y así reconstruir de la mejor manera las escenas delictivas con el aporte de los conocimientos de la física.

lución de delitos, por seguir patrones lineales sin muchas variables como por ejemplo la textura del medio al que impacta la mancha de sangre o la misma resistencia del aire. Si bien en Colombia no está del todo desarrollado el análisis de patrones de rastros de manchas de sangre se pretende a largo plazo instaurar progresivamente un modelo que mejore estas técnicas e incluya diversas variables y así reconstruir de la mejor manera las escenas delictivas con el aporte de los conocimientos de la física.

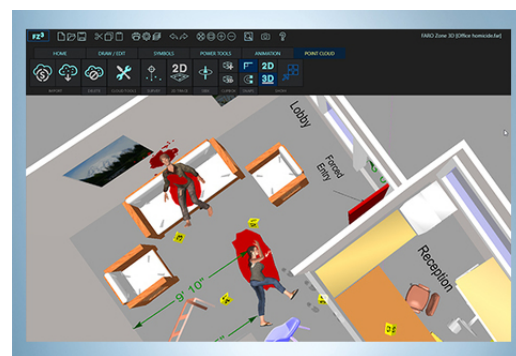


Figura 8: Simulación escena del crimen

Fuente: Extraído Software Faro-Zone 3D

Históricamente los avances de esta área se empezaron a ver a partir del 1971, momento en el que Hebert Leon MacDonell (De profesión Licenciado en Química) publicó un tratado de “Características de vuelo y Patrones de Manchas de Sangre Humana” (McDonell, Flight Charac-

teristics and Stain Patterns of Human Blood,1 ed. 1971), así se considera que fue cuando comenzó la era moderna del análisis de Patrones de Manchas de sangre. En 1983 fundó The International Association of Bloodstain Pattern Analysts (IABPA), la cual mantiene su actividad en la actualidad junto a otras entidades que surgieron después como Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis (SWGSTAIN), The European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) e International Association for Identification (IAI).

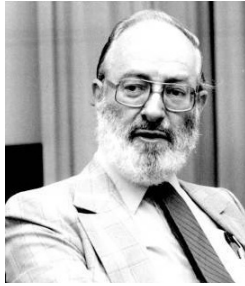


Figura 9: Hebert Leon MacDonell (1928-2019)
Fuente: gettyimages.co.uk

Pero en Sudamérica los avances son a pasos pequeños, de los países de este lado del mundo el que más ha incurrido en la física de las máculas de sangre mediante su dinámica es Argentina, es el país que más ha indagado en la hematología forense en general, mediante estudios minuciosos para profesionales de la física, ingeniería, medicina entre otros, en Colombia en sí muy poco el conocimiento de esta área y más aun de la aplicación de la física y de sus posibles aportes, es así como se ve la necesidad de introducirnos más en este campo y más tras la alta tasa de criminalidad (véase Figura 10) que día a día aumenta exponencialmente por lo cual la demanda hará que sea una buena ventana para brindar conocimientos en estas asignaturas momentáneamente poco referenciadas.

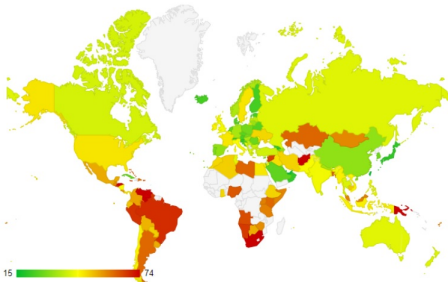


Figura 10: Índices de criminalidad UNODC (2020).
Fuente: <https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/global-study-on-homicide.html>

4. Materiales y métodos

La física es fundamental en varios campos científicos y en lo que corresponde a la criminalística no es la excepción, así como el cadáver y el lugar del hecho guardan un vínculo inseparable, la sangre es el elemento que, en forma habitual, los acompaña; pero no siempre es posible encontrarla, no porque no exista, sino porque pudo proyectarse en finísimas partículas o haber sido erradicada de la escena. El estudio de los patrones de manchas de sangre es una parte fundamental para la reconstrucción del lugar del hecho. Esta evidencia físico-biológica podría ayudar a comprender lo que sucedió durante un ataque violento o probar la versión de testigos visuales sobre un hecho. Además, la correcta interpretación de los patrones dejados por este fluido al incidir sobre determinadas superficies podría revelar información muy importante, tal como las posiciones de la víctima, del agresor y de los objetos del lugar, el tipo de arma que se utilizó para generar el daño en cuanto a tejidos que dio lugar a la herida y causó la mancha.

Es allí donde se postula inicialmente estudiar una superficie en especial que corresponda a una estructura sin obstáculos en el camino (Sillas, mesas, etc), principalmente lisa, que no presente asperezas y así mismo dura, no porosa para que no se filtre el material hemático, pues la porosidad al estar asociada con la densidad del material, con la naturaleza de sus compuestos y la existencia de espacios vacíos entre ellos, en la rigurosidad de la investigación correspondería a una situación incómoda por lo que en principio se exige una estructura sólida en todo su esplendor (modelo ideal), dado esto teniendo en cuenta un mecanismo de proyección con el cual se pueda detectar visiblemente un N número de máculas, la selección de estas gotas a considerar y el diagnóstico diferencial de si la salpicadura es calculable o no puede ser una de las mayores dificultades en el proceso, pero con el tiempo esa noción en la experticia será fundamental.

Una vez dado lo anterior se procederá con la típica labor ejercida por los peritos judiciales, el acordonamiento de la zona, registros fotográficos y la toma de medidas *in situ* mediante testigos métricos, para fijar la escala a trabajar, cumpliéndose con el principio de mismidad que indica que el medio probatorio recogido en la escena del delito debe ser el mismo que se exhibirá en desarrollo del juicio oral, manteniéndose rotulado para que se permanezca vigente para posibles reaperturas de futuras evidencias del caso.

De modo hipotético, una vez dado en el lugar de los hechos, varias máculas de sangre con ciertas manchas satélites, nos encontramos ante un mecanismo de proyección de alta velocidad, como puede ser un disparo, ya que se podría considerar un evento de máxima transferencia

de energía por parte de la fuente, digno de un análisis de heridas de bala, en lo que implique una revisión de balística relacionada con el trauma penetrante [3], así mismo estas manchas que se generan son dependientes de la altura desde donde se manifestó el infortunio. La determinación del elemento causante de la generación de sangre es fundamental ya que da mucha información pero mediante la proyección de manchas se podría apreciar la reversibilidad del caso para conocer el posible instrumento delictivo, calificados como punzante, cortante, contundente y las conocidas armas de fuego, no obstante a partir de las anteriores hay múltiples combinaciones de las catalogadas armas blancas también muy empleadas (armas corto-punzantes, punzo-contundentes, etc).

La física puede dar en estos casos un enfoque de fuerzas y energía teniendo en cuenta la superficie cutánea, la magnitud de la fuerza utilizada en un incidente y por su puesto la velocidad con la que sale expulsado el líquido hemático. Es así como la profundidad, forma de la herida y direccionalidad previa a la afección entre otras tiene su determinado enfoque, por ejemplo en el caso de un arma contundente el instrumento es destinado a obrar por contusión, es decir por la aplicación de fuerza con fin de producir una magulladura o aplastamiento y no tanto por su capacidad de corte, caso contrario a las heridas ocasionadas por las que tienen empuñadura y hoja metálica con bordes cortantes justamente para originar rasgaduras o laceraciones en la piel, por lo que su calificación de gravedad es medible, por lo tanto dependerá de la profundidad y por consiguiente la presión empleada pudiendo afectar tendones, músculos, ligamentos e incluso los nervios o el hueso. En este análisis es fundamental incluir la geometría de la cuchilla en caso de armas cortantes, aspectos como el filo, el estado de tensión mecánica en el plano de la piel, el ángulo de ataque y toda la cinemática que pudo aplicar el victimario, pues en la persona agredida la tensión de la piel tiene un efecto directo sobre la fuerza y la energía requerida para la penetración del cuchillo y sobre la profundidad por la presión y la longitud por el deslizamiento del arma. De modo general, un nivel catalogado leve de fuerza se asociaría con la penetración de la piel y el llamado tejido blando, así mismo se requeriría una fuerza moderada o severa para penetrar el cartílago o el hueso. Por lo que sería uno de las variables a tener en cuenta para generar un patrón de manera globalizada a futuro.

En lo que respecta al mecanismo de manchas por proyección por arma de fuego, es útil saber que se trata de un dispositivo destinado a lanzar o propulsar proyectiles mediante la presión generada por la combustión de un propelente, es decir la fuerza expansiva de los gases que se producen en el interior del cañón por deflagración de la pólvora, al poseer una gran energía cinética puede alcanzar largas distancias y sobre todo gran capacidad de

penetración, como ejemplos, armas de fuego cortas pueden poseer velocidades de alrededor de 350 m/s y armas de fuego largas, velocidades de proyección de 1,000 m/s, el proyectil suele alcanzar una velocidad proporcional a la distancia y a su vez pierde fuerza con la resistencia que ejerce el aire, otras condiciones que implican también son la calidad y cantidad de la pólvora, masa del proyectil y longitud del cañón el cual posee al interior de él las llamadas "estrías" o surcos helicoidales que son los encargados de impartir un movimiento de rotación al proyectil a lo largo de su eje longitudinal para disminuir la fricción, que en últimas conlleva a una aplicación evidente de la tercera ley de Newton como resultado de la acción provocada por la presión de los gases, empuja al proyectil hacia la salida de la boca del cañón y la reacción se traduce en el retroceso del arma.

Entonces, si se encuentra diferentes gotas alargadas hacia distintas direcciones, estaríamos ante una agresión con algún objeto o arma contundente, por intuición las zonas sin manchas de sangre podría indicar la zona en la que se encontraba el agresor, pero siendo esto una de las múltiples posibilidades a estudiar según el caso [4]. Para el caso a ejecutar se dispondrá como instrumento delictivo un arma de fuego que proporcione disparos a una relativa corta distancia, en el análisis se debe incluir el tipo de superficie a estudiar ya que no será igual en un terreno pedregoso o con cierto herbaje, entre otros, por eso se reitera el inicio del análisis con un símil a un sólido por ejemplo loseta manufacturada (Baldosa).

Por lo tanto, dentro de las principales consideraciones para lo que se va a determinar se debe tener en cuenta:

- La cantidad de sangre que mana de la herida y su forma. (Entre más máculas mejor).
- La altura de su caída, aunque esto supone que saldrá directamente de los ángulos de impacto también a determinar.
- La dirección de su caída con relación al soporte que la recibe.
- La naturaleza de dicho soporte.

5. Resultados

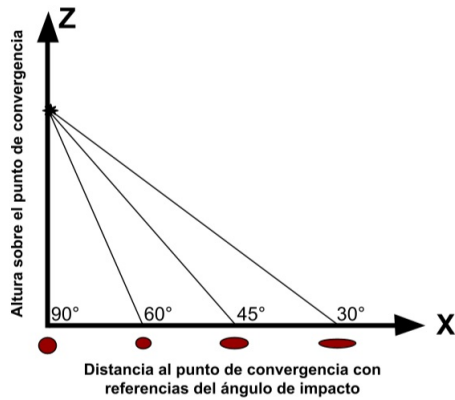


Figura 11: Altura vs Distancia respecto a la zona de convergencia

Fuente: Figura elaborada para el presente estudio.

En la trayectoria hacia un punto final, la gota de sangre en principio puede seguir dos recorridos, uno con caída completamente vertical, el cual generará una mancha de forma redonda con bordes festonados y otra dada a una caída en movimiento parabólico, el cual generará una mancha ovalada o alargada significando que la sangre cayó en un determinado ángulo, indicando mediante su "cola" la dirección de formación ya sea ascendente, descendente, de izquierda a derecha o viceversa (véase Figura 11, ángulo de las máculas de sangre respecto a una zona de convergencia en particular). De acuerdo con el ángulo de la trayectoria en su contacto con la superficie indicará la o las posibles direcciones de donde provienen o se originó la proyección de las manchas de sangre en determinado sitio específico.

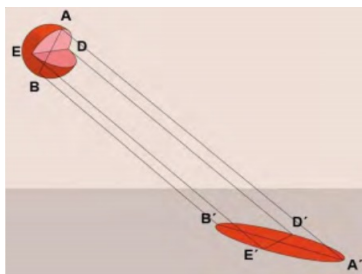


Figura 12: Representación de una mancha incidente en vuelo e impactada

Fuente: Revista Minerva, saber, arte y técnica.

La forma geométrica de una gota de sangre es esférica durante la mayor parte de su tiempo en vuelo y viaja con aceleración constante, por lo tanto, es considerada así también en el momento de impacto; pero una vez que la gota impacta la superficie en un ángulo diferente a 90°, se vuelve una mancha elongada producto de la gravedad

(Véase Figura 12). Mientras la gota se encuentra en vuelo está unida por medio de la tensión superficial y esta tensión de superficie causada por las fuerzas atractivas intermoleculares hace de "membrana elástica", cuando la gota impacta sobre una superficie se producirá una deformación que romperá la tensión de superficie; datos que deben tenerse en cuenta en los cálculos pues mientras más áspera sea la textura del soporte, mayor será la ruptura de la gota, originando que la misma se "abra" en gotas más pequeñas (Véase Figura 13) hacia el sentido en el que se suministró el impacto inicial dado a la herida formando proyecciones más pequeñas, gotas satélites.

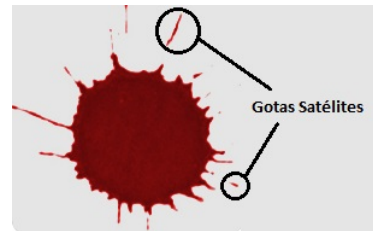


Figura 13: Mácula de sangre con gotas satélites

Fuente: Figura elaborada para el presente estudio.

Gran parte de las matemáticas que se utiliza para realizar estos cálculos es el uso de la trigonometría. Si una gota de sangre que cae tiene una forma esférica, desde la vertical, formaría un patrón circular de salpicaduras. Con las medidas dadas por el largo y el ancho de la mancha se podrá obtener uno de los ángulos que es el alfa α (por ejemplo, para el ángulo alfa teniendo en cuenta un ancho W de la gota de 1 cm y por otro lado 1cm de largo L , mediante el arco seno del argumento ancho sobre largo se tendría que el ángulo de impacto fue de 90°, significando que fue una mácula en caída libre) Véase Figura 14.

$$\alpha = \text{Sen}^{-1} \left(\frac{W}{L} \right) \tag{1}$$

Las manchas pequeñas corresponden a una transferencia grande de energía mientras que grandes manchas son el resultado de transferencia pequeña de energía. Así se puede determinar el ángulo de impacto de una gota de sangre dado, la intersección de dos o más caminos y la ubicación de la fuente de sangre en el momento del trauma. Entonces el análisis de la medición se lleva teniendo en cuenta el estado entre las características de las superficies y la morfología de cada una de las manchas que resultan del impacto sobre ellas.

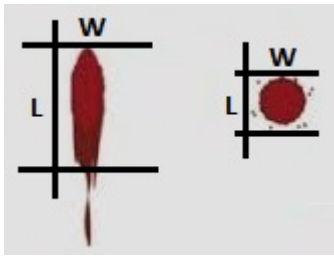


Figura 14: Representación de la medida del ancho W y largo L

Fuente: Figura elaborada para el presente estudio.

Al hallar el área de origen, que en nuestro caso sería la ubicación tridimensional a partir del cual se originó la salpicadura, gracias al área de convergencia, podemos establecer la altura y la distancia entre la herida desde donde se originó la sangre y el punto de impacto contra la superficie. De manera clásica se ha empleado el uso de cuerdas, la suposición de que las trayectorias de vuelo de las gotas de sangre pueden aproximarse mediante líneas rectas o lazos tensos da como resultado una ubicación de fuente estimada que estará aproximada a la ubicación real desde la que se originó la sangre, así mismo mediante el uso de software de computadora con registros fotográficos se podría hacer converger dichas cuerdas mediante puntos de fuga y los lineamientos dados por la geometría de la gota.

Para determinar el área de origen, es necesario seleccionar varias manchas de buen tamaño y en cierta parte que sean de forma uniforme, el cual indicaría la direccionalidad y con esto su área de convergencia; las intersecciones generadas por las líneas trazadas a través de los ejes longitudinales de manchas individuales, indicarían en dos dimensiones la ubicación de la fuente de sangre.



Figura 15: Fotografía escena del crimen

Fuente: Caso real

Atendiendo a que sean de calidad y en cantidad suficiente. En la práctica, se puede tomar una cuerda que sea alineada con el eje longitudinal de la mancha y se la extiende hacia la parte posterior de ésta o a 180° opuesta a su dirección de viaje, de modo de ejemplo se puede dar una descripción del área partiendo de la desviación general en la dirección X (perpendicular a la pared frontal), la dirección Y (paralela a la pared frontal) y en la dirección Z (altura), para todos los análisis en caso de pared frontal, véase Figura 16.

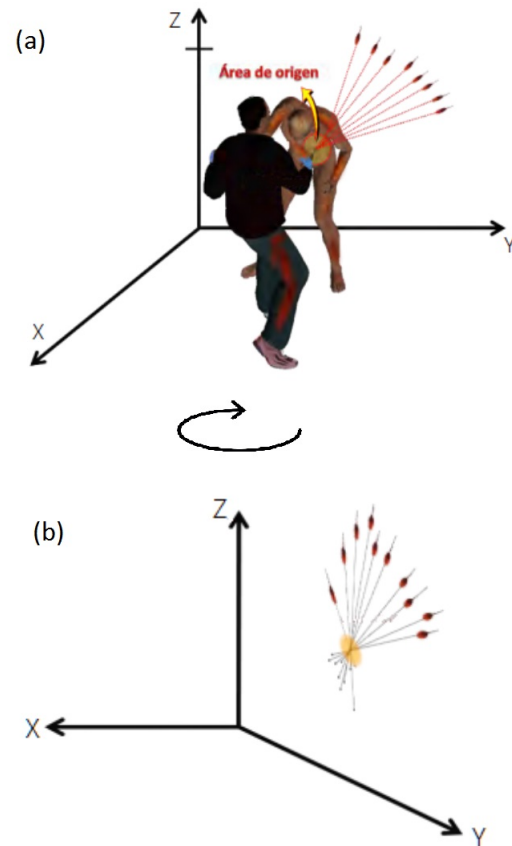


Figura 16: Esquema de un caso por mecanismo de proyección

Fuente: Figura elaborada para el presente estudio.

Como ya se sabe, la gota de sangre en vuelo tendrá una trayectoria parabólica, debido a la fuerza de gravedad que actúa sobre ella. Si suponemos que la fuente de sangre está lejos de una pared frontal, o si las gotas se mueven lentamente, las gotas caerán significativamente y se desviarán de la suposición de línea recta utilizada en algunos métodos de análisis de patrones de manchas de sangre. En algunos casos, la caída puede incluso pasar por encima de la altura máxima de la trayectoria parabólica y, de hecho, viajará hacia abajo cuando golpea la pared, siendo fundamental el criterio de la gota si cae en una textura vertical (pared) u horizontal (suelo). Es allí que el método de acordonamiento en el cual se basan programas como HemoSpat o Backtrack (Figura 17) poseen ciertas inconsistencias, estudios [5] muestran que al estimar el área de convergencia los datos obtenidos para la coordenada Z (Altura) está sobreestimada por lo que frustra la investigación forense en casos donde el parámetro Z es útil a la hora de querer distinguir entre un caso de auto-defensa y homicidio según la posición de la víctima.

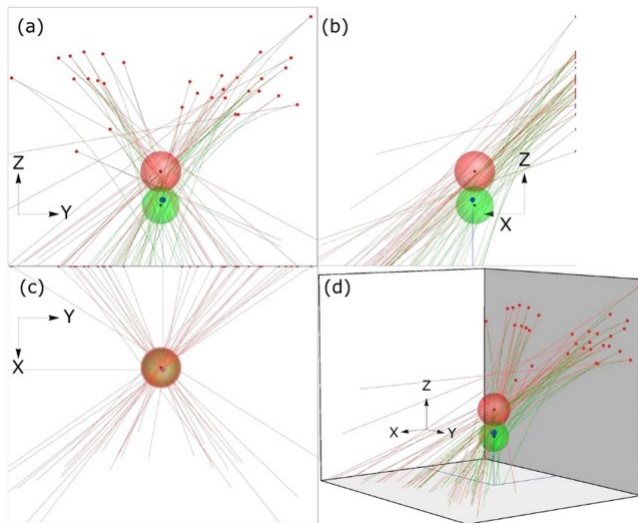


Figura 17: Sobre-estimación del área de convergencia mediante líneas rectas

Fuente: Extraída de Backtrack Suite.

Las desviaciones en la determinación del cálculo se dan en la selección de las máculas de sangre específicas, pues si no hay correlación entre ellas mayor será las desviaciones en los cálculos, es allí donde se debe buscar la minimización de error. En el caso de los software forenses para trayectos más largos, la influencia de la gravedad es mayor, por lo que la desviación de una línea recta será mayor. Así, las gotas de sangre que cubren distancias mayores muestran una desviación mayor. De acuerdo con eso, se deben seleccionar las manchas de sangre que estén más cerca de la supuesta ubicación de la fuente de sangre (que a menudo está cerca de la densidad más alta de manchas de sangre, casi circulares en ese patrón de impacto en particular). Otro aspecto no menos importante a tener en cuenta se da desde el momento en que el investigador judicial toma las medidas de la mácula; de acuerdo con Reynolds, Raymond y Dadour [6] las manchas de sangre con una mayor superficie corresponden a una menor desviación por lo tanto se recomienda que mientras no hayan estudios a profundidad de pequeñas gotas ($\leq 3,0mm$), se tenga mayor rigurosidad en el manejo de éstas, sobre todo las salpicadas oblicuamente, según Peace [7] cuanto más pequeña es la mancha de sangre, más difícil es distinguir los bordes de la mancha de sangre, por lo tanto, el error en la medición de la longitud y el ancho del ángulo de impacto α será mayor. Para el ancho de la gota se postula seleccionar manchas de sangre en principio mínimo de $w > 1,5mm$.

Asimilando una horizontal, en el análisis direccional se utilizaría una vista aérea de las trayectorias de vuelo de las gotas de sangre para calcular la posición de la fuente de sangre en el plano del suelo, es decir la trayectoria parabólica de una gota de sangre se encuentra en un plano perpendicular al suelo. La visualización se

tomaría desde un punto superior (Véase Figura 18-A) de las rutas de vuelo (mirando el recorrido en forma bidimensional, un plano en el cual el camino se ve como líneas rectas que convergen aproximadamente en la ubicación de la fuente de sangre). Luego, en el análisis direccional se puede proceder a usar una vista lateral para determinar una altura aproximada de la fuente de sangre (Véase Figura 18-B).

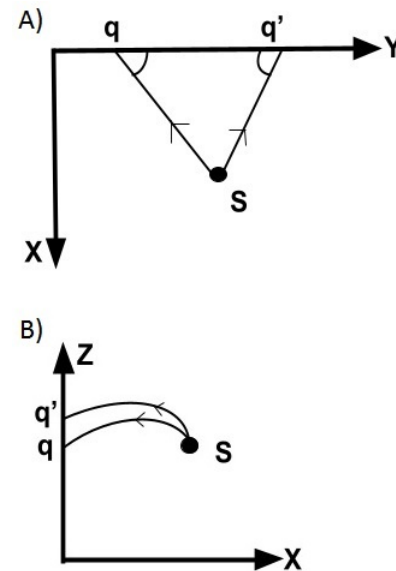


Figura 18: Vista superior A e inferior B de la trayectoria de la gota de sangre.

Fuente: Figura elaborada para el presente estudio.

Mediante las cuerdas cada una de estas líneas aproxima el recorrido del viaje de cada gota de sangre previo a impactar (obviamente ignorando el eje perpendicular). Mientras continúa el proceso, la línea cruza por un área generalizada que equivale a la ubicación de la fuente sanguínea en la escena: el punto o área de convergencia. Este procedimiento demostraría lógicamente una ubicación geográfica que supone la procedencia.

Existen otros 2 tipos de ángulos que ayudan en el análisis para una mejor precisión, una mancha de sangre proyectada puede afectar una superficie en cualquier ángulo y la sangre que se desplaza en este espacio tridimensional antes de que llegue a la superficie transporta esa información útil, el llamado ángulo de impacto alfa (α) se puede estimar como el ángulo que es relativo al plano de un objetivo (Véase Figura 19), con el que una gota de sangre percute en él como se aclaró anteriormente, los otros dos corresponden al ángulo beta (β) es el ángulo de la trayectoria de la mancha de sangre que gira sobre Z, un eje vertical dependiente de la ubicación y en ultimas el ángulo direccional gamma (γ) que va entre el eje largo de una salpicadura y una línea de referencia

definida sobre el objetivo.

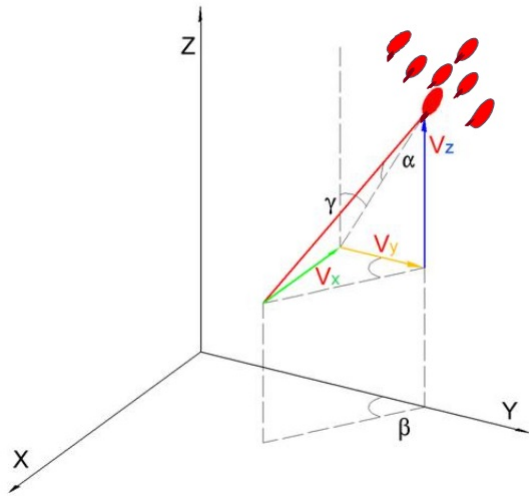


Figura 19: Esquema de los ángulos que relacionan las máculas de sangre en el evento criminal.

Fuente:Figura elaborada para el presente estudio.

De modo más explícito, cuando una gota de sangre golpea en cierto terreno, se forma una mancha en forma de una elipse, el denominado eje mayor de la elipse forma un ángulo con la línea vertical siendo este el ángulo gamma. Teniendo al margen las medidas de la longitud de ambos ejes mayor y menor, luego del respectivo procedimiento se tendrá la zona de convergencia, que es el área de intersección de varias rutas de manchas de sangre en un patrón de salpicaduras dado.

Se puede determinar el punto de origen y la dinámica de la gota hemática si tomamos que el aire se comporta como un fluido que ejerce cierta resistencia al desplazamiento de la gota de sangre en su movimiento, presentándose como una fuerza resistiva que se puede modelar como una fuerza directamente proporcional a la velocidad instantánea de la gota de sangre, como su dirección es exactamente opuesta a la dirección del movimiento, produce la reducción de la velocidad de la gota. Ubicando el origen de un sistema de coordenadas cartesiano, en el punto inicial del movimiento y usando el eje de las abscisas (Eje X) para describir el movimiento horizontal y el eje de ordenadas (Eje Y) para el movimiento vertical como normalmente se toma (Serway,p.111-126). Según la segunda ley de Newton

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{g} - b\vec{v} \quad (2)$$

Donde \vec{v} es la velocidad de la gota de sangre, m la masa, \vec{g} la aceleración debido a la gravedad y b una constante que indica la resistencia dada por el aire, se podrá encontrar la distancia de alcance, altura y las demás ecuaciones dada a su dinámica, mediante la individualización de

la ecuación (2) según sus componentes y teniendo en cuenta ciertas condiciones iniciales se logrará resolver las ecuaciones diferenciales lineales de segundo orden. La velocidad en la componente X está dada por:

$$v_x = v_0 \cos(\theta) e^{-\frac{b}{m}t} \quad (3)$$

El valor de las constantes que surgen dadas las integraciones a la hora de solucionar fueron determinadas considerando que para un tiempo inicial $t_0 = 0$ la velocidad de la gota de sangre corresponderá a la velocidad inicial en el eje X, $v_{x0} = v_0 \cos(\theta)$ siendo θ el ángulo de lanzamiento, medido respecto a la horizontal. Para un caso ideal se suele notar que la facilidad de los cálculos se da por el hecho de que el movimiento parabólico se rige de una componente horizontal donde no actúa ninguna fuerza externa manteniendo una velocidad constante y una componente vertical influenciada por la fuerza de gravedad, pero como se aprecia en (3) la velocidad en la componente X en realidad disminuirá exponencialmente con el tiempo.

Teniendo en cuenta la velocidad como la primera derivada de la posición podemos obtener la función posición,

$$X(t) = \frac{m}{b} v_0 \cos(\theta) \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right) \quad (4)$$

Similarmente para las componentes en el eje Y la función de velocidad y posición será,

$$v_y = v_0 \sin(\theta) e^{-\frac{b}{m}t} + \frac{mg}{b} \left(e^{-\frac{b}{m}t} - 1\right) \quad (5)$$

$$Y(t) = \frac{m}{b} \left(v_0 \sin(\theta) + \frac{mg}{b}\right) \left(1 - e^{-\frac{b}{m}t}\right) - \frac{mg}{b}t \quad (6)$$

Se podrá tener una velocidad de impacto en función de otras variables teniendo en cuenta ciertos aspectos que pueden influenciar directa e indirectamente en el caso, cuando una gota de sangre golpea una superficie (En este caso lisa y no porosa), esta se deforma, de tal manera que sus componentes tienden a separarse, dependiendo de las condiciones del impacto, la gota deja una impresión hemática de dimensiones específicas, en donde un diámetro D está relacionado con la velocidad de impacto y la densidad del líquido. Después de la colisión, también sucede que parte de la gota de sangre sale disparada formando lo que se conoce como proyección alrededor de la periferia de la mancha. El tamaño de las manchas de sangre y el número de proyecciones dependerán entonces de la velocidad de impacto de la gota y del diámetro de la gota.

La dispersión de las gotas están asociadas con la viscosidad y la tensión superficial y una gota alcanza un punto máximo o su máxima caída cuando estas fuerzas opuestas logran un equilibrio entre sí. Durante el impacto sobre una superficie, las gotas que se esparcen de forma circular o elíptica, se dan debido a la propagación impulsada por fuerzas de inercia y contrarrestada por la fuerza

viscosa, en el cual la relación entre la inercia del fluido y las fuerzas viscosas se expresa por una razón adimensional, definida como el número de Reynolds Re (Ecuación 7), así mismo la relación entre la inercia y las fuerzas de tensión superficial se expresan por el número de Weber We (Ecuación 8) el cual con ciertos procedimientos matemáticos y usando ciertos coeficientes que se determinan dada la zona y en correspondencia a la superficie para medir la dureza se tendrá parámetros más reales,

$$Re = \sqrt{\frac{F_I}{F_\sigma}} = \frac{\rho v_0 D}{\mu} \quad (7)$$

$$We = \frac{\rho D v_0^2}{\sigma} \quad (8)$$

Donde ρ es la densidad de la gota (kg/m^3), μ la viscosidad dinámica ($Pa.s$), D el diámetro (m) y σ la tensión superficial (N/m).

De modo experimental se ha logrado determinar un rango para estos parámetros adimensionales como son el caso de salpicaduras de sangre que pueden resultar producto de:

- Goteo,
 $240 < Re < 6,000$; $20 < We < 2,100$
- Traumatismo por fuerza contundente,
 $10 < Re < 4,800$; $1 < We < 3,400$
- Heridas de bala,
 $1 < Re < 12,000$; $1 < We < 85,000$

Siendo notorio que los parámetros más altos generalmente se presentan en una situación de disparo.

Se puede llegar a obtener la velocidad de impacto (Ecuación 21) en función de las variables anteriormente mencionadas principalmente, el número de manchas satélites y el diámetro de las gotas en cuestión, el cual deja ciertas condiciones específicas. En los estudios se suele someter los cálculos a modelos ideales pero se ha logrado investigaciones [8] donde se demuestra que el comportamiento de propagación no puede predecirse simplemente equiparando la inercia con las fuerzas capilares (tensión superficial) o viscosas, ya que, para la mayoría de las situaciones de interés práctico, las tres fuerzas son importantes, logrando determinar los comportamientos de escala correctos para los regímenes tanto viscoso como de tensión superficial y, al interpolar entre los dos, permitir un patrón universal.

Antes de impactar en la superficie la gota de sangre de forma esférica posee un diámetro D , el cual después de un milisegundo de propagarse en el suelo alcanzará un diámetro máximo D_m teniendo en cuenta el retroceso que puede presentar debido a las fuerzas capilares. En casos de alta transferencia de energía dado el instrumento utilizado (En este caso arma de fuego), la fuerza de

inercia de la gota en el momento del choque es suficientemente alta, haciendo que la fuerza de tensión superficial sea casi que insignificante, esto implicaría que el número de Reynold tome un protagonismo, indicando que el diámetro máximo es función de este número adimensional.

Experimentalmente siempre será un tema debatible el diámetro máximo de la gota dado diversos parámetros que se pueden dar por múltiples variables, sobre todo la superficie [9], estudios sugiere que cuando la dispersión de una gota está limitada únicamente por fuerzas viscosas, la relación de dispersión máxima puede estar dada por $\frac{D_m}{D}$ que deriva de equiparar la energía cinética con la disipación viscosa y varía con un factor de $Re^{1/5}$ para número de Reynolds mayores que 100 ($Re > 100$) sin embargo en el régimen forense se han presentado modelos de propagación del impacto que predice una escala con $Re^{1/4}$ en el régimen viscoso. Entonces, debe tenerse en cuenta, que en determinadas circunstancias (según el tamaño de la gota, la temperatura, la velocidad, la superficie, etc.) puede ser válido ignorar el efecto de la solidificación de la gota o la humectación de la superficie durante el impacto, utilizando un modelo simple de dispersión de las gotas en el que los efectos capilares pueden despreciarse durante la dispersión de gotas, este se da si $We \gg \sqrt{Re}$. Así, puede haber un amplio régimen de cruce entre los regímenes viscoso y de tensión superficial, para probar esta posibilidad se ha adoptado[7] un enfoque de la dinámica de caída después del impacto en una pared sólida, interpolando entre la escala $We^{1/2}$ y $Re^{1/5}$, usando la conservación de masa y momento, para construir un modelo para el diámetro del depósito en función del tiempo. En cada etapa, se realizó comparaciones detalladas entre la teoría y las simulaciones numéricas de la ecuación de Navier-Stokes.

El cruce entre los dos regímenes depende de la interacción entre los efectos viscosos y capilares, de modo que la dependencia de Re y We puede reunirse en una sola relación de escala. En el régimen viscoso, la mayor parte de la energía cinética inicial se perderá por disipación viscosa. En ese caso, se obtiene para el diámetro de dispersión máximo una proporción directa dada por,

$$\frac{D_m}{D} \propto \frac{Re^{1/4}}{2} \quad (9)$$

Donde de la experimentación se puede obtener una constante de proporcionalidad C_R o factor de corrección sobre el número de Reynold, en un modelo analítico donde la dinámica de la gota se describe como una mancha en expansión, cuyo valor es de 1.113.

El tamaño de la mancha y la cantidad de gotas satélites a partir de las cuales se determina la velocidad del impacto se han determinado mediante una gran variedad de ecuaciones que relacionan el tamaño de la mancha y

el número de espinas, algunos se basan en la física, mirando el tamaño de la mancha; la conservación de masa, volumen o energía o las fuerzas que actúan sobre la gota, para predecir el número de espinas; la inestabilidad de Rayleigh-Taylor o tensión superficial. Otras ecuaciones requieren un modelo informático complejo [10]. Concretando que los efectos de la tensión superficial es en ciertos casos insignificantes entonces se predice que el factor de dispersión máximo varía como:

$$\frac{D_m}{D} = C_R \frac{Re^{1/4}}{2} \quad (10)$$

que corresponde a la extensión máxima de la dispersión de la gota. También mediante las gotas satélites durante su propagación previa al impacto se ha realizado análisis de la inestabilidad que puede poseer la mácula hemática [11] es así que midiendo el diámetro máximo al que se extiende una gota y el número de gotas formadas a su alrededor se procede según la cantidad de gotas que aumentan con la velocidad del impacto y el diámetro de las gotas iniciales. A velocidades suficientemente altas, las puntas de estas máculas se desprenden, produciendo gotitas satélite, aunque en caso aumentar la rugosidad de la superficie, se reduce tanto el número de gotas como la extensión máxima. Como a altas velocidades de impacto, la película líquida de sangre que se extiende se vuelve más delgada, logra que se rompa de manera aleatoria en varios lugares, de tal forma se utilizó un modelo matemático, basado en la teoría de la inestabilidad lineal de Rayleigh-Taylor, para predecir la longitud de onda de la perturbación de más rápido crecimiento alrededor de una gota en expansión, en el que el número de onda correspondiente coincidía razonablemente bien con el número de gotas alrededor de la gota "principal" que se dio calculando los números de onda correspondientes a la perturbación de más rápido crecimiento para $10^2 < We < 10^5$, el cual en el ajuste de curva a través de la línea continua que se obtuvo mostró una ecuación de la forma,

$$N = 1,14\sqrt{We} \quad (11)$$

Lográndose emplear para estimar el número de manchas alrededor de una caída impactante y con un factor de corrección de acuerdo al número de Weber cuyo valor es $C_W = 0,838$ quedando,

$$N = 1,14C_W\sqrt{We} \quad (12)$$

Los factores de corrección son propuestos debido a las incertidumbres en las mediciones de las propiedades y de la rugosidad del material.

Se puede obtener un criterio para establecer las condiciones bajo las cuales los efectos capilares son insignificantes a partir de un modelo simple de conservación de energía de dispersión de gotas [12]. Antes del impacto, la energía cinética KE y energía superficial SE_1 de una

gota esférica están dadas por

$$KE = \left(\frac{1}{2}\rho v_0^2\right) \left(\frac{\pi}{6}D^3\right) \quad (13)$$

$$SE_1 = \pi D^2\sigma \quad (14)$$

Después del impacto, cuando la gota está en su diámetro máximo de extensión D_m , la energía cinética es cero y la energía superficial SE_2 es

$$SE_2 = \frac{\pi}{4}D_m^2\sigma(1 - \cos\theta) \quad (15)$$

Así mismo, el trabajo realizado para deformar la gota contra la viscosidad es aproximadamente,

$$W = \int_0^{t_c} \int_{\Omega} \phi d\Omega dt \approx \phi\Omega t_c \quad (16)$$

Donde Ω es el volumen del fluido viscoso (Sangre), t_c es el tiempo que tarda la gota en esparcirse y ϕ es la función de disipación viscosa. La magnitud de ϕ se estima mediante,

$$\phi \sim \mu \left(\frac{v_0}{L}\right)^2 \quad (17)$$

donde μ es la viscosidad del líquido y L es longitud de la mancha. Estimando entonces que el trabajo dado la por disipación viscosa puede estar dado por,

$$W = \frac{\pi}{3}\rho v_0^2 D D_m^2 \frac{1}{\sqrt{Re}} \quad (18)$$

Usando la condición de conservación de energía teniendo en cuenta las ecuaciones (11),(12),(13) y (16) con las relaciones adimensionales (7) y (8),

$$KE + SE_1 = SE_2 + W \quad (19)$$

La relación entre diámetro máximo e inicial de la gota de sangre es,

$$\frac{D_m}{D} = \left(\frac{We + 12}{3(1 - \cos\theta) + 4\frac{We}{\sqrt{Re}}}\right)^{1/2} \quad (20)$$

Siendo una expresión simple para el factor de dispersión máximo de la mácula, del análisis numérico la magnitud del término $(1 - \cos\theta)$ puede ser como máximo 2. Si We/\sqrt{Re} es grande en comparación a el valor del ángulo de contacto que tendrá poco efecto sobre D_m/D , el ángulo de contacto aparente se considera fijo en 180° (Según Fiedler y Naber 1989). Por lo tanto, podemos descuidar los efectos capilares al modelar el impacto de las gotas si $We \gg \sqrt{Re}$ el cual si $We \gg 12$ la ecuación (20) puede conllevar a la reducción de (10).

Es así que mediante la ecuación (10) el cual asocia el diámetro inicial y máximo de la mancha y (11) que compromete el número de gotas, se puede obtener una expresión explícita de la velocidad de impacto cuyos argumentos intrínsecamente están en función de las ecuaciones (7)

y (8), por lo que después de un riguroso procedimiento algebraico se tiene,

$$v_{imp} = 0,81 \left(\frac{\sigma^5 N^{10}}{\mu(\rho D)^4} \right)^{1/9} \quad (21)$$

Mediante esta velocidad de impacto sustituyendo en las ecuaciones de la dinámica de las gotas de sangre es posible estimar una buena aproximación de las posiciones vertical y horizontal del punto de origen de las gotas para la zona de convergencia.

6. Discusión

Un elemento importante a la hora de la reconstrucción de la escena del crimen en el caso de las máculas de sangre está dado por las formas de buscar desde las ciencias brindar la certeza de que lo que se regenera tendrá un acercamiento más seguro a lo que realmente pasó, tratando de buscar un modelo el cual no evite algunas condiciones del medio sino por el contrario que tenga que ver con varias propiedades del entorno e incluso del mismo fluido, desde la resistencia del aire hasta la energía que incumbe a la gota una vez recibe el impacto de bala en este caso, así el juzgamiento que se vaya a llevar a cabo tendrá mayor credibilidad.

Al tener en cuenta una ecuación para la velocidad de impacto de la gota en vuelo con sus posibles efectos dado a la gravedad, la resistencia del aire e incluso la tensión superficial y las fuerzas viscosas una vez golpea en la superficie, podrá conllevar a un mejor análisis, donde para el caso en cuestión se tuvo que tener en cuenta ciertas correcciones con relación al número de Reynolds y de Weber, parámetros útiles al momento de determinar la razón entre el diámetro máximo e inicial de cada gota elegible para seguir el patrón correspondiente, una vez esto con ayuda de los ángulos direccionales, la posición para la posible zona de origen tendrá un soporte congruente de modo teórico mediante todas las hipótesis que se plantearon previamente, el cual luego entrará en juego la parte experimental que será suceso para otra oportunidad de poder verificar los pro y contras de involucrar más medidas o variables físicas según el medio.

Los tipos de software como Blactrack suite o Hemospat basan la determinación de las áreas de convergencia en el que se originó un evento en específico a formulas convencionales como el método de encordonado el cual se basa en líneas rectas [18] (no curvas), mediante cuerdas que conectan cada uno de los puntos seleccionados en el que estos son fotografías de las máculas previamente tomadas en la zona con sus respectivas mediciones longitudinales y angulares, aunque estos programas computacionales hace que la labor se vuelva una tarea relativamente sencilla y considerablemente útil en la representación gráfica de lo que se observa en la escena del

crimen para una mejor comprensión del juzgado, al no tener el análisis de la cinemática y dinámica de la gota de sangre en vuelo fundamentada en otras características y al ser este un fluido que puede variar de acuerdo a la persona, estipular una ecuación que incluya la tensión superficial y las fuerzas viscosas permitirá una mejor precisión pues se tendrá una mejor aproximación de la ruptura de la gota una vez impacta a su soporte. Aunque trabajar con un ordenador puede que permita una mayor rapidez y una reducción del riesgo dado a la manipulación de las evidencias producto de que al ejercer la práctica manualmente se requiere de más de una persona vale la pena hacer ese esfuerzo para mejorar la estimación de punto de origen del evento, esto teniendo en cuenta solo un patrón, sin embargo cuando más de un evento puede coexistir en el mismo lugar generando más de un patrón de impacto superpuesto, la presencia para el análisis puede ser mejor diagnosticado que de forma computacional, pues las máculas combinadas podría generar equivocaciones, el software determina el punto de convergencia a través del punto medio de las intersecciones de las líneas creadas mediante el análisis de los puntos individuales, al haber una gran cantidad de manchas traerá confusión pues cada distinto patrón debe proceder a tener su respectivo ejes de coordenadas. Fundamentar la combinación ideal entre los conceptos teóricos del programa con otras condiciones del ambiente y de las manchas de sangre permitirá aspirar a poder hacer mejoras en algunos software que de por si ya son de gran utilidad para ser un buen complemento del perito encargado del análisis de patrones por el mecanismo de proyección y así mismo para futuros estudios con otros mecanismos y sobre todo superficies.

7. Conclusión

Se logró mediante revisiones bibliográficas y por medio de la aplicación de la física plantear la adaptación de una ecuación que relacionara otros aspectos fundamentales en una escena delictiva en el que estuviera sometido un caso de patrones de manchas de sangre por el mecanismo de proyección, proponiendo una implementación extensiva a software ya ejecutados, por medio de medidas de las máculas para estudiar su dinámica, teniendo una combinación de conceptos que abarca las condiciones del medio y sobre todo algunas características de la gota de sangre, esto partiendo de las inconsistencias del análisis de patrones de manchas de sangre que en Colombia está expuesto a funciones netamente de registros fotográficos e intuitivos de lo que posiblemente pasó y con el uso de software útiles pero limitados en su mecanismo. Esperando así por parte del profesional de la física que una vez obtenidas las condiciones hemáticas del lugar, el análisis de manchas de sangre sirva como enfoque para ayudar e instruir a los investigadores forenses a reconstruir la

dinámica de los crímenes.

Dado a que las técnicas forenses en la resolución de casos atroces y complejos sometidos al mecanismo de proyección están predestinados a un uso lineal, se buscó mediante conceptos físicos profundizar en ese manejo clásico dado por unión de cuerdas buscando un área de convergencia, así se logró combinar conceptos para tener un nuevo modelo que no solo mantendrá una estructura quizás empírica sino que propondrá la mejora del uso de un ordenador el cual emplee a futuro un patrón de diversas superficies y no simplemente el análisis de las componentes identificatorias como lo son los ángulos de la determinada zona, el cual hace muy básico o poco fundamentado el juzgamiento. Incluyendo entonces factores dados por el entorno, la gravedad, resistencia del aire y sobre todo las superficies en donde impactan las gotas de sangre, de acuerdo a sus propiedades como las fuerzas viscosas y la tensión superficial.

Siendo así el principal enfoque de análisis de sangre basados en la parte computacional para brindar un mejor apoyo a los investigadores tanto en términos de velocidad como de calidad de análisis, la idea es que el potencial humano policial sea un complemento hasta lograr una verdadera combinación de patrones teniendo en cuenta la nueva formulación. Esta dualidad de momento no fomentaría el uso generalizado del programa. En este tipo de aplicaciones se requiere la implementación y análisis de resultados sobre todo experimentales hasta lograr el mayor número de coincidencias posibles con el fin de validar el instrumento. La falta de una base física-matemática objetiva en nuestro país es un tema crítico y más en un escenario donde está en juego la calidad de las evidencias ya que podría afectar drásticamente un juicio judicial y por consiguiente la vida de las personas involucradas en ese juicio. Es así donde se busca una mejora de estos métodos de análisis y reconstrucción para reproducir el origen del flujo sanguíneo que queda en una escena de crimen de acuerdo a la dinámica de la gota hemática y que a largo plazo se logren patrones detallados de acuerdo a las superficies llevándolo a un estado de optimización, sobre el cual basar la próxima generación de técnicas de reconstrucción del crimen y con ello ayudar a los investigadores judiciales del estado Colombiano a realizar un análisis rápido, preciso, automático y sobre todo objetivo con bases sólidas.

8. Sugerencias

1. El sistema judicial colombiano presenta técnicas manuales soportadas por programas computacionales (software) el cual desde el planteamiento de la ciencias físicas puede atribuir ciertas deficiencias en los procedimientos, es allí donde se propone y se busca mejorar en algunos aspectos que conlleve a mejores estimaciones en casos como los de la

reconstrucción de escenas delictivas.

2. En el marco de que en el proyecto se postula una ecuación de la dinámica de la mácula de sangre de forma teórica para una superficie con ciertas condiciones específicas, es de vital importancia proceder a la experimentación mediante la adaptación a casos reales suministrados por los entes investigativos, para a futuro poder tener un patrón de manchas estándar de acuerdo a distintos terrenos y condiciones.
3. En aras de que se busca la optimización de las técnicas investigativas para llegar a la obtención de una adecuada precisión en la reconstrucción de un hecho que incluya un área de origen dado un acontecimiento criminal que implique máculas de sangre, se espera llegar a tener un modelo computacional que comprometa más variables físicas que facilite el trabajo del perito una vez que se tenga la estandarización para el mecanismo de proyección con diferentes superficies.
4. Hay que cambiar paradigmas en la formación de los profesionales de la física, en el que entiendan que las aplicaciones de esta área no solo está limitadas a la docencia, las energías renovables entre otras, se espera que a futuro puedan ser los peritos que aporten al mejoramiento de la labor criminalística o que puedan prestar servicios de labor social en cuanto a la capacitación y el entrenamiento de otros tipo de profesionales en un intercambio de conocimientos desde lo teórico a lo experimental.

Agradecimientos

A todas las personas que me apoyaron e hicieron posible que este trabajo se realice con éxito.

A mis padres por confiar, por los valores y principios que me han inculcado.

Finalmente a mis amigos de la vida y de la facultad que me acompañaron durante este proceso.

Bibliografía

- [1] Hematology.org
- [2] Ríos-Tapia CF, Izquierdo-Vega JA, Sánchez-Gutiérrez M, Zúñiga-Pérez C. Hemoglobina. Educ Salud Bol Cient Cienc Salud ICSa [Internet]. 2013 [citado el 17 de noviembre de 2021];1(2). Disponible en: <https://labtestsonline.es/tests/hemoglobina>
- [3] Stefanopoulos PK, Hadjigeorgiou GF, Filippakis K, Gyftokostas D. Gunshot wounds: A review

- of ballistics related to penetrating trauma. *J Acute Dis* [Internet]. 2014;3(3):178–85. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/s2221-6189\(14\)60041-x](http://dx.doi.org/10.1016/s2221-6189(14)60041-x)
- [4] Veiga JMF. *Ciencias Policiales*. José Manuel Ferrero Veiga; 2020.
 - [5] De Bruin KG, Stoel RD, Limborgh JCM. Improving the point of origin determination in bloodstain pattern analysis: Bloodstain pattern analysis. *J Forensic Sci* [Internet]. 2011;56(6):1476–82. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01841.x>
 - [6] Reynolds ME, Raymond MA, Dadour I. The use of small Bloodstains in Blood Source Area of Origin Determinations. *Can Soc Forens Sci J* [Internet]. 2009;42(2):133–46. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/00085030.2009.10757602>
 - [7] Pace A. The relationship between errors in ellipse fitting and the increasing degree of error in angle of impact calculations. *IABPA News*. 2005;
 - [8] Laan N, de Bruin KG, Bartolo D, Josserand C, Bonn D. Maximum diameter of impacting liquid droplets. *Phys Rev Appl* [Internet]. 2014;2(4). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1103/physrevapplied.2.044018>
 - [9] Rein M. Phenomena of liquid drop impact on solid and liquid surfaces. *Fluid Dyn Res* [Internet]. 1993;12(2):61–93. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-5983\(93\)90106-k](http://dx.doi.org/10.1016/0169-5983(93)90106-k)
 - [10] Eggers J, Fontelos MA, Josserand C, Zaleski S. Drop dynamics after impact on a solid wall: Theory and simulations, *Phys. Phys Fluids*. 2010;
 - [11] Mehdizadeh NZ, Chandra S, Mostaghimi J. Formation of fingers around the edges of a drop hitting a metal plate with high velocity. *J Fluid Mech* [Internet]. 2004;510:353–73. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1017/s0022112004009310>
 - [12] Pasandideh-Fard M, Qiao YM, Chandra S, Mostaghimi J. Capillary effects during droplet impact on a solid surface. *Phys Fluids* (1994) [Internet]. 1996;8(3):650–9. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.868850>
 - [13] Chandra S, Avedisian CT. The collision of a droplet with a solid surface. *Phys Fluids* [Internet]. 1991;2(9):1525–1525. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1063/1.4738846>
 - [14] Mc D, León H. *Flight Characteristics and Stain Patterns of Human Blood*. 1971.
 - [15] Sniegovski M, Bortolato J, Formolo F. *Manchas de Sangre: El Análisis de su Patrón en la Escena del Crimen*. Revista Skopein. 2016.
 - [16] Guzmán CA. *Manual de Criminalística- Editorial La Rocca, 1era. Edición*. Buenos Aires, Argentina; 2003.
 - [17] Silveyra JO. *La Escena del Crimen*. Buenos Aires-Argentina, Editorial La Rocca; 2006.
 - [18] Braz T. *Análise de Padrões de Manchas de Sangue – A importância médico-legal*. 2013.
 - [19] Gov.co. [citado el 24 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.fiscalia.gov.co/colombia/wp-content/uploads/Manual-de-Policia-Judicial-Actualizado.pdf>
 - [20] Gov.co. [citado el 24 de abril de 2021]. Disponible en: <https://www.fiscalia.gov.co/colombia/wp-content/policiajudicial/DOCPJFISCALIA/Manual-de-CriminalED>
 - [21] *Thermal engineering* [Internet]. Thermal Engineering. 2019 [citado el 25 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.thermal-engineering.org/>
 - [22] Rae.es. [citado el 25 de enero de 2022]. Disponible en: <https://dpej.rae.es/lema/mismidad>



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 1

Neiva, 19 Septiembre 2022

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad Neiva

El suscrito:

Óscar Eduardo Vásquez Parra, con C.C. No. **1077875297**, Autor de la tesis y/o trabajo de grado Titulado **“Medición hematológica forense mediante proyecciones de máculas a alta velocidad”** presentado y aprobado en el año 2022 como requisito para optar al título de Físico;

Autorizo al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Medición hematológica forense mediante proyecciones de máculas a alta velocidad.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Vásquez Parra	Óscar Eduardo

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cristancho Fierro	José Miguel

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Físico

FACULTAD: Ciencias Exactas y Naturales.

PROGRAMA O POSGRADO: Física.

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022

NÚMERO DE PÁGINAS: 17

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_**X**_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_**X**_ Grabados___
Láminas___ Litografías___ Mapas_**X**_ Música impresa___ Planos___ Retratos___ Sin ilustraciones___
Tablas o Cuadros___

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

MATERIAL ANEXO: Diapositivas de sustentación (Exp.susten.pdf)

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>	<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Mácula	Stain	6. Fluidos	Fluids
2. Hematología	Hematology	7. Viscosidad	Viscosity
3. Velocidad	Speed	8. Tensión Superficial	Surface tension
4. Energía	Energy	9. Ángulos	Angles
5. Hemodinámica	Hemodynamics	10. Área de convergencia	Convergence Area

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Las máculas de sangre presentes en escenas delictivas vienen determinadas por factores propios de la sangre, sus características como fluido y por aspectos externos tales como el mecanismo que las genera, la resistencia del aire, la gravedad y el tipo de superficie a la que impacta. En el presente trabajo de grado mediante la reconstrucción del evento fundamentado en revisiones bibliográficas y conceptos físicos se buscó de forma teórica ampliar la cobertura del peritaje en nuestra nación, aportando inicialmente la determinación del área de convergencia de un caso puntual mediante el análisis pormenorizado de cada una de las manchas hemáticas asociadas a un mecanismo de proyección, el cual implica de un elemento de transferencia de gran energía como lo es la vinculación de un proyectil a alta velocidad, esto teniendo en cuenta una superficie en principio lisa, dura y no porosa en la que permita la obtención del ángulo de posible impacto, dirección para establecer posiciones del agresor, de la víctima u otros, con el fin de facilitar el desarrollo de investigación al aplicar el estudio a la escena del crimen, proponiendo una implementación extensiva a software ya ejecutados teniendo en cuenta otras condiciones del medio como también la viscosidad y tensión superficial del fluido sanguíneo, logrando finalmente obtener una ecuación para determinar la velocidad de impacto del fluido en cuestión y así mediante la dinámica de las máculas poder tener un acercamiento más claro de un evento judicial que necesite de los conocimientos de la Física.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	4 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

The bloodstains present in criminal scenes are determined by factors inherent to blood, its characteristics as a fluid and by external aspects such as the mechanism that generates them, air resistance, gravity and the type of surface it hits. In the present degree work, through the reconstruction of the event based on bibliographic reviews and physical concepts, it was theoretically sought to expand the coverage of the expert opinion in our nation, initially contributing the determination of the area of convergence of a specific case through the detailed analysis of each one of the blood stains associated with a projection mechanism, which involves a high-energy transfer element such as the connection of a projectile at high speed, this taking into account a surface that is initially smooth, hard and non-porous in the one that allows obtaining the angle of possible impact, direction to establish positions of the aggressor, the victim or others, in order to facilitate the development of investigation when applying the study to the crime scene, proposing an extensive implementation to software and executed taking into account other conditions of the medium as well as the viscosity and surface tension to that of the blood fluid, finally obtaining an equation to determine the impact speed of the fluid in question and thus, through the dynamics of the macules, be able to have a clearer approach to a judicial event that requires the knowledge of Physics.



CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	5 de 5
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: Gonzalo Edgardo Pedraza Guerrero.

Firma:

Nombre Jurado: Carlos Eduardo Cuellar Santanilla

Firma:

Nombre Jurado: Alberto Tejada Valbuena.

Firma: