

Maestría en

Nombre Maestría

Trabajo de investigación previo a la obtención del título de

Magíster en (Nombre Maestría)

AUTORES:

Erick Damián Andino Castellanos

Julissa Estefanía Pérez Balladares

Christian Santiago Medina Sánchez

Yousep Ibrahim Yánez

Ana Karen Rocafuerte Ruiz

TUTORES:

Docente titulación

Dr. Sergio Fernández

Dra. Elisa Ruiz Tagle Fernández

Dr. Javier Gavilan

Título del Trabajo de Titulación

“Ciencia Forense Convergente: Un Enfoque Integrado para la Autenticación Digital, la Dinámica Balística y la Interpretación Médico-Legal”

Quito, diciembre 2025

Certificación de autoría

Nosotros, **Ana Karen Rocafuerte Ruiz, Erick Damián Andino Castellanos, Julissa Estefanía Pérez Balladares, Christian Santiago Medina Sánchez y Yousep Ibrahim Yáñez Yáñez**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE), para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, su reglamento y demás disposiciones legales.

Firma del graduando
Ana Karen Rocafuerte Ruiz

Firma del graduando
Erick Damián Andino Castellanos



Firma del graduando
Julissa Estefanía Pérez Balladares

Firma del graduando
Christian Santiago Medina Sánchez



Firma del graduando
Yousep Ibrahim Yáñez Yáñez

Autorización de Derechos de Propiedad Intelectual

Nosotros, Ana Karen Rocafuerte Ruiz, Erick Damián Andino Castellanos, Julissa Estefanía Pérez Balladares, Christian Santiago Medina Sánchez y Yousep Ibrahim Yáñez Yáñez, en calidad de autores del trabajo de investigación titulado “Ciencia Forense Convergente: Un Enfoque Integrado para la Autenticación Digital, la Dinámica Balística y la Interpretación Médico-Legal”, autorizamos a la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) para hacer uso de todos los contenidos que nos pertenecen o de parte de los que contiene esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación. Los derechos que como autores nos corresponden, lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento en Ecuador.

D. M. Quito, diciembre 2025



Firma del graduando
Ana Karen Rocafuerte Ruiz

Firma del graduando
Erick Damián Andino Castellanos

Firma del graduando
Julissa Estefanía Pérez Balladares

Firma del graduando
Christian Santiago Medina Sánchez



Firma del graduando
Yousep Ibrahim Yáñez Yáñez



Aprobación de dirección y coordinación del programa

Nosotros, Sergio Fernández Director EIG y Jorge Dominguez Coordinador UIDE, declaramos que los graduandos: Erick Damián Andino Castellanos Julissa Estefanía Pérez Balladares Christian Santiago Medina Sánchez Yousep Ibrahim Yánez Ana Karen Rocafuerte Ruiz son los autores exclusivos de la presente investigación y que ésta es original, auténtica y personal de ellos.

FERNANDEZ
MORENO SERGIO
ANTONIO -
24237806S

Firmado digitalmente
por FERNANDEZ
MORENO SERGIO
ANTONIO - 24237806S
Fecha: 2026.04.02
20:06:04 +02'00'

Dr. Sergio Fernández
Director/a de la
Maestría en Criminalística

Jorge Dominguez
Coordinador/a de la
Maestría en Criminalística



DEDICATORIA

Ana Karen Rocafuerte Ruiz: Dedico este trabajo a mi amado hijo Gabriel, cuya existencia me impulsa a crecer y superar cada desafío con determinación. A mis padres, pilares de mi vida, por su apoyo constante, su guía y su confianza en mis capacidades. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la constancia. Mi gratitud profunda y eterna.

Erick Damián Andino Castellanos: A mis padres, por todo su apoyo incondicional y sacrificio constante, que me ayudaron a cumplir mis metas. A mis hermanos, por sus consejos que fueron mi guía. Y en especial a mi esposa Mishell y a mi hijo Emilio, que en los momentos más difíciles fueron la motivación para seguir adelante. Este logro es tanto suyo como mío.

Julissa Estefanía Pérez Balladares: Dedico este trabajo a mis padres, quienes con su amor, fuerza y presencia han sido mi refugio y mi impulso para llegar hasta aquí, guiando cada uno de mis pasos.

Christian Santiago Medina Sánchez: A mis padres. Este logro es un testimonio de su inmenso amor y dedicación. Valoro mucho las lecciones de vida que me han impartido y por el cariño que siempre me han brindado. Mi gratitud hacia ustedes es imposible de expresar completamente. Esta tesis es un tributo a su legado y a la eterna admiración que siento por ustedes. Gracias por ser los mejores padres del mundo.

Yousep Ibrahim Yáñez Yáñez: Dedico este trabajo a mi madre, ejemplo de entrega y valentía, a mi abuelita, cuya memoria vive en cada uno de mis sueños cumplidos. Ambas son mi razón de seguir avanzando y este logro les pertenece profundamente



AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la culminación de este trabajo de titulación, cuya realización representa no solo un logro académico, sino también un proceso de crecimiento personal y profesional.

A la Universidad Internacional del Ecuador (UIDE) y a la Escuela de Posgrado, por brindarnos un espacio de formación integral, recursos académicos de calidad y un entorno que fomenta la investigación rigurosa y la excelencia profesional.

A nuestros tutores y docentes, quienes con su orientación, acompañamiento y exigencia académica nos guiaron hacia una comprensión más profunda de la disciplina. Sus aportes, experiencia y compromiso dejaron huellas imborrables en nuestro proceso formativo.

A nuestras familias, por su apoyo incondicional, por comprender nuestras ausencias y por sostenernos emocionalmente durante cada etapa del proyecto. Gracias por creer en nosotros incluso en los momentos en los que el cansancio parecía mayor que el avance. Este logro también es suyo.

Agradecemos también a nuestros compañeros de cohorte, quienes, con su colaboración, intercambio de ideas y trabajo conjunto enriquecieron la construcción de este estudio. Las experiencias compartidas durante la maestría fortalecieron el aprendizaje colectivo y nos acompañarán más allá de las aulas.

Finalmente, queremos reconocer el esfuerzo de cada uno de nosotros como equipo, por mantener el compromiso, la disciplina y la responsabilidad necesarios para concluir este proyecto. La dedicación individual y colectiva hizo posible que hoy presentemos un trabajo íntegro, fruto del esfuerzo sostenido y la voluntad de superación.

RESUMEN

El presente proyecto integrador aborda un caso forense ficticio desde un enfoque interdisciplinario, integrando la balística forense, la medicina legal y el análisis forense de audio y video digital, con el objetivo de reconstruir técnicamente los hechos y validar la evidencia disponible mediante metodologías científicas reproducibles.

El análisis balístico permitió correlacionar trayectorias, impactos y posiciones relativas de disparo, aportando información clave sobre la dinámica del enfrentamiento armado y la posible participación de más de un actor. Estos hallazgos fueron determinantes para establecer la secuencia del evento y su coherencia con la evidencia material recuperada.

Desde el ámbito médico-legal, se analizó un caso de ahorcadura en contexto penitenciario. Los hallazgos del examen externo e interno, como el surco vital oblicuo, fenómenos cadavéricos concordantes, integridad del aparato hioideo y ausencia de lesiones de defensa, fueron consistentes con una etiología suicida. La data de muerte se estimó mediante el nomograma de Henssge, obteniéndose un intervalo post-mortem compatible con el momento del hallazgo.

En el eje digital, el análisis forense audiovisual incluyó la verificación de integridad mediante hash, el análisis de metadatos, la segmentación del video y el estudio acústico del audio. Los resultados confirmaron que el archivo de CCTV es auténtico, íntegro y no presenta signos de manipulación.

En conjunto, el proyecto evidencia la importancia de integrar disciplinas forenses bajo criterios de trazabilidad, rigor técnico y coherencia pericial para sustentar conclusiones confiables.

Palabras clave: Criminalística forense; Balística; Medicina legal; Evidencia digital; Análisis audiovisual; Reconstrucción de hechos.

ABSTRACT

This integrative project addresses a fictional forensic case from an interdisciplinary approach, integrating forensic ballistics, legal medicine, and forensic audio and video analysis, with the objective of technically reconstructing the events and validating the available evidence through reproducible scientific methodologies.

The ballistic analysis made it possible to correlate trajectories, impacts, and relative shooting positions, providing key information about the dynamics of the armed confrontation and the possible involvement of more than one actor. These findings were decisive in establishing the sequence of events and their coherence with the recovered material evidence.

From the medico-legal perspective, a case of hanging in a penitentiary context was analyzed. Findings from the external and internal examinations, such as an oblique vital ligature mark, consistent postmortem changes, integrity of the hyoid apparatus, and absence of defense injuries, were consistent with a suicidal etiology. The time of death was estimated using the Henssge nomogram, obtaining a post-mortem interval compatible with the time of discovery.

In the digital domain, the forensic audiovisual analysis included integrity verification through hashing, metadata analysis, video segmentation, and acoustic examination of the audio. The results confirmed that the CCTV file is authentic, intact, and shows no signs of manipulation.

Overall, the project highlights the importance of integrating forensic disciplines under criteria of traceability, technical rigor, and evidentiary coherence in order to support reliable conclusions.

Keywords: Forensic criminalistics; Ballistics; Legal medicine; Digital evidence; Audiovisual forensic analysis; Reconstruction of events.

TABLA DE CONTENIDOS (Índice)

Contenido

Capítulo 1.....	1
Introducción.....	1
1. Planteamiento del Problema e Importancia del Estudio	3
1.1. Definición del proyecto.....	4
1.2. Naturaleza o tipo de proyecto.	5
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo general.....	7
1.3.2. Objetivo específico	7
1.4. Justificación e importancia del trabajo de investigación.	7
1.5. Perfil de la organización.	9
1.5.1. Nombre, actividades, mercados servidos y principales cifras.....	9
1.5.2. Nombre de la empresa	9
1.5.7. Propiedad y forma jurídica	11
1.5.8. Mercados servidos o ubicación de sus actividades de negocio	11
1.5.9. Tamaño de la organización.....	11
1.5.10. Información sobre empleados y otros trabajadores.....	11
1.5.11. Procesos claves relacionados con el objetivo propuesto.	12
1.5.12. Principales cifras, ratios y números que definen a la empresa.....	12
1.5.13. Modelo de negocio.....	13

1.5.14. Grupos de interés internos y externos	13
1.5.15. Otros datos de interés.....	14
Capítulo 2. Análisis Balístico Forense	15
2.1. Introducción al análisis balístico	15
2.2. Cadena de custodia y preservación de evidencia balística	16
2.3. Caracterización de armas de fuego potencialmente involucradas	17
2.4. Análisis técnico de las armas vinculadas al caso	17
2.4.1. Arma institucional: pistola semiautomática calibre 9 mm.....	18
2.4.2. Arma del ocupante del vehículo: revólver calibre .38 Special.....	19
2.4.3. Arma no recuperada: hipótesis de arma larga o de alta energía.....	19
2.4.4. Balística interna: relevancia para la investigación.....	20
2.5. Balística externa: trayectoria y comportamiento del proyectil	21
2.6. Evidencia balística recolectada.....	22
2.7. Análisis comparativo de casquillos y estrías	24
2.8. Análisis geométrico y trayectorias balísticas.....	24
2.9. Determinación de posiciones probables de tiradores.....	25
2.10. Estimación de distancias de disparo	26
2.11. Energía cinética y deformación de proyectiles	27
2.12. Efectos del impacto según el tipo de superficie (muro vs. metal)	27
2.13. Correlación balístico-lesional.....	28
2.14. Correlación arma-trayectoria-lesión	28
2.15. Síntesis técnica de distancias y patrones de disparo	29
2.16. Análisis secuencial del enfrentamiento.....	31
Capítulo 3. Análisis Médico-legal y Estadístico Aplicado al Caso CRS “La Colina”	33
3.1. Consideraciones generales del análisis médico-legal	33
3.2. Metodología pericial aplicada (enfoque médico-legal).....	34

3.2.1. Inspección de la escena del hallazgo	34
3.2.2. Examen externo del cadáver.....	35
3.2.3. Examen interno del cadáver	36
3.2.4. Integración médico–legal, balística y estadística.....	36
3.3. Escena del interno: análisis médico–legal contextual.....	37
3.4. Examen externo del interno: análisis detallado del mecanismo	39
3.5. Examen interno del interno: correlación anatómica y fisiopatológica.....	40
3.6. Estimación del Intervalo Post-Mortem (IPM) mediante Normograma de Henssge.....	42
3.6.1. Coherencia escena–cuerpo.....	45
3.6.2. Dinámica probable de la muerte	45
3.6.3. Correlación anatómica y fisiopatológica.....	46
3.6.4. Diagnóstico médico–legal final del interno	47
3.7. Introducción a la segunda escena médico–legal: conductor fallecido	47
3.8. Examen externo del conductor: caracterización lesional y trayectoria inicial.....	49
3.9. Examen interno del conductor: canal lesional y fisiopatología de la muerte	50
3.10. Reconstrucción médico–legal y balística integrada del caso del conductor	52
3.11. Lesiones no balísticas asociadas al colapso corporal.....	54
3.12. Análisis de hipótesis (H1–H3) desde la perspectiva médico–legal.....	56
3.13. Valoración médico–legal integrada de ambas muertes	59
3.14. Matriz comparativa médico–legal: interno vs. conductor.....	59
3.15. Análisis estadístico aplicado a la valoración final (H1, H2, H3).....	60
3.15.1. Variables consideradas para el análisis.....	61
3.15.2. Evaluación de hipótesis	62
3.15.3. Interpretación final del modelo.....	63

3.16. Conclusión médico–legal integral del Capítulo 3.....	64
3.16.1. Conclusiones médico–legales sobre el interno Juan López M	64
3.16.2. Conclusiones médico–legales sobre el conductor del vehículo	65
3.16.3. Conclusiones integradas del análisis médico–legal y estadístico.....	65
Capítulo 4. Análisis Forense de Audio y Video Digital.....	67
4.1. Introducción al análisis forense audiovisual del caso.....	67
4.2. Descripción del material audiovisual recibido	68
4.3. Proceso de preservación y aseguramiento digital.....	71
4.4. Análisis de metadatos del archivo audiovisual	72
4.4.1. Metadatos técnicos generales.....	73
4.4.2. Metadatos de software y edición.....	73
4.4.3. Metadatos temporales	74
4.4.4. Evaluación crítica de metadatos faltantes	75
4.5. Segmentación temporal del video y extracción de fotogramas clave.....	76
4.5.1. División general en segmentos	77
4.5.2. Fotogramas clave extraídos.....	77
4.5.3. Correlación temporal con medicina legal y balística	79
4.5.4. Evaluación preliminar de autenticidad visual	79
4.6. Análisis de integridad del material audiovisual	81
4.6.1. Análisis ELA (Error Level Analysis).....	81
4.6.2. Análisis de ruido (Noise Analysis).....	83
4.6.3. Detección de clonaciones (Clone Detection).....	84

4.6.4. Análisis de bordes y patrones de compresión	85
4.6.5. Análisis de inconsistencias lumínicas y sombras	86
4.6.6. Análisis de estructuras GOP (Group of Pictures).....	87
4.6.7. Síntesis del análisis de integridad	88
4.7. Análisis forense del audio del archivo audiovisual.....	89
4.7.1. Forma de onda general.....	89
4.7.2. Análisis espectral (espectrograma).....	90
4.7.3. Análisis de sincronía audiovisual.....	91
4.8. Evaluación de posibles manipulaciones con inteligencia artificial (deepfake)	93
4.8.1. Señales típicas de deepfake en video	93
4.8.2. Señales de deepfake en audio.....	94
4.8.4. Análisis de consistencia global	95
4.9. Correlación audiovisual con los otros componentes periciales del caso	96
4.9.1. Correlación con balística forense (Capítulo 2)	96
4.9.2. Correlación con medicina legal (Capítulo 3).....	98
4.9.3. Coherencia tridisciplinaria	99
4.10. Discusión técnica del análisis audiovisual.....	99
4.10.1. Fortalezas del análisis audiovisual	99
4.10.2. Limitaciones técnicas del video.....	100
4.10.3. Limitaciones del análisis acústico.....	100
4.10.4. Relevancia probatoria del video dentro del caso	101

4.11. Conclusiones forenses integradas del análisis audiovisual	102
4.11.1. Autenticidad e integridad del archivo	102
4.11.2. Integridad visual del contenido	102
4.11.3. Coherencia del audio con el evento registrado.....	103
4.11.4. Confirmación de la dinámica del disparo	103
4.11.5. Correspondencia con los hallazgos médico- legales	104
4.11.6. Valor probatorio del video en el contexto del caso	104
4.11.7. Aporte del análisis audiovisual al caso CRS “La Colina”	105
4.11.8. Conclusión final del Capítulo 4	106
Capítulo 5.....	107
5. Conclusiones Y Aplicaciones	107
5.1. Conclusiones generales	107
5.2. Conclusiones específicas	108
5.2.1. Análisis del cumplimiento de los objetivos de la investigación.....	108
5.2.2. Contribución a la gestión institucional.....	109
5.2.3. Contribución a nivel académico.....	110
5.2.4. Contribución a nivel personal	111
5.3. Limitaciones a la Investigación.....	111
Bibliografía.....	112
ANEXOS.....	115

LISTA DE TABLAS (Índice de tablas)

Tabla 1 Evidencia balística recolectada	23
Tabla 2 Distancias de disparo, trayectorias y calibres asociados al evento	30
Tabla 3 Signos característicos de ahorcadura incompleta.....	42
Tabla 4 Lesiones principales y secundarias en el conductor	55
Tabla 5 Evaluación estadística de hipótesis médico–legales	58
Tabla 6 Comparación médico–legal de las dos muertes estudiadas	60
Tabla 7 Probabilidades comparadas de hipótesis (H1–H3)	63
Tabla 8 Resumen técnico del archivo de video.....	70
Tabla 9 Metadatos técnicos generales del archivo de video CCTV.....	73
Tabla 10 División general en segmentos del video CCTV analizado.....	77
Tabla 11 Correlación fotograma–lesión–trayectoria del caso CRS “La Colina”	80

LISTA DE FIGURAS (Índice de figuras)

Figura 1 Análisis Balístico en "CRS "La Colina"": Reconstrucción de Trayectorias Múltiples .	16
Figura 2 Mecanismo interno de pistola semiautomática y expulsión de casquillos.....	18
Figura 3 Comparativa: patrón de dispersión pistola vs. revólver.....	19
Figura 4 Hipótesis de Tirador Desconocido: Evidencia de Alto Calibre.....	20
Figura 5 Análisis de Trayectorias Balísticas en CRS "La Colina".....	22
Figura 6 Secuencia Cronológica del Conflicto: Reconstrucción de las Cuatro Fases Balísticas.	32
Figura 7 Esquema general de las dos escenas forenses del caso CRS "La Colina": celda (ahorcadura) y perímetro exterior (homicidio por proyectil).....	34
Figura 8 Integración Forense: Coherencia Escena-Cuerpo en Suspensión Parcial.....	38
Figura 9 Examen Externo: Características del Surco en Ahorcadura Incompleta.....	40
Figura 10 Análisis Tanatológico: Estimación del Intervalo Post-Mortem y Cronología del Caso.....	45
Figura 11 Escena Dos: Conductor Fallecido y Colapso por Impacto Balístico.....	48
Figura 12 Morfología de la Herida: Trayectoria Descendente de Proyectil de Arma de Fuego....	50
Figura 13 Trayectoria Integrada: Impacto Balístico Parabrisas-Tórax (9mm).....	54
Figura 14 Infografía Comparativa: Etiología y Mecanismo de las Dos Muertes.....	59
Figura 15 Conclusión Forense Integrada: Independencia de las Dos Muertes.....	66
Figura 16 Análisis de Video Forense: Fotograma Clave del Enfrentamiento Perimetral.....	68
Figura 17 Flujo Forense Digital: Preservación y Cadena de Custodia (ISO 27037).....	72
Figura 18 Línea de Tiempo de Metadatos: Verificación de Autenticidad del Video CCTV.....	75
Figura 19 Secuencia de Fotogramas Críticos: Dinámica del Impacto Balístico.....	78
Figura 20 Análisis ELA (Error Level Analysis): Verificación de Integridad de Fotograma.....	82
Figura 21 Análisis de Ruido: Validación de la Uniformidad Digital del Fotograma de Impacto	84
Figura 22 Diagrama de Integridad y Autenticidad del Video.....	88

Figura 23 Análisis Acústico Forense: Forma de Onda e Identificación del Pico Balístico	90
Figura 24 Espectrograma Forense: Detalle del Pico de Alta Frecuencia Segundo 38–40.....	91
Figura 25 Validación contra Manipulación Deepfake (Video CCTV)	96
Figura 26 Análisis Crítico del Video CCTV como Evidencia Probatoria	101
Figura 27 Conclusiones Integradas del Análisis Audiovisual Forense.....	106

Capítulo 1:

Introducción.

El análisis criminalístico contemporáneo se caracteriza por la integración sistemática de diversas disciplinas forenses que, en conjunto, permiten reconstruir de manera objetiva y verificable los hechos vinculados a un evento investigado. Este proyecto final se desarrolla a partir de un caso ficticio complejo ocurrido en el Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina” donde confluyen tres tipos de evidencia fundamentales: indicios corporales asociados a una muerte en celda, indicios balísticos derivados de un enfrentamiento armado en el perímetro del establecimiento y evidencia audiovisual cuya autenticidad debe ser determinada. La convergencia de estos elementos exige un abordaje interdisciplinario que articule de manera coherente los conocimientos adquiridos en balística forense, medicina legal, herramientas estadísticas aplicadas al análisis forense y análisis forense de audio y video digital.

En el ámbito de la balística forense, el estudio de las trayectorias, los patrones de impacto y la coexistencia de diferentes calibres constituye una herramienta esencial para determinar el número de tiradores, sus posibles posiciones y la dinámica del enfrentamiento. Tal como se analizó en el módulo correspondiente, la variabilidad en la energía cinética de los proyectiles, la dispersión de casquillos y la distribución espacial de los impactos permiten inferir la participación de múltiples actores y reconstruir la secuencia operativa del evento. Estos criterios resultan indispensables para evaluar si la actuación de los agentes de seguridad se ajustó a los principios de necesidad y proporcionalidad o si existieron disparos no justificados, como se evidenció en ejercicios donde trayectorias inconsistentes sugerían la intervención de un tirador adicional no identificado.

El componente de medicina legal aporta una base metodológica rigurosa para el análisis de lesiones, la evaluación de fenómenos cadavéricos y la determinación de la causa, mecanismo y etiología de la muerte. La caracterización del surco constrictor, la valoración de la posición del cuerpo y la ausencia o presencia de lesiones defensivas constituyen indicadores fundamentales para diferenciar entre una muerte por ahorcadura y una posible simulación de suicidio, según lo estudiado en el PBL de Medicina Legal. Asimismo, los protocolos de inspección y levantamiento destacan la importancia de documentar adecuadamente la escena, preservar el material de suspensión y garantizar la cadena de custodia antes del traslado del cadáver. En el caso analizado, estos elementos resultan determinantes para establecer la coherencia entre la escena, el cuerpo y la hipótesis planteada.

Por su parte, el análisis forense de audio y video adquiere un rol central en el contexto actual, donde la difusión de material digital potencialmente alterado puede influir en el curso de una investigación penal. El enfoque aplicado en este proyecto incorpora técnicas como la verificación hash, la extracción de metadatos, la segmentación en fotogramas y herramientas de integridad como Error Level Analysis (ELA), Noise Analysis y Clone Detection. Estas metodologías, conforme a los estándares de la ISO/IEC 27037:2012, permiten evaluar y descartar alteraciones asociadas a procesos de edición, interpolación o generación sintética, identificables por anomalías en patrones de ruido, compresión irregular e inconsistencias lumínicas. La validación técnica de este tipo de evidencia es crucial para determinar su fiabilidad y evitar conclusiones erróneas.

La integración de balística, medicina legal y análisis digital permite obtener una visión completa, metodológicamente sustentada y técnicamente replicable del caso investigado. Este enfoque interdisciplinario no solo facilita la reconstrucción de los hechos, sino que posibilita la formulación y contraste de hipótesis alternativas, la asignación de pesos relativos a la evidencia y

la construcción de conclusiones con valor científico y jurídico. De esta manera, el presente proyecto evidencia la necesidad de que la criminalística moderna incorpore metodologías robustas que integren indicios físicos, biológicos y digitales para garantizar investigaciones forenses precisas, objetivas y sostenibles dentro del proceso penal.

1. Planteamiento del Problema e Importancia del Estudio.

Los eventos violentos ocurridos en contextos de privación de libertad representan uno de los escenarios más complejos para la investigación criminalística, debido a la coexistencia de múltiples actores, versiones contradictorias y diversos tipos de evidencia que deben ser analizados de manera técnica y objetiva. En el caso ficticio desarrollado en el Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina” se registran dos hechos relevantes que, por su proximidad temporal e institucional, generan interrogantes fundamentales para el análisis forense: la muerte de un interno ocurrida al interior de una celda y, posteriormente, un enfrentamiento armado en el perímetro externo del establecimiento, durante el cual fallece el conductor de un vehículo.

La ocurrencia de ambos sucesos dentro de un mismo contexto institucional ha dado lugar a interpretaciones iniciales que tienden a vincularlos de manera directa, basándose principalmente en su cercanía temporal. Sin embargo, desde una perspectiva criminalística, esta asociación no puede asumirse sin un análisis técnico riguroso que permita establecer si se trata de eventos independientes, de una relación indirecta de carácter contextual o de una posible secuencia de hechos vinculados por una dinámica común de violencia. La ausencia de una delimitación clara entre estos escenarios puede conducir a conclusiones apresuradas y a una valoración inadecuada de la evidencia disponible.

El problema central del presente estudio radica, por tanto, en la necesidad de reconstruir técnicamente los hechos ocurridos durante el enfrentamiento armado y analizar su relación contextual con la muerte previa del interno, diferenciando ambos eventos a partir de criterios

forenses verificables. Esta diferenciación resulta indispensable para evitar inferencias causales no sustentadas y para garantizar que las conclusiones se basen exclusivamente en la correlación objetiva entre la evidencia física, biológica y digital.

La importancia del estudio se fundamenta en la aplicación de un enfoque interdisciplinario que integra la balística forense, la medicina legal y el análisis forense de audio y video digital, permitiendo abordar el caso desde múltiples dimensiones complementarias. A través de este enfoque, es posible evaluar la coherencia entre la escena, los indicios balísticos, los hallazgos médico-legales y el material audiovisual disponible, fortaleciendo la reconstrucción de los hechos y la contrastación de hipótesis alternativas.

En este sentido, el presente trabajo adquiere relevancia tanto en el ámbito académico como profesional, al evidenciar la necesidad de que la criminalística moderna utilice metodologías integradas y técnicamente sustentadas para el análisis de eventos complejos, especialmente aquellos ocurridos en contextos de alta sensibilidad institucional. La correcta delimitación del problema y la evaluación objetiva de la evidencia contribuyen no solo al esclarecimiento del caso analizado, sino también al fortalecimiento de prácticas forenses orientadas a la obtención de conclusiones precisas, reproducibles y útiles dentro del proceso penal.

“Los nombres y datos utilizados en este caso son ficticios y se emplean exclusivamente con fines académicos.”

1.1. Definición del proyecto.

El presente proyecto se define como un estudio criminalístico interdisciplinario aplicado al análisis integral de un caso ficticio ocurrido en el Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina”. La investigación aborda tres ejes principales: la muerte de un interno hallado en suspensión parcial compatible con ahorcadura incompleta, un enfrentamiento armado registrado



en el perímetro externo del establecimiento y el análisis de material audiovisual cuya autenticidad resulta relevante para la interpretación del caso.

El proyecto responde a la necesidad de integrar evidencia corporal, balística y digital mediante metodologías científicas verificables. Desde la perspectiva médico-legal, se evalúa la coherencia entre la escena, la posición del cadáver, la morfología del surco constrictor y los fenómenos cadavéricos, aplicando los criterios estudiados en el PBL de Medicina Legal para la diferenciación de muertes autoinfligidas y eventos simulados.

En el ámbito balístico, se incorporan los fundamentos del PBL de Balística Forense para analizar trayectorias, patrones de impacto y variaciones en la energía cinética de los proyectiles, elementos que permiten reconstruir la dinámica del enfrentamiento e identificar la posible participación de múltiples tiradores.

Finalmente, el proyecto incluye el análisis forense del material de audio y video difundido, aplicando técnicas del PBL de Audio y Video Forense como la verificación de hash, extracción de metadatos, segmentación de fotogramas y pruebas de integridad digital, con el fin de evaluar la autenticidad del archivo y descartar manipulaciones. En conjunto, el proyecto se concibe como una investigación aplicada orientada a reconstruir los hechos mediante un enfoque interdisciplinario sustentado en criterios científicos replicables.

1.2. Naturaleza o tipo de proyecto.

El presente trabajo corresponde a un proyecto forense aplicado de carácter analítico y reconstructivo, cuyo propósito es integrar diversas disciplinas científicas para esclarecer un caso complejo que involucra la muerte de un interno, un enfrentamiento armado en el perímetro del centro penitenciario y la evaluación técnica de material audiovisual. Su naturaleza

interdisciplinaria responde a la necesidad de correlacionar evidencia biológica, físico-balística y digital, permitiendo una reconstrucción objetiva y metodológicamente verificable de los hechos.

Desde la perspectiva metodológica, el proyecto adopta un enfoque multifuente, fundamentado en tres ejes de análisis: medicina legal, balística forense y análisis técnico de audio y video digital, con apoyo de herramientas estadísticas para la ponderación de hipótesis. Este enfoque permite examinar fenómenos que, aunque ocurren en escenarios distintos, mantienen entre sí una relación causal que debe ser establecida mediante procedimientos científicos.

En el ámbito de la medicina legal, el proyecto se apoya en los protocolos de inspección de escena y levantamiento revisados en el PBL respectivo, que establecen la importancia de documentar la morfología del surco constrictor, las características posturales del cadáver y los fenómenos cadavéricos tempranos para determinar causa, mecanismo y etiología de muerte. En cuanto a la balística forense, se incorporan técnicas de identificación de calibres, análisis de trayectorias y estimación de dirección y distancia de disparo, las cuales permiten inferir la intervención de múltiples tiradores y reconstruir la dinámica del enfrentamiento. El componente de audio y video forense complementa el análisis mediante técnicas de autenticación digital (hash, metadatos, segmentación y pruebas de integridad), utilizadas para confirmar la fiabilidad del material.

En conjunto, la naturaleza del proyecto es científica, integradora y aplicada, orientada a producir conclusiones replicables mediante el empleo coordinado de técnicas forenses especializadas. Este enfoque responde a las exigencias metodológicas de la criminalística contemporánea, que demanda la integración sistemática de evidencia de distinta naturaleza para la reconstrucción precisa de eventos complejos.

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo general.

Analizar de manera integral un caso forense ficticio mediante la aplicación combinada de técnicas balísticas, médico-legales y de análisis digital de audio y video, con el fin de interpretar la dinámica de los hechos, evaluar la autenticidad e integridad de la evidencia y sustentar conclusiones periciales con proyección académica y profesional en el ámbito de la criminalística.

1.3.2. Objetivo específico.

Identificar y analizar de manera integral los elementos balísticos del caso con el fin de determinar la participación de armas de fuego, las trayectorias de los proyectiles, las distancias de disparo y las características lesionales asociadas a la dinámica del enfrentamiento. Asimismo, evaluar la autenticidad, integridad y posibles manipulaciones del material audiovisual mediante metodologías especializadas de análisis forense de audio y video, incluyendo la verificación de hash, la extracción de metadatos, la segmentación en fotogramas y la aplicación de técnicas de detección de alteraciones digitales.

De igual forma, describir e interpretar los hallazgos médico-legales aplicando criterios objetivos para la clasificación de lesiones, el análisis del surco constrictor, la valoración de los fenómenos cadavéricos y la determinación del mecanismo y la etiología de la muerte, conforme a los protocolos estudiados. Finalmente, integrar los resultados obtenidos en las distintas áreas periciales para elaborar una reconstrucción coherente de los hechos y formular hipótesis sustentadas en evidencia técnica, evaluando su consistencia interna y su probabilidad relativa.

1.4. Justificación e importancia del trabajo de investigación.

El estudio forense contemporáneo exige la integración de diversas disciplinas para reconstruir con precisión los hechos asociados a un caso investigado. La importancia de este trabajo radica en que aborda el análisis criminalístico desde una perspectiva integral, combinando

técnicas de balística forense, medicina legal y análisis digital de audio y video, lo que permite obtener conclusiones más sólidas, verificables y técnicamente fundamentadas.

La justificación principal del proyecto se sustenta en la necesidad de aplicar metodologías científicas que permitan interpretar la evidencia física y digital con rigor técnico. En el ámbito balístico, el análisis proporciona información determinante sobre las armas utilizadas, las trayectorias, las distancias de disparo y los patrones lesionales, elementos esenciales para reconstruir la dinámica del hecho y comprender la participación de los individuos involucrados. De igual forma, la medicina legal aporta criterios objetivos para la clasificación de lesiones, el estudio de los fenómenos cadavéricos y la determinación de causas y mecanismos de muerte, fortaleciendo la coherencia y la objetividad de las conclusiones periciales.

El análisis forense de audio y video añade un componente crucial en un contexto donde la manipulación digital de la información es cada vez más frecuente. Procedimientos como la extracción de metadatos, la verificación de hash, la segmentación en fotogramas y la aplicación de técnicas orientadas a detectar alteraciones o deepfakes permiten validar la autenticidad de los materiales audiovisuales y garantizar que la evidencia conserve su integridad y valor probatorio, conforme a estándares internacionales.

En conjunto, este proyecto resulta relevante porque refleja la manera en que un perito debe abordar un caso real: articulando múltiples técnicas dentro de un mismo proceso investigativo y documentando cada fase bajo criterios de preservación, trazabilidad y reproducibilidad. Asimismo, contribuye al fortalecimiento de competencias profesionales, fomenta el pensamiento crítico y asegura que las conclusiones finales se sustenten en métodos científicos sólidos y alineados con los lineamientos actuales de la criminalística.

De esta forma, el trabajo no solo cumple una función académica, sino que evidencia la importancia de integrar distintas áreas forenses para el análisis eficiente, preciso y ético de la evidencia en contextos que demandan claridad técnica y responsabilidad profesional.

1.5. Perfil de la organización.

1.5.1. Nombre, actividades, mercados servidos y principales cifras.

1.5.2. Nombre de la empresa

Centro Integral de Análisis Criminalístico y Forense (CIACF)

(Organización ficticia utilizada únicamente con fines académicos.)

1.5.3. Misión, visión, valores.

Misión:

Desarrollar análisis forenses especializados en balística, medicina legal, evidencia digital y reconstrucción de hechos, aplicando metodologías científicas que garanticen rigor técnico, objetividad y confiabilidad en los resultados, contribuyendo al fortalecimiento académico y profesional de la criminalística.

Visión:

Consolidarse como un referente nacional en investigación forense aplicada, reconocido por la precisión de sus informes, la innovación técnica y el compromiso ético en el tratamiento de evidencia física y digital.

Valores:

La organización se sustenta en los principios de rigor científico, ética profesional, integridad en el manejo de evidencia, confidencialidad, objetividad, innovación técnica y responsabilidad pericial, pilares que guían cada fase del proceso analítico y formativo.

1.5.4. Actividades, marcas, productos y servicios.

El CIACF desarrolla actividades especializadas orientadas al análisis pericial, entre las cuales destacan:

- ✓ Análisis balístico de armas, casquillos, proyectiles y trayectorias.
- ✓ Interpretación médico-legal de lesiones y patrones forenses.
- ✓ Análisis estadístico aplicado a variables criminalísticas.
- ✓ Autenticación de audio y video digital (hash, metadatos, ELA, ruido, clonación).
- ✓ Reconstrucción técnica de escenas del crimen.
- ✓ Elaboración de informes periciales integrales.
- ✓ Capacitación académica en criminalística y ciencias forenses.

Estos servicios se orientan a fortalecer investigaciones judiciales, académicas y formativas.

1.5.5. Ubicación de la sede.

Quito, Ecuador.

(Ubicación genérica utilizada para fines académicos.)

1.5.6. Ubicación de las operaciones.

Las operaciones del CIACF se desarrollan en laboratorios especializados de:

- ✓ Balística forense
- ✓ Medicina legal aplicada
- ✓ Audio y video forense

- ✓ Informática forense y análisis digital

1.5.7. Propiedad y forma jurídica.

Entidad académica ficticia, sin fines de lucro, utilizada únicamente con propósitos educativos dentro de la Maestría en Criminalística.

1.5.8. Mercados servidos o ubicación de sus actividades de negocio.

El CIACF orienta sus servicios y actividades a:

- ✓ Instituciones académicas,
- ✓ Estudiantes de criminalística, derecho y ciencias forenses,
- ✓ Organismos judiciales y administrativos,
- ✓ Laboratorios forenses,
- ✓ Peritos y especialistas en investigación científica del delito,
- ✓ Investigadores independientes y grupos de análisis técnico

1.5.9. Tamaño de la organización.

El centro opera como una unidad técnico-académica de tamaño pequeño-mediano, compuesta por cuatro laboratorios especializados y un equipo interdisciplinario de entre 10 y 15 peritos por área, según necesidades formativas y de simulación.

1.5.10. Información sobre empleados y otros trabajadores.

El equipo humano está conformado por:

- ✓ Peritos balísticos
- ✓ Peritos en audio y video

- ✓ Médicos legistas
- ✓ Especialistas en estadística forense
- ✓ Analistas digitales
- ✓ Equipo administrativo y académico

Este grupo multidisciplinario garantiza el abordaje integral de casos reales o simulados con criterios científicos.

1.5.11. Procesos claves relacionados con el objetivo propuesto.

Los procesos operativos del CIACF se estructuran en torno a:

- ✓ Recepción y cadena de custodia de evidencia.
- ✓ Análisis balístico integral.
- ✓ Procesamiento y autenticación de audio y video.
- ✓ Evaluación médico-legal y registro estadístico.
- ✓ Integración multidisciplinaria de hallazgos.
- ✓ Elaboración de informes periciales.

Estos procesos simulan los protocolos empleados en laboratorios forenses reales, fortaleciendo la trazabilidad y reproducibilidad del trabajo técnico.

1.5.12. Principales cifras, ratios y números que definen a la empresa.

Al tratarse de una organización ficticia, se emplean indicadores cualitativos que reflejan su capacidad operativa:

- ✓ 4 laboratorios especializados

- ✓ 10–15 peritos por área (estimado académico).
- ✓ Procesos basados en normativa forense estandarizada.
- ✓ Capacidad operativa para análisis multidisciplinarios simultáneos.

1.5.13. Modelo de negocio.

El modelo de operación se basa en un enfoque académico–formativo, sustentado en:

- ✓ Prácticas forenses simuladas
- ✓ Desarrollo de casos técnicos
- ✓ Investigación aplicada
- ✓ Entrenamiento profesional

1.5.14. Grupos de interés internos y externos.

Internos:

- ✓ Peritos
- ✓ Estudiantes
- ✓ Equipo académico
- ✓ Investigadores

Externos:

- ✓ Sistema judicial
- ✓ Instituciones educativas
- ✓ Laboratorios forenses



- ✓ Comunidad científica

1.5.15. Otros datos de interés.

El CIACF facilita la integración de diversas áreas de la criminalística dentro de proyectos académicos complejos, fortaleciendo competencias analíticas, prácticas y de razonamiento crítico. Su diseño permite simular contextos periciales reales, favoreciendo la aplicación rigurosa de procedimientos técnicos, la documentación de hallazgos y la elaboración de informes periciales completos.

Capítulo 2. Análisis Balístico Forense

2.1. Introducción al análisis balístico.

El análisis balístico del caso ocurrido en el perímetro del Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina” depende directamente de la inspección ocular inicial. Si bien el caso general incluye también la muerte del interno Juan López M., hallado en suspensión parcial en su celda en condiciones compatibles con una ahorcadura incompleta, dicho evento es abordado de manera específica en el capítulo de Medicina Legal, permitiendo una separación metodológica acorde con la naturaleza de cada escena.

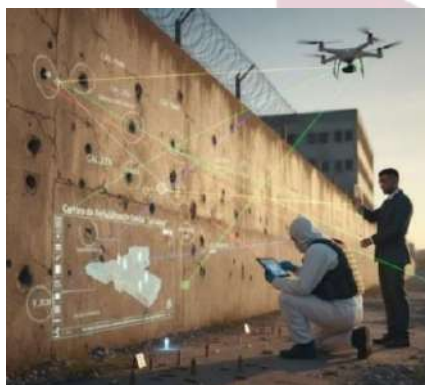
Esta diferenciación facilita un abordaje técnico más preciso y garantiza claridad en la reconstrucción integral del caso. En balística forense, la inspección ocular y el registro inicial de indicios constituyen una fase crítica, ya que de ellos depende la correcta interpretación de trayectorias, posiciones relativas de los tiradores y secuencia de disparos. La documentación sistemática mediante registro fotográfico por planos, fijación métrica y descripción del entorno permite que el análisis posterior sea reproducible y técnicamente sustentable. Asimismo, la identificación y levantamiento de indicios balísticos debe realizarse bajo criterios estandarizados para asegurar consistencia metodológica y trazabilidad durante todo el proceso pericial (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2023; Colmenero Gil del Ávila, 2015; Di Maio, 1999).

La escena fue delimitada en tres zonas de interés forense: el puesto elevado de vigilancia, el área inmediata al vehículo involucrado y un sector lateral que presentaba impactos con orientación incompatible con las posiciones inicialmente declaradas por el personal operativo. Esta segmentación permitió identificar posibles puntos de origen de los disparos, rutas de desplazamiento dentro de la escena y áreas de proyección de casquillos. La inspección incluyó registro fotográfico en planos general, medio y de detalle, medición preliminar de ángulos de impacto y georreferenciación de casquillos para el análisis espacial. Asimismo, se emplearon

escalas métricas para documentar perforaciones, fracturas radiales y patrones de dispersión asociados a proyectiles de alta energía.

“La inclusión de ambos fallecimientos en un mismo trabajo responde a un análisis académico de un caso institucional complejo, sin asumir relación causal directa entre los eventos, los cuales se abordan de forma independiente y especializada en los capítulos correspondientes.”.

Figura 1 *Análisis Balístico en "CRS "La Colina"": Reconstrucción de Trayectorias Múltiples*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

2.2. Cadena de custodia y preservación de evidencia balística.

La evidencia balística recolectada fue procesada bajo un estricto protocolo de cadena de custodia, con el fin de garantizar la integridad de los indicios y la trazabilidad de su manejo durante todo el proceso pericial. Cada elemento fue embalado de forma individual, rotulado con datos de identificación esenciales y conservado en condiciones que evitaran alteraciones físicas relevantes para el análisis posterior. El Protocolo Unificado de Identificación Balística dispone que la manipulación de casquillos, proyectiles y fragmentos debe limitarse al mínimo indispensable, documentando cada transferencia y asegurando un almacenamiento que preserve marcas y deformaciones con valor identificativo (Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2023).

De forma complementaria, los procedimientos del Laboratorio de Criminalística de la Policía Nacional advierten que una preservación inadecuada puede afectar la lectura técnico comparativa de la evidencia y comprometer la validez de las conclusiones balísticas (Laboratorio de Criminalística, Policía Nacional, 2013).

La aplicación conjunta de estos lineamientos permitió conservar el valor analítico y probatorio de la evidencia balística, asegurando condiciones óptimas para su posterior análisis comparativo y reconstructivo.

2.3. Caracterización de armas de fuego potencialmente involucradas.

El hallazgo de munición calibre 9 mm y .38 Special permite inferir la presencia de al menos dos armas operadas en la escena. El calibre 9 mm es característico de pistolas semiautomáticas de uso institucional, mientras que el .38 Special corresponde generalmente a revólveres de uso civil. Según Di Maio (1999) y Colmenero Gil del Ávila (2015), cada tipo de arma imprime patrones específicos de expulsión, energía y deformación, por lo que la coexistencia de ambos calibres puede asociarse a dinámicas distintas dentro de un mismo enfrentamiento.

Las pistolas semiautomáticas expulsan automáticamente los casquillos, generando patrones semicirculares en el suelo, mientras que los revólveres retienen las vainas en el tambor. Esta diferencia es clave para distinguir la mecánica de uso de cada arma e interpretar la posición, el desplazamiento y la dirección del tirador (Di Maio, 1999; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

2.4. Análisis técnico de las armas vinculadas al caso.

La identificación balística depende del estudio de marcas de clase y de identidad, elementos que permiten vincular proyectiles y casquillos con armas específicas (Di Maio, 1999; Colmenero Gil del Ávila, 2015; Cortijo Martínez, 2017). En el contexto de este caso ficticio, las armas de interés se clasifican en tres grupos:

La doctrina balística forense establece que, cuando los daños estructurales, la profundidad de penetración o los ángulos de impacto no guardan coherencia con las armas identificadas, debe considerarse la posible intervención de un arma adicional no recuperada, atendiendo a la correlación obligatoria entre arma, proyectil, trayectoria y daño (Di Maio, 1999).

En el presente caso, la existencia de impactos con mayor capacidad de penetración y trayectorias oblicuas no explicables por las posiciones conocidas de los tiradores refuerza la hipótesis técnica de una posible participación adicional, planteada como inferencia razonada y no como conclusión definitiva, conforme a los principios de la balística reconstructiva (Colmenero Gil del Ávila, 2015). Esta hipótesis debe evaluarse de manera integral junto con el análisis de trayectorias, distancias de disparo y correlación lesional.

Figura 4 *Hipótesis de Tirador Desconocido: Evidencia de Alto Calibre*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

2.4.4. Balística interna: relevancia para la investigación.

La balística interna analiza los fenómenos físicos y químicos que ocurren dentro del arma desde la percusión del fulminante hasta la salida del proyectil por el cañón. Aunque estos procesos no son observables directamente en la escena, sus efectos se reflejan en casquillos, proyectiles y residuos de disparo, aportando información relevante para la interpretación pericial. La

combustión de la pólvora genera un rápido aumento de presión que impulsa el proyectil a través del ánima y produce marcas características en el casquillo, como las dejadas por el percutor, extractor y eyector en armas semiautomáticas, las cuales permiten posteriores comparaciones técnicas orientadas a la identificación del arma (Di Maio, 1999).

En el caso del CRS “La Colina”, la comprensión de la balística interna resulta fundamental para interpretar la dispersión de casquillos calibre 9 mm en el área del puesto elevado y explicar la ausencia de vainas asociadas a munición calibre .38 Special, comportamiento coherente con el funcionamiento mecánico de los revólveres. Asimismo, la presión generada durante el disparo influye en la velocidad inicial del proyectil y condiciona la energía residual observada en los impactos documentados en el vehículo y en estructuras rígidas. Si bien el presente análisis no incluye pruebas instrumentales de laboratorio, la aplicación de los principios de la balística interna permite establecer una base técnica sólida para la correlación posterior entre arma, proyectil y trayectorias, manteniendo un enfoque prudente y acorde con los estándares de la criminalística forense (Di Maio, 1999).

2.5. Balística externa: trayectoria y comportamiento del proyectil.

La balística externa analiza el comportamiento del proyectil desde su salida del cañón hasta el impacto, considerando variables como el ángulo de disparo, la gravedad, la resistencia del aire y la pérdida progresiva de energía, elementos esenciales para la reconstrucción de trayectorias y la inferencia de posiciones relativas de los tiradores (Di Maio, 1999). En el perímetro del Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina”, el análisis de los impactos documentados en el vehículo y en las estructuras circundantes permitió identificar trayectorias con orientaciones diferenciadas. Se observaron trayectorias descendentes asociadas a disparos desde el puesto elevado de vigilancia y trayectorias ascendentes compatibles con disparos efectuados desde la posición del vehículo, así como impactos con trayectorias oblicuas laterales que no se ajustan plenamente a estas dos líneas

principales de fuego. Conforme a los principios de la criminalística reconstructiva, la coexistencia de trayectorias con ángulos incompatibles constituye un indicador técnico de una dinámica de enfrentamiento compleja, con desplazamientos y posibles posiciones múltiples de disparo (Colmenero Gil del Ávila, 2015).

Si bien la balística externa no permite identificar de forma concluyente al tirador ni el arma utilizada, proporciona una base objetiva para correlacionar impactos, posiciones y secuencias del evento. En este sentido, las trayectorias reconstruidas en el presente caso aportan elementos fundamentales para la formulación de hipótesis razonadas sobre la dinámica del enfrentamiento, las cuales deben evaluarse de manera integrada junto con la balística interna, terminal y la correlación lesional (Di Maio, 1999)

Figura 5 *Análisis de Trayectorias Balísticas en CRS “La Colina”*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

2.6. Evidencia balística recolectada

La evidencia balística recuperada durante la inspección ocular permitió establecer la intervención de más de un arma de fuego en el enfrentamiento ocurrido en el perímetro del Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina”. El levantamiento y registro de los indicios se realizó

conforme a criterios criminalísticos estandarizados, garantizando su adecuada preservación y trazabilidad para el análisis posterior (Palomo Rando & Ramos Medina, 2004; Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, 2023). La identificación de distintos calibres, así como la distribución espacial de casquillos, proyectiles e impactos, aportó información objetiva para la reconstrucción de trayectorias y la inferencia de posiciones relativas de los tiradores, de acuerdo con los principios de la balística forense aplicada (Di Maio, 1999).

La sistematización de la evidencia recolectada se presenta en la tabla siguiente:

Tabla 1 *Evidencia balística recolectada*

Tipo de evidencia	Calibre	Cantidad	Ubicación	Observaciones técnicas
Casquillos	9 mm	14	Base del puesto de vigilancia	Dispersión semicircular compatible con arma semiautomática
Casquillos	.38 Special	9	Lado izquierdo del vehículo	Distribución irregular que sugiere disparos en movimiento
Proyectiles deformados	9 mm	3	Fachada norte del CRS “La Colina”	Aplastamiento típico por impacto directo sobre superficie rígida
Impactos en vehículo	Indeterminado	6	Parabrisas y puerta del conductor	Fracturas radiales y perforaciones irregulares
Impactos en fachada	Probable 9 mm / .38	11	Muro frontal del perímetro del CRS “La Colina”	Variación en altura sugiere más de una posición de disparo

Nota. *La evidencia fue registrada siguiendo los principios de preservación y documentación recomendados para análisis balístico*

2.7. Análisis comparativo de casquillos y estrías.

El análisis comparativo consiste en observar las marcas de percusión, extractor y expulsor en casquillos de 9 mm para determinar si provienen de un arma institucional. Aunque la comparación microscópica se realizará en laboratorio, en la inspección preliminar ya se observó consistencia entre las marcas de percusión y las características de las armas de dotación. Los proyectiles deformados recuperados no presentaron estrías completas debido al impacto, pero sí conservaron fragmentos helicoidales útiles para su eventual comparación con armas incautadas.

Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en la literatura balística forense, donde se señala que la deformación del proyectil al impactar superficies rígidas puede impedir la recuperación completa de las estrías, sin que ello invalide el análisis comparativo preliminar ni la interpretación general de la dinámica del disparo (Di Maio, 1999).

2.8. Análisis geométrico y trayectorias balísticas.

La reconstrucción geométrica de la escena se efectuó mediante el trazado de las líneas de impacto hacia su posible punto de origen, permitiendo identificar diferencias relevantes entre las trayectorias principales y aquellas consideradas anómalas. Este procedimiento resulta fundamental para inferir posiciones relativas de los tiradores y comprender la dinámica espacial del enfrentamiento (Di Maio, 1999).

Del análisis se identificaron dos líneas principales de fuego:

- ✓ Trayectorias descendentes: compatibles con disparos efectuados desde una posición elevada hacia el vehículo.
- ✓ Trayectorias ascendentes: coherentes con disparos realizados desde la posición del vehículo hacia el puesto de vigilancia.

Ambas trayectorias presentan una relación geométrica consistente con las posiciones conocidas de los actores identificados en la escena.

Adicionalmente, se documentaron trayectorias laterales con ángulos de inclinación que no resultan congruentes con las posiciones previamente descritas. Estas trayectorias anómalas presentan las siguientes características:

- ✓ Orientación incompatible con las líneas principales de fuego.
- ✓ Ángulos oblicuos no explicables por las posiciones conocidas.
- ✓ Posible origen situado fuera del campo visual principal.

De acuerdo con los principios de la criminalística reconstructiva, la coexistencia de trayectorias con orientaciones y alturas incompatibles constituye un indicador técnico de una dinámica de enfrentamiento compleja, con posibles desplazamientos o participación adicional no plenamente documentada (Colmenero Gil del Ávila, 2015). Estos hallazgos aportan elementos objetivos para la formulación de hipótesis razonadas, que deberán ser evaluadas de manera integrada con el resto del análisis balístico y médico-legal.

2.9. Determinación de posiciones probables de tiradores.

A partir del análisis geométrico de trayectorias y de la distribución espacial de los impactos, se establecieron las siguientes posiciones probables de los tiradores:

- ✓ Tirador institucional: ubicado en un punto elevado, con un ángulo de visión dominante y trayectorias descendentes dirigidas hacia el vehículo.
- ✓ Tirador desde el vehículo: realizó disparos en movimiento, con inestabilidad angular y menor precisión, evidenciada por trayectorias ascendentes e irregulares.

- ✓ Posible tercer tirador: habría actuado desde un sector lateral, generando disparos de trayectoria oblicua no congruentes con las posiciones previamente identificadas.

De acuerdo con los principios de la balística forense y la criminalística reconstructiva, la coexistencia de trayectorias con orientaciones, alturas y direcciones divergentes constituye un indicador técnico de la participación de múltiples actores armados en un mismo evento, hipótesis que deberá ser evaluada de manera integrada con el resto de la evidencia disponible (Di Maio, 1999; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

2.10. Estimación de distancias de disparo.

La estimación de la distancia de disparo se realizó mediante la correlación entre los signos de proximidad observados en los impactos y los criterios clásicos de clasificación balística. La presencia o ausencia de ahumamiento y tatuaje por granos de pólvora permitió inferir rangos aproximados de distancia, conforme a la doctrina balística forense (Di Maio, 1999).

En el análisis del caso CRS “La Colina” se establecieron las siguientes estimaciones:

- ✓ Disparo a contacto o muy corta distancia (0–30 cm): Presencia evidente de ahumamiento concentrado en el punto de impacto.
- ✓ Disparo a corta distancia (30–100 cm): Aparición de tatuaje por pólvora no quemada, con posible ahumamiento residual.
- ✓ Disparo a distancia intermedia o lejana (>1 m): Ausencia de ahumamiento y tatuaje, con orificios de bordes definidos.

La identificación de estos rangos permitió concluir que en la escena coexistieron disparos efectuados a distintas distancias, lo que resulta coherente con un enfrentamiento dinámico y con las trayectorias previamente reconstruidas (Di Maio, 1999; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

2.11. Energía cinética y deformación de proyectiles.

La estimación de la energía cinética de los proyectiles se realizó de forma indirecta, a partir del grado de deformación observado en los proyectiles recuperados y de los daños estructurales documentados en superficies rígidas y en el vehículo. En balística forense, una mayor deformación y capacidad de penetración se asocian a proyectiles que conservan energía significativa al momento del impacto (Di Maio, 1999).

En el caso CRS “La Colina” la deformación parcial de los proyectiles y la ausencia de perforaciones múltiples en determinadas superficies sugieren una pérdida progresiva de energía, coherente con disparos efectuados a distancias variables previamente estimadas. Este análisis refuerza la coherencia entre distancia de disparo, trayectoria y efectos observados, sin modificar las conclusiones generales del estudio (Di Maio, 1999).

2.12. Efectos del impacto según el tipo de superficie (muro vs. metal)

Los efectos balísticos observados en las superficies impactadas permitieron inferir diferencias en la energía cinética residual de los proyectiles. En los muros rígidos del perímetro se identificaron orificios circulares bien definidos, compatibles con impactos de proyectiles que conservaron alta velocidad al momento del contacto.

En contraste, las superficies metálicas del vehículo presentaron deformaciones irregulares y pliegues estructurales, indicativos de una pérdida progresiva de energía tras la interacción con materiales intermedios. La comparación entre ambos tipos de impacto es coherente con el comportamiento balístico esperado y respalda la intervención de más de una fuente de disparo, conforme a los principios descritos en la literatura balística forense (Di Maio, 1999).

2.13. Correlación balístico–lesional.

La correlación entre las lesiones del conductor y las trayectorias balísticas evidenció que las heridas fueron producidas por proyectiles con trayectoria descendente, compatibles con disparos efectuados desde una posición elevada. Estas características se corresponden con munición calibre 9 mm y con la ubicación del tirador institucional previamente determinada.

No se identificaron lesiones atribuibles al calibre .38 Special, lo que sugiere que los disparos realizados desde el vehículo no generaron impacto corporal efectivo. La presencia de una trayectoria oblicua no congruente con las líneas principales se mantiene como un elemento relevante para la reconstrucción del evento, sin alterar la determinación de la causa inmediata de la muerte.

2.14. Correlación arma–trayectoria–lesión.

La integración de armas identificadas, trayectorias reconstruidas y lesiones documentadas permite establecer que:

1. Existieron al menos dos tiradores confirmados en la escena.
2. La evidencia balística sugiere, con razonable probabilidad, la posible intervención de un tercer tirador con arma no recuperada.
3. Las trayectorias identificadas no se ajustan completamente a la versión operativa inicial.
4. La escena presenta características propias de un enfrentamiento dinámico, con desplazamientos y múltiples ángulos de tiro.
5. El conductor fue impactado por arma institucional calibre 9 mm.

Estos hallazgos constituyen la base técnica para la formulación y evaluación de hipótesis que serán desarrolladas en el Capítulo 5.

2.15. Síntesis técnica de distancias y patrones de disparo.

La síntesis de los hallazgos balísticos permite integrar, de manera ordenada, las distancias de disparo, las trayectorias y los calibres probables identificados en la escena. Esta integración consolida la interpretación técnica del enfrentamiento y sirve de base para la presentación cuantitativa de resultados en la tabla siguiente.

A partir del análisis de signos balísticos clásicos presencia o ausencia de ahumamiento, ausencia de tatuaje por pólvora no quemada, morfología de los orificios y patrones de deformación se establecieron tres rangos de distancia claramente diferenciados, coherentes con lo descrito en la literatura y en los manuales técnicos empleados (Di Maio, 1999; Laboratorio de Criminalística, Policía Nacional, 2013):

Corta distancia (= 30–100 cm): evidenciada por impactos en la carrocería con signos de proximidad y trayectorias ascendentes, compatibles con disparos efectuados desde una posición baja próxima al vehículo.

Distancia intermedia (= 1–3 m): asociada a las lesiones del conductor, caracterizadas por orificios limpios, ausencia de ahumamiento y bordes regulares, compatibles con trayectorias descendentes desde el puesto elevado.

Larga distancia (> 5 m): inferida a partir de impactos en el parabrisas y el muro frontal, con fracturas radiales amplias y ausencia de residuos, propios de disparos efectuados desde posiciones estables y dominantes.

La coexistencia de estos rangos confirma un patrón dinámico de disparo, con variación en las posiciones de los actores y en las fases del enfrentamiento. Esta síntesis permite correlacionar, de forma directa, distancia–trayectoria–calibre probable, facilitando la lectura técnica de la evidencia y su contraste con las hipótesis operativas.

Tabla 2 *Distancias de disparo, trayectorias y calibres asociados al evento*

Elemento analizado	Evidencia observada	Distancia inferida	Tipo de trayectoria	Calibre probable	Interpretación técnica
Lesiones del conductor	Orificios limpios, sin tatuaje ni ahumamiento, bordes regulares	Distancia intermedia (= 1–3 m)	Descendente	9 mm	Disparos efectuados desde el puesto elevado, compatibles con arma institucional.
Impactos en parabrisas	Fracturas radiales amplias, centro de perforación definido	Larga distancia (> 5 m)	Descendente	9 mm	Impactos de alta energía con pérdida progresiva de velocidad, compatibles con disparos elevados.
Impactos en puerta del vehículo	Deformación metálica irregular, pliegues hacia el interior	Corta distancia (= 30–100 cm)	Ascendente	.38 Special	Disparos realizados desde posición baja próxima al vehículo.
Perforaciones en muro frontal	Orificios a distintas alturas, penetración profunda	Distancia variable (> 5 m)	Descendente y oblicua	9 mm / .38 Special	Evidencia de múltiples posiciones de disparo durante el enfrentamiento.
Impactos oblicuos laterales	Orientación no congruente con tiradores identificados	No determinable con exactitud	Oblicua lateral	No determinado	Compatible con posible intervención de un tercer actor armado.

Nota. *La tabla resume en síntesis de distancias, trayectorias y calibres probables según análisis balístico).*

2.16. Análisis secuencial del enfrentamiento.

El análisis secuencial del enfrentamiento se construye a partir de la integración de las trayectorias balísticas, las distancias de disparo inferidas, la distribución espacial de los indicios y los efectos observados en estructuras y superficies. Este enfoque permite proponer una secuencia lógica del evento compatible con la evidencia disponible, sin pretender una reconstrucción absoluta, sino una interpretación técnica sustentada en criterios balísticos verificables (Di Maio, 1999; Laboratorio de Criminalística, Policía Nacional, 2013).

En una fase inicial, se identifican disparos efectuados a corta distancia (= 30–100 cm), asociados a trayectorias ascendentes y a impactos con signos de proximidad en la carrocería del vehículo. Estos elementos son compatibles con un escenario de confrontación cercana desde una posición baja, en el que el tirador actuó en condiciones de movilidad y con menor estabilidad angular. La presencia de deformaciones metálicas irregulares y pliegues hacia el interior refuerza la interpretación de disparos realizados desde el entorno inmediato del vehículo.

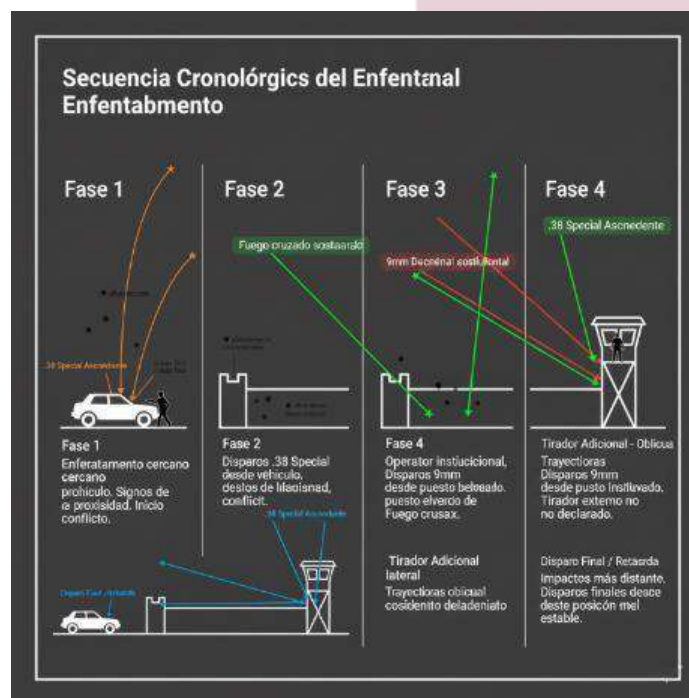
Posteriormente, se evidencia una fase intermedia caracterizada por un intercambio de disparos a distancia intermedia (= 1–3 m), con trayectorias descendentes desde el puesto elevado. En esta etapa se sitúan las lesiones del conductor, las cuales presentan orificios limpios, bordes regulares y ausencia de signos de ahumamiento o tatuaje, hallazgos compatibles con disparos efectuados desde una posición dominante y con mayor control del arma. Esta fase representa el momento de mayor letalidad del enfrentamiento.

Finalmente, se identifican elementos propios de una fase final del evento, en la que se registran impactos a mayor distancia (> 5 m) sobre el parabrisas y el muro frontal, con fracturas radiales amplias y pérdida progresiva de energía del proyectil. De manera adicional, la presencia de trayectorias oblicuas laterales no compatibles con las posiciones de los dos tiradores

inicialmente identificados sugiere la posible intervención de un tercer actor armado desde una ubicación estratégica externa, circunstancia que complejiza la dinámica del hecho.

En conjunto, la secuencia propuesta evidencia que el enfrentamiento no fue un evento puntual ni estático, sino un proceso dinámico desarrollado en múltiples fases, con variación en las distancias de disparo, en las posiciones relativas de los actores y en los ángulos de tiro. Este análisis secuencial permite comprender la progresión del evento y constituye un soporte técnico fundamental para la formulación de hipótesis periciales y su posterior valoración en el capítulo de conclusiones.

Figura 6 *Secuencia Cronológica del Conflicto: Reconstrucción de las Cuatro Fases Balísticas*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

Capítulo 3. Análisis Médico-legal y Estadístico Aplicado al Caso CRS “La Colina”.

3.1. Consideraciones generales del análisis médico-legal.

El análisis médico-legal constituye un componente esencial en la reconstrucción integral del caso CRS “La Colina” ya que permite vincular los hallazgos anatómicos observados en los cuerpos con los mecanismos fisiopatológicos de la muerte y su interpretación dentro del contexto criminalístico. En este sentido, la medicina legal no se limita a la descripción de lesiones, sino que integra la evaluación de la escena, la posición corporal, la morfología lesional y la dinámica del evento para establecer conclusiones técnicamente fundamentadas.

En el presente caso se analizan dos fallecimientos ocurridos en escenarios y mediante mecanismos distintos: el interno Juan López M., hallado en su celda en una posición compatible con ahorcadura incompleta, y el conductor de un vehículo involucrado en un enfrentamiento armado en el perímetro exterior, con lesiones producidas por proyectil de arma de fuego.

Las lesiones por arma de fuego presentan patrones morfológicos específicos según el tipo de arma, munición y distancia de disparo, generando canales lesionales complejos y compromiso de estructuras vitales, con rápida descompensación fisiológica, conforme a la literatura especializada utilizada en el PBL (Admin, 2025; Etxeberría & Nogal, 2016).

Aunque ambos decesos ocurrieron en un mismo contexto institucional y con proximidad temporal, su análisis médico-legal debe realizarse de forma independiente debido a la diferencia de mecanismos, fisiopatología y etiología. No obstante, un abordaje integrado permite evaluar una posible relación causal o indirecta entre los eventos, aspecto que será analizado posteriormente mediante estadística forense.

Conforme a los principios de la medicina legal contemporánea, la interpretación de las lesiones exige una correlación estricta entre cuerpo, escena y contexto, evitando inferencias especulativas y sustentando las conclusiones únicamente en hallazgos verificables (Admin, 2025; Reyes, 2023).

Figura 7 Esquema general de las dos escenas forenses del caso CRS “La Colina”: celda (ahorcadura) y perímetro exterior (homicidio por proyectil)



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

3.2. Metodología pericial aplicada (enfoque médico-legal)

El análisis médico-legal del caso CRS “La Colina” se desarrolló siguiendo una metodología pericial estructurada, orientada a garantizar la objetividad, reproducibilidad y coherencia de las conclusiones. Este enfoque metodológico se basa en los lineamientos utilizados en los Proyectos Basados en el Aprendizaje (PBL) del módulo de Medicina Legal y Análisis Estadístico, integrando la observación sistemática del cuerpo, la escena y los patrones lesionales.

La metodología aplicada se organizó en cuatro fases principales:

3.2.1. Inspección de la escena del hallazgo

La escena se abordó mediante la observación directa del entorno, registrando:

- ❖ **Posición Inicial Del Cadáver:** Orientación corporal, apoyo, tensión o relajación.
- ❖ **Disposición Ambiental:** Estado del mobiliario, objetos, superficie y accesos.
- ❖ **Ausencia O Presencia De Signos De Lucha:** Evaluación de alteraciones del entorno.
- ❖ **Coherencia Entre Cuerpo Y Mecanismo:** Compatibilidad entre posición y causa probable.
- ❖ **Integridad Del Entorno:** Análisis de puertas, ventanas y escenarios de ingreso.

Este procedimiento resulta fundamental para diferenciar muertes autoinfligidas de eventos homicidas o simulados, especialmente en contextos cerrados como establecimientos penitenciarios (Reyes, 2023).

3.2.2. Examen externo del cadáver

El examen externo permitió documentar con precisión:

- ❖ **Signos Vitales:** Petequias, cianosis, congestión, livideces.
- ❖ **Lesiones Traumáticas Evidentes:** Contusiones, marcas, heridas, abrasiones.
- ❖ **Morfología De Lesiones Clave:** Surco de ahorcadura, orificios de proyectil.
- ❖ **Compatibilidad Escena–Lesión:** Correspondencia entre posición corporal y mecanismo.
- ❖ **Indicios De Intervención Externa:** Compatibilidad entre lesiones y la escena observada.

En el caso del conductor, se prestó especial atención a la morfología de las heridas por arma de fuego, considerando los criterios técnicos sobre distancia de disparo y mecanismos de lesión descritos en el PBL (Admin, 2025; Hilda López B., 2015).

3.2.3. Examen interno del cadáver.

La apertura interna se utilizó para confirmar o descartar mecanismos preliminares:

- ❖ **Hemorragias Internas:** Indicadores de lesiones vitales.
- ❖ **Congestión y Edema:** Signos fisiopatológicos de asfixia o shock.
- ❖ **Integridad o Fractura del Hioides:** Elemento clave en muertes por ahorcadura.
- ❖ **Canal Lesional:** Dirección, profundidad y órganos comprometidos por proyectil.

En muertes por proyectil de arma de fuego, este análisis resulta determinante para establecer la causa inmediata de muerte, generalmente asociada a hemorragia masiva o shock hipovolémico (Etxeberria & Nogal, 2016).

3.2.4. Integración médico–legal, balística y estadística

El análisis final no se limita a los hallazgos anatómicos, sino que integra:

- ❖ **Mecánica Corporal:** Posición del cuerpo vs. mecanismo.
- ❖ **Coherencia Escénica:** Compatibilidad de lesiones con el entorno.
- ❖ **Trayectorias Balísticas:** Dirección de disparos y altura del tirador.
- ❖ **Análisis De Patrón Lesional:** Comparación con literatura especializada.
- ❖ **Modelos Estadísticos:** Evaluación de hipótesis (H1–H3).

Esta integración es indispensable para diferenciar:

- ❖ Muertes suicidas
- ❖ Muertes homicidas
- ❖ Muertes accidentales
- ❖ Muertes independientes dentro de un evento complejo

3.3. Escena del interno: análisis médico–legal contextual

El interno Juan López M. fue hallado sin vida en el interior de su celda, en una posición compatible con suspensión parcial, un tipo de ahorcadura incompleta ampliamente documentado en el ámbito forense. Este mecanismo se caracteriza por la existencia de uno o más puntos de apoyo corporal, lo que no impide que se produzca la muerte por compresión vascular cervical y consecuente hipoxia cerebral (Reyes, 2023).

La evaluación de la escena permitió identificar los siguientes elementos relevantes:

Hallazgos principales

- ❖ **Puerta Cerrada Desde El Interior:** Indicador clave de ausencia de terceros.
- ❖ **Sin Señales De Lucha:** Mobiliario ordenado, sin desplazamientos.
- ❖ **Cuerpo En Suspensión Parcial:** Rodillas flexionadas, pies en contacto con el suelo.
- ❖ **Lazo Fijado A Punto Elevado:** Nudo estable y tensión adecuada.
- ❖ **Ausencia De Lesiones De Defensa:** No se observaron abrasiones en manos o antebrazos.
- ❖ **Escena Íntegra:** Sin signos de arrastre, sujeción o alteración forzada.

Desde el punto de vista criminalístico, la coherencia entre la escena y la posición corporal constituye un criterio fundamental para interpretar el evento como autoinfligido. La ausencia de alteraciones ambientales, junto con la disposición ordenada del espacio, refuerza esta interpretación (Reyes, 2023).

Aspectos ambientales

- ❖ **Iluminación Habitual:** Sin sombras que dificulten recreación de dinámica.
- ❖ **Superficies Íntegras:** No se encontraron manchas hemáticas adicionales.
- ❖ **Estabilidad Del Punto De Anclaje:** Coincide con el vector de tensión del lazo.
- ❖ **Distribución Ordinal Del Espacio:** Sin desplazamientos anómalos de objetos.

En conjunto, los elementos escénicos analizados permiten establecer que la escena es compatible con una muerte por ahorcadura incompleta de etiología suicida, hipótesis que será confirmada mediante el examen externo e interno del cadáver en los apartados siguientes.

Figura 8 Integración Forense: Coherencia Escena-Cuerpo en Suspensión Parcial



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

3.4. Examen externo del interno: análisis detallado del mecanismo

El examen externo del cuerpo del interno Juan López M. constituye un elemento central para la confirmación del mecanismo de muerte por ahorcadura incompleta, modalidad en la que la suspensión parcial del cuerpo es suficiente para generar compresión vascular cervical y un proceso progresivo de hipoxia cerebral.

Durante la inspección externa se identificó un surco de ahorcadura incompleto, localizado a nivel cervical, de trayecto oblicuo ascendente, con bordes apergaminados, secos y bien delimitados. Este tipo de surco corresponde a una lesión vital producida por la acción sostenida de un lazo o elemento constrictor durante la vida, y se diferencia claramente de marcas postmortales por su textura, coloración y definición morfológica (Reyes, 2023; Peña, 2024).

Entre los signos externos compatibles con un proceso asfíctico se observaron:

- ❖ Petequias conjuntivales, indicativas de obstrucción del retorno venoso.
- ❖ Congestión facial marcada, asociada a aumento de presión venosa cefálica.
- ❖ Cianosis perioral, consecuencia de hipoxia progresiva.
- ❖ Protrusión lingual parcial, hallazgo frecuente en muertes por compresión cervical.

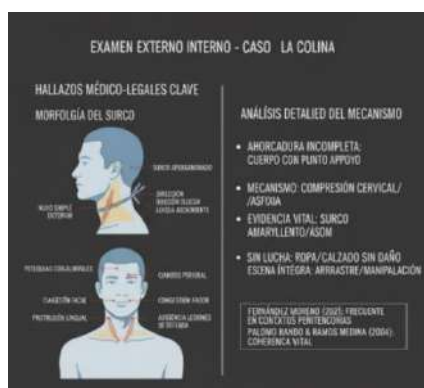
No se evidenciaron lesiones en manos, antebrazos ni superficies corporales que sugirieran maniobras defensivas. Tampoco se identificaron contusiones, abrasiones o equimosis en tronco o extremidades que indiquen forcejeo o intervención de terceros.

La vestimenta y el calzado se encontraban íntegros, sin signos de arrastre o manipulación posterior. La posición final del cuerpo, con apoyo parcial de miembros inferiores, resulta plenamente compatible con los patrones descritos para ahorcaduras incompletas en ambientes

cerrados, donde la muerte se produce sin necesidad de suspensión total (Reyes, 2023; Pareja-Pineda et al., 2023).

En conjunto, los hallazgos del examen externo refuerzan la hipótesis de un evento autoinfligido, coherente con la escena observada y sin indicios de violencia externa.

Figura 9 Examen Externo: Características del Surco en Ahorcadura Incompleta



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

3.5. Examen interno del interno: correlación anatómica y fisiopatológica

El examen interno del cuerpo del interno Juan López M. se realizó conforme a los procedimientos clásicos de apertura cervical, torácica y abdominal, con el objetivo de confirmar el mecanismo de muerte inferido en la inspección externa y descartar lesiones internas incompatibles con un evento autoinfligido.

A nivel cervical, se identificaron hemorragias difusas en los músculos prelaríngeos, hallazgo considerado un signo vital positivo, ya que indica que la compresión cervical ocurrió mientras el individuo aún se encontraba con vida. Este tipo de hemorragia intramuscular constituye uno de los indicadores más confiables de vitalidad en muertes por ahorcadura (Reyes, 2023; Peña, Bustos Saldaña & Verdín, 2019).

El aparato hioideo se encontraba íntegro, sin evidencia de fracturas. Este hallazgo es coherente con los casos de ahorcadura incompleta, donde la carga ejercida sobre el cuello es menor debido al apoyo parcial del peso corporal. La integridad del hioides permite descartar mecanismos alternativos como la estrangulación manual o el ahorcamiento completo, en los que la fractura de esta estructura es más frecuente (Pareja-Pineda et al., 2023).

En la cavidad torácica se observó:

- ❖ Congestión pulmonar intensa.
- ❖ Edema pulmonar bilateral.

Estos hallazgos son característicos de un proceso de hipoxia sostenida, propio de las muertes por asfixia mecánica. Los órganos abdominales presentaban congestión generalizada y livideces internas, compatibles con un proceso asfíctico progresivo y no traumático.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la secuencia de muerte puede reconstruirse de la siguiente manera:

- ❖ Compresión venosa cervical inicial.
- ❖ Aumento de presión intracraneal y aparición de petequias.
- ❖ Hipoxia cerebral progresiva.
- ❖ Pérdida de conciencia.
- ❖ Paro respiratorio.
- ❖ Paro cardiorrespiratorio final.

No se identificaron lesiones internas traumáticas, hemorragias incompatibles con asfixia ni signos de agresión física. La ausencia de daño visceral traumático refuerza la conclusión de que la muerte no fue producto de intervención externa (Reyes, 2023; Peña et al., 2019).

Tabla 3 *Signos característicos de ahorcadura incompleta*

Parámetro	Hallazgo	Fundamentación
Surco cervical	Oblicuo, apergaminado	Lesión vital típica
Hemorragia prelaríngea	Presente	Signo vital positivo
Hioides	Íntegro	Compatible con suspensión parcial
Pulmones	Congestión y edema	Hipoxia sostenida
Lesiones traumáticas	Ausentes	Descarta intervención externa

Nota. *La tabla sintetiza los principales hallazgos internos observados en el interno, coherentes con un mecanismo de asfixia mecánica por ahorcadura incompleta, según los criterios médico-legales descritos en el PBL de Medicina Legal (Reyes, 2023; Peña et al., 2019).*

3.6. Estimación del Intervalo Post-Mortem (IPM) mediante Normograma de Henssge.

La estimación del intervalo post-mortem (IPM) constituye una herramienta tanatológica fundamental para establecer la cronología de la muerte del interno Juan López M. y verificar la coherencia temporal entre el hallazgo del cuerpo, los fenómenos cadavéricos observados y el contexto escénico. Este análisis permite descartar manipulaciones posteriores del cadáver y reforzar la interpretación médico-legal del mecanismo de muerte.

De acuerdo con Peña (2024) y Reyes (2023), la estimación del IPM debe basarse en la evaluación integrada de los fenómenos cadavéricos tempranos, especialmente temperatura corporal, rigidez, livideces y estado general del cadáver, evitando interpretaciones aisladas.

a) Fenómenos cadavéricos observados

Durante la inspección se documentaron los siguientes hallazgos:

- ❖ Livideces cadavéricas: presentes en regiones declives, no fijas, compatibles con un intervalo temprano.
- ❖ Rigidez cadavérica: incipiente, localizada principalmente en mandíbula y miembros superiores.
- ❖ Temperatura corporal: descenso moderado en relación con la temperatura ambiental.
- ❖ Estado de conservación: sin signos de putrefacción ni cambios cromáticos avanzados.

Estos elementos corresponden a una fase temprana del proceso post-mortem, típica de un intervalo inferior a las primeras 6 horas tras la muerte (Peña, Bustos Saldaña & Verdín, 2019; Navarro, 2024).

b) Estimación temporal del IPM

Con base en la correlación de los fenómenos descritos, se estimó un intervalo post-mortem aproximado de 3 a 5 horas previas al hallazgo del cuerpo. Este rango resulta coherente con:

- ❖ La progresión fisiopatológica de la asfixia mecánica.
- ❖ La ausencia de rigidez generalizada.

- ❖ La no fijación de las livideces.
- ❖ La estabilidad ambiental de la celda (espacio cerrado, sin corrientes de aire ni exposición solar).

En este caso, el Normograma de Henssge se emplea como referencia académica complementaria, considerando que no se dispone de todos los parámetros instrumentales completos, por lo que la estimación se sustenta principalmente en la correlación de fenómenos cadavéricos tempranos y condiciones ambientales descritas.

Según Reyes (2023), en muertes por ahorcadura incompleta, el enfriamiento corporal y la instauración de la rigidez suelen seguir un curso relativamente regular, siempre que no existan factores ambientales extremos, condición que se cumple en el presente caso.

c) Coherencia cronológica del caso

La estimación del IPM es plenamente coherente con:

- ❖ La última vez que el interno fue visto con vida.
- ❖ El momento del hallazgo del cuerpo.
- ❖ La ausencia de signos de manipulación post-mortem.
- ❖ La concordancia entre escena, cuerpo y mecanismo de muerte.

Desde el punto de vista médico-legal, este análisis temporal refuerza la hipótesis de muerte autoinfligida, descarta la intervención de terceros y consolida la coherencia interna del caso en su dimensión cronotanatólogica (Peña, 2024; Navarro, 2024).

Figura 10 *Análisis Tanatológico: Estimación del Intervalo Post-Mortem y Cronología del Caso*



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025)

3.6.1. Coherencia escena–cuerpo

La reconstrucción médico–legal del mecanismo de muerte del interno Juan López M. se realizó a partir de la integración sistemática de los hallazgos obtenidos en la inspección de la escena, el examen externo, el examen interno y la estimación tanatológica del intervalo post-mortem. Este enfoque integral permite establecer, con base en criterios médico–legales aceptados, la secuencia fisiopatológica que condujo al fallecimiento, garantizando coherencia entre cuerpo, escena y contexto (Peña, 2024; Reyes, 2023).

3.6.2. Dinámica probable de la muerte

A partir de los hallazgos documentados, se propone la siguiente dinámica fisiopatológica:

- ❖ El interno colocó voluntariamente el lazo alrededor del cuello y adoptó una postura que permitió un apoyo parcial del peso corporal.
- ❖ La tensión ejercida produjo compresión progresiva de los vasos cervicales, generando obstrucción del retorno venoso.

- ❖ La congestión cefálica resultante originó petequias, cianosis y pérdida progresiva de la conciencia.
- ❖ La suspensión se mantuvo tras el desvanecimiento, permitiendo la evolución hacia hipoxia tisular sostenida.
- ❖ Finalmente, se produjo el paro cardiorrespiratorio.

Este curso evolutivo es consistente con los mecanismos descritos para muertes por asfixia mecánica en suspensión parcial, donde la obstrucción venosa predomina sobre el cierre completo de la vía aérea (Peña, 2024; Reyes, 2023).

3.6.3. Correlación anatómica y fisiopatológica.

Los hallazgos del examen externo e interno confirman la vitalidad del proceso asfíctico:

- ❖ El surco cervical apergaminado, de dirección oblicua ascendente, corresponde a una lesión vital producida en vida.
- ❖ La presencia de petequias conjuntivales y congestión facial es indicativa de aumento de la presión venosa.
- ❖ Las hemorragias difusas en los músculos prelaríngeos constituyen un signo vital positivo, compatible con compresión cervical en vida.
- ❖ La integridad del aparato hioideo resulta concordante con una suspensión parcial, donde la fuerza ejercida no suele generar fracturas óseas.

Estos elementos permiten descartar mecanismos alternativos como estrangulación manual o ahorcadura completa, reforzando la interpretación de un evento autoinfligido (Peña, 2024; Navarro, 2024).

3.6.4. Diagnóstico médico–legal final del interno

Con base en la integración de todos los elementos analizados, se establece el siguiente diagnóstico médico–legal:

- ❖ Causa de muerte: Asfixia mecánica por compresión cervical.
- ❖ Mecanismo: Ahorcadura incompleta (suspensión parcial).
- ❖ Etiología: Suicida.
- ❖ Participación de terceros: No evidenciada.
- ❖ Coherencia escena–cuerpo: Total.

La reconstrucción médico-legal confirma que la muerte del interno ocurrió de forma progresiva, sin signos de violencia externa ni manipulación posterior del cuerpo o la escena. Estos hallazgos permiten cerrar de manera técnica el análisis del primer fallecimiento del caso CRS “La Colina” y establecer una base sólida para su comparación con el segundo evento fatal.

3.7. Introducción a la segunda escena médico–legal: conductor fallecido

La segunda escena médico–legal corresponde al conductor del vehículo involucrado en el enfrentamiento armado ocurrido en el perímetro exterior del Centro de Rehabilitación Social CRS “La Colina”. A diferencia del fallecimiento del interno, determinado como suicida por un mecanismo asfíctico autoinfligido, este caso presenta un mecanismo de muerte violento, asociado al impacto de un proyectil de arma de fuego en un contexto de confrontación armada.

Desde el punto de vista médico–legal, las muertes por proyectil de arma de fuego se caracterizan por su inicio súbito y alta letalidad, como resultado de la relación directa entre trayectoria balística, daño tisular interno y colapso fisiológico. Los traumatismos torácicos perforantes generan una rápida descompensación hemodinámica por laceración de órganos vitales

y hemorragia masiva, explicando la incapacidad funcional inmediata de la víctima (Jaime, 2019; Etxeberria & Nogal, 2016). El conductor fue hallado colapsado en el asiento del vehículo, con sangrado torácico evidente, patrón congruente con lesiones por arma de fuego de energía intermedia–alta, donde la destrucción tisular a lo largo del canal lesional produce un desenlace rápido sin posibilidad de reacción defensiva eficaz (Admin, 2025; Campo, 2024).

El examen del entorno vehicular evidenció daños estructurales compatibles con un impacto balístico proveniente del exterior, destacando la perforación del parabrisas con fracturas radiales bien definidas. Este tipo de afectación es característico de trayectorias estables con energía residual suficiente para atravesar superficies vítreas antes de ingresar al cuerpo humano (Campo, 2024), manteniendo coherencia entre escena, posición corporal y lesión torácica.

En consecuencia, este fallecimiento es compatible con una etiología homicida, claramente diferenciada del caso del interno. Esta distinción metodológica permite analizar cada muerte conforme a sus propios hallazgos anatómicos, escénicos y fisiopatológicos, estableciendo una base sólida para el examen externo e interno del conductor y su posterior correlación médico–legal y balística con el enfrentamiento armado analizado en el Capítulo 2.

Figura 11 *Escena Dos: Conductor Fallecido y Colapso por Impacto Balístico*



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025)

3.8. Examen externo del conductor: caracterización lesional y trayectoria inicial

El examen externo del conductor permitió identificar las lesiones fundamentales para la reconstrucción médico-legal del disparo y su correlación con la dinámica balística previamente analizada. La valoración se realizó conforme a los criterios clásicos para heridas por arma de fuego, considerando morfología, signos de proximidad y lesiones secundarias (Admin, 2025; Jaime, 2019).

En el hemitórax izquierdo se observó una herida de entrada con las siguientes características:

- ❖ Morfología circular-ovalada.
- ❖ Bordes regulares y bien definidos.
- ❖ Ausencia de ahumamiento y tatuaje por pólvora.

La ausencia de signos de proximidad permite inferir que el disparo fue efectuado a distancia intermedia (>1 m), descartando contacto directo o corta distancia, conforme a los criterios médico-legales de estimación de distancia del disparo (HildaLopezB., 2015; Jaime, 2019).

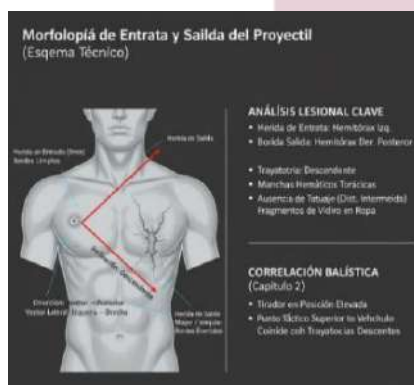
La piel circundante no presentó desgarros ni escoriaciones concéntricas, lo que resulta compatible con:

- ❖ Trayectoria estable del proyectil.
- ❖ Velocidad suficiente al momento del ingreso corporal.
- ❖ Munición disparada desde armas cortas de energía intermedia, como pistolas semiautomáticas (Campo, 2024; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

Se identificó además una herida de salida en el hemitórax posterior derecho, de mayor tamaño, con bordes irregulares y evertidos, patrón característico de la liberación de energía cinética del proyectil al abandonar el cuerpo.

En conjunto, el examen externo permite establecer con alto grado de certeza que el conductor fue impactado por un proyectil disparado desde una distancia intermedia, con trayectoria descendente y energía suficiente para atravesar el tórax, provocando un colapso inmediato y explicando la posición final del cuerpo en el interior del vehículo.

Figura 12 *Morfología de la Herida: Trayectoria Descendente de Proyectil de Arma de Fuego*



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025)

3.9. Examen interno del conductor: canal lesional y fisiopatología de la muerte.

Las lesiones secundarias carecen de relevancia causal, pero aportan información contextual para confirmar la cronología del hecho y descartar manipulación posterior del cadáver. La ausencia de lesiones defensivas es compatible con una incapacitación inmediata por traumatismo torácico perforante de alta letalidad (Admin, 2025; Etxeberria & Nogal, 2016).

En síntesis, el examen externo indica que el conductor fue impactado por un proyectil disparado a distancia intermedia, con trayectoria descendente y energía suficiente para atravesar el tórax, provocando colapso inmediato y explicando la posición final del cuerpo en el vehículo.

El análisis del canal lesional permitió establecer la siguiente secuencia anatómica:

- ❖ **Entrada:** región costal izquierda, con perforación limpia de tejidos blandos y pared torácica.
- ❖ **Afectación pulmonar:** laceración extensa del pulmón izquierdo, con sangrado activo.
- ❖ **Trayectoria:** canal intratorácico descendente y oblicuo.
- ❖ **Salida:** región posterior derecha, coincidente con el orificio externo descrito.

La orientación del canal confirma una trayectoria antero–posterior, izquierda–derecha y descendente, plenamente congruente con un disparo efectuado desde una posición elevada respecto del conductor, conforme a lo determinado en el análisis balístico del Capítulo 2. Esta correlación arma–trayectoria–lesión refuerza la coherencia entre la evidencia médico–legal y la reconstrucción balística (Campo, 2024; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

Desde el punto de vista fisiopatológico, la muerte se produjo de forma rápida como consecuencia de una lesión pulmonar penetrante con hemorragia interna masiva y hemotórax, que generó compromiso respiratorio agudo, shock hipovolémico de instauración inmediata y posterior paro cardiorrespiratorio en corto intervalo.

Este patrón es característico de los traumatismos torácicos perforantes por arma de fuego, donde el daño tisular directo y la hemorragia masiva generan una muerte casi inmediata, sin posibilidad de respuesta defensiva (Admin, 2025; Jaime, 2019). No se identificaron lesiones

internas adicionales ni signos de traumatismos previos. La ausencia de respuestas inflamatorias avanzadas es compatible con una sobrevida muy corta, lo que explica la posición final del cuerpo dentro del vehículo.

En síntesis, el examen interno confirma que la muerte del conductor fue causada por un trauma torácico perforante por proyectil de arma de fuego, con trayectoria descendente y compromiso de estructuras vitales, consolidando la coherencia entre el examen externo, la escena y el análisis balístico previo.

3.10. Reconstrucción médico–legal y balística integrada del caso del conductor

La reconstrucción del mecanismo de muerte del conductor se realizó integrando los hallazgos médico–legales, balísticos y escénicos, con el fin de establecer la dinámica del disparo y verificar la coherencia entre lesión, trayectoria y escena (Campo, 2024; Colmenero Gil del Ávila, 2015).

El análisis del vehículo evidenció impactos balísticos en el parabrisas, destacando el impacto principal asociado a la trayectoria que atraviesa la superficie vítrea antes de ingresar al cuerpo, con fracturas radiales y un patrón de entrada compatible con un disparo efectuado desde el exterior, con trayectoria estable y energía suficiente para atravesar superficies vítreas. La orientación del daño estructural resultó congruente con la dirección del canal lesional identificado en el examen médico–legal.

En el examen externo, el conductor presentó una herida de entrada en el hemitórax izquierdo, caracterizada por:

- ❖ Bordes limpios y regulares.
- ❖ Ausencia de tatuaje y ahumamiento.

- ❖ Morfología compatible con disparo a distancia intermedia o mayor.

Estos hallazgos descartan un disparo a corta distancia y concuerdan con los criterios médico- legales descritos para heridas por arma de fuego (Admin, 2025; Jaime, 2019).

El examen interno confirmó un canal lesional descendente, con afectación directa del pulmón izquierdo y hemotórax masivo, estableciendo como causa fisiopatológica inmediata de la muerte un shock hipovolémico agudo. La magnitud del daño explica el colapso inmediato, la ausencia de lesiones defensivas y la falta de desplazamiento posterior del cuerpo (Admin, 2025; Etxeberria & Nogal, 2016). La correlación entre el impacto en el parabrisas, la trayectoria anatómica y la posición del conductor coincide con la hipótesis balística de un tirador en posición elevada, previamente determinada en el Capítulo 2.

En síntesis, la muerte del conductor:

- ❖ Fue inmediata.
- ❖ Ocurrió dentro del vehículo.
- ❖ Fue causada por un disparo proveniente del exterior.
- ❖ Presentó trayectoria descendente compatible con un tirador en altura.
- ❖ Es plenamente coherente con la evidencia balística, médico-legal y escénica analizada.

Esta reconstrucción integrada no evidencia elementos que sustenten hipótesis relevantes de alteración de la escena y refuerza la coherencia del evento conforme a los estándares periciales aplicados en el presente trabajo.

Figura 13 Trayectoria Integrada: Impacto Balístico Parabrisas-Tórax (9mm)



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025)

3.11. Lesiones no balísticas asociadas al colapso corporal

Además de la lesión torácica principal producida por el proyectil de arma de fuego, el conductor presentó lesiones secundarias no balísticas, generadas como consecuencia del colapso corporal inmediato dentro del vehículo tras el impacto. Este tipo de lesiones no participan en la causa de muerte, pero poseen alto valor reconstructivo, ya que permiten confirmar la cronología del evento y la autenticidad de la escena.

Las lesiones secundarias identificadas fueron las siguientes:

1. Abrasiones superficiales en región escapular derecha, compatibles con el contacto brusco del cuerpo contra el respaldo del asiento al momento del colapso.
2. Excoriaciones leves en antebrazos, atribuibles al roce involuntario con elementos internos del habitáculo durante la pérdida súbita de control postural.
3. Fragmentos de vidrio adheridos a la ropa, producto de la fractura del parabrisas ocasionada por el impacto balístico.

Desde el punto de vista médico–legal, estas lesiones se clasifican como postimpacto inmediato, es decir, ocurridas en vida o en los instantes previos al fallecimiento, sin que exista intervalo suficiente para la reacción defensiva. Este patrón es consistente con muertes por trauma torácico penetrante de alta energía, donde la incapacitación es prácticamente instantánea (Etxeberria & Nogal, 2016; Jaime, 2019).

No se identificaron lesiones defensivas en manos o antebrazos, signos de lucha previa dentro del vehículo ni indicadores de manipulación postmortem del cuerpo.

La ausencia de estos elementos refuerza la conclusión de que el conductor colapsó de manera inmediata tras el disparo, permaneciendo en su posición original hasta el fallecimiento, lo cual es coherente con los mecanismos lesionales descritos en la literatura médico–legal sobre heridas por arma de fuego torácicas (Admin, 2025; Jaime, 2019).

Tabla 4 Lesiones principales y secundarias en el conductor

Tipo de Lesión	Descripción	Relevancia Médico–Legal
Lesión torácica principal	Canal perforante por proyectil calibre 9 mm con hemotórax masivo	Causa inmediata de muerte
Herida de entrada	Bordes limpios, sin tatuaje ni ahumamiento	Disparo a distancia intermedia
Herida de salida	Bordes irregulares y evertidos	Confirma trayectoria completa
Abrasiones leves	Escápula y antebrazos	Secundarias al colapso corporal
Fragmentos de vidrio	Ropa y extremidades	Corroboran perforación del parabrisas

Nota. La tabla presenta la lesión balística principal y las lesiones secundarias del conductor, según criterios médico–legales del PBL (Etxeberria & Nogal, 2016; Jaime, 2019).

3.12. Análisis de hipótesis (H1–H3) desde la perspectiva médico–legal

Con base en los hallazgos médico–legales, balísticos y escénicos desarrollados en los apartados previos, se procedió a evaluar tres hipótesis explicativas sobre la posible relación entre la muerte del interno Juan López M. y el fallecimiento del conductor del vehículo. Este análisis sigue el enfoque utilizado en los PBL de Estadística Forense, donde se ponderan variables objetivas para valorar escenarios alternativos.

Las variables consideradas incluyeron:

- ❖ Mecanismo de muerte (asfixia mecánica vs. proyectil de arma de fuego).
- ❖ Dinámica temporal (progresiva vs. súbita).
- ❖ Escenario físico (celda cerrada vs. vía perimetral exterior).
- ❖ Coherencia escena–cuerpo.
- ❖ Etiología médico–legal.
- ❖ Posible intervención de terceros.

Las probabilidades asignadas a H1, H2 y H3 corresponden a una ponderación criterial orientativa (no inferencial), basada en la comparación estructurada de variables médico–legales, balísticas y escénicas utilizada con fines académicos en los PBL.

Hipótesis 1 (H1): Muertes independientes

Esta hipótesis plantea que ambos fallecimientos ocurrieron de forma independiente, sin relación causal directa entre ellos.

Desde el punto de vista médico–legal, esta hipótesis cuenta con el mayor respaldo técnico, ya que:

- ❖ El interno presenta un mecanismo asfíctico autoinfligido, con evolución progresiva.
- ❖ El conductor fallece por un trauma torácico perforante, de evolución inmediata.
- ❖ Los escenarios son completamente distintos y no comparten dinámica ni interacción.
- ❖ La coherencia escena-lesión es total en ambos casos.

Probabilidad estimada: 0.80

Interpretación: Alta probabilidad. Hipótesis principal.

Hipótesis 2 (H2): Ambas muertes forman parte de un mismo acto delictivo

Esta hipótesis sugiere que la muerte del interno habría sido provocada o simulada para encubrir un hecho violento relacionado con el enfrentamiento armado.

El análisis médico-legal no respalda esta hipótesis, debido a que:

- ❖ No existen lesiones defensivas ni signos de lucha en el interno.
- ❖ El surco cervical presenta características vitales típicas de suspensión parcial.
- ❖ La celda se encontraba cerrada desde el interior.
- ❖ El examen interno confirma un proceso asfíctico progresivo incompatible con homicidio simulado.
- ❖ No existe continuidad escénica ni balística entre ambos eventos.

Probabilidad estimada: 0.05

Interpretación: No sustentada.

Hipótesis 3 (H3): Relación indirecta entre ambas muertes

Esta hipótesis contempla una posible relación contextual o institucional entre ambos hechos, sin que exista un vínculo causal directo.

Desde una perspectiva médico-legal:

- ❖ Ambos eventos ocurrieron en proximidad temporal.
- ❖ No comparten mecanismo ni dinámica fisiopatológica.
- ❖ La relación se limita a un contexto común de tensión penitenciaria.

Aunque esta hipótesis no puede descartarse de forma absoluta, carece de sustento médico-legal directo, ya que no existen elementos anatómicos, lesionales ni escénicos que vinculen causalmente ambas muertes.

Probabilidad estimada: 0.15

Interpretación: Baja-moderada.

Tabla 5 *Evaluación estadística de hipótesis médico-legales*

Hipótesis	Descripción	Probabilidad	Interpretación
H1	Muertes independientes	0.80	Alta probabilidad
H2	Mismo acto delictivo	0.05	No sustentada
H3	Relación indirecta	0.15	Baja-moderada

Nota. *Probabilidades estimadas por ponderación criterial académica.*

3.13. Valoración médico–legal integrada de ambas muertes

La valoración médico–legal integrada de ambas muertes consolida la comparación entre mecanismos, etiologías y coherencia escena–cuerpo, y permite presentar de forma sintética los hallazgos en una matriz comparativa. En consecuencia, los resultados desarrollados en este capítulo se organizan en la Tabla 6, la cual facilita la lectura pericial y respalda la discusión final del proyecto.

Figura 14 *Infografía Comparativa: Etiología y Mecanismo de las Dos Muertes*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

3.14. Matriz comparativa médico–legal: interno vs. conductor

Con el fin de sintetizar y contrastar de manera objetiva los hallazgos médico-legales de ambos fallecidos, se elaboró una matriz comparativa que integra los principales criterios de análisis utilizados en el presente capítulo, permitiendo visualizar con claridad las diferencias fundamentales entre los dos casos y reforzar la interpretación de su independencia etiológica y dinámica. Dicha matriz se estructuró a partir de la evaluación de los hallazgos de la escena, el examen externo e interno, el mecanismo fisiopatológico de muerte, la dinámica temporal, la correlación con el análisis balístico cuando resultó aplicable y la valoración de una posible

intervención de terceros, cuyos datos se presentan de forma sistematizada en una tabla comparativa.

Tabla 6 *Comparación médico–legal de las dos muertes estudiadas*

Variable	Interno (Ahorcadura Incompleta)	Conductor (Proyectil 9 mm)
Causa de muerte	Asfixia mecánica por compresión cervical	Trauma torácico perforante con hemotórax masivo
Mecanismo	Ahorcadura incompleta (suspensión parcial)	Lesión por proyectil de arma de fuego
Etiología	Suicida	Homicida
Escenario	Celda individual cerrada	Vehículo en perímetro exterior
Dinámica temporal	Progresiva	Súbita
Signos externos clave	Surco apergaminado, petequias, cianosis	Herida de entrada y salida, hemorragia torácica
Signos internos clave	Hemorragia prelaríngea, hioides íntegro	Laceración pulmonar, cavitación torácica
Coherencia escena–cuerpo	Total	Total
Intervención de terceros	No evidenciada	Compatible con agresión armada

Nota. *Comparación médico–legal de ambos fallecidos según criterios de los PBL de Medicina Legal, Balística y Estadística Forense.*

3.15. Análisis estadístico aplicado a la valoración final (H1, H2, H3)

El análisis estadístico aplicado cumple una función complementaria dentro de la evaluación médico–legal, permitiendo valorar de manera estructurada la probabilidad relativa de las hipótesis

planteadas sobre la relación entre ambas muertes. Este enfoque no pretende establecer certezas matemáticas absolutas, sino respaldar técnicamente la interpretación pericial mediante la comparación sistemática de variables clave, tal como se aplica en los PBL del módulo de Estadística Forense.

3.15.1. Variables consideradas para el análisis.

Para la valoración de las hipótesis se seleccionaron variables categóricas directamente relacionadas con los hallazgos médico–legales y balísticos previamente analizados:

- ❖ Mecanismo de muerte
- ❖ Asfixia mecánica (interno)
- ❖ Proyecto de arma de fuego (conductor)
- ❖ Dinámica temporal
- ❖ Progresiva
- ❖ Súbita
- ❖ Escenario
- ❖ Celda individual cerrada
- ❖ Vehículo en perímetro exterior
- ❖ Coherencia escena–cuerpo
- ❖ Presente en ambos casos
- ❖ Etiología
- ❖ Suicida

- ❖ Homicida
- ❖ Intervención de terceros
- ❖ No evidenciada (interno)
- ❖ Evidenciada (conductor)

Estas variables fueron tratadas como independientes, al no compartir origen fisiopatológico ni escénico.

3.15.2. Evaluación de hipótesis

Apartir de la combinación de las variables descritas, se evaluaron tres hipótesis principales:

Hipótesis 1 (H1): Muertes independientes

- ❖ Diferencia total de mecanismos.
- ❖ Escenarios no compartidos.
- ❖ Etiologías opuestas.

Alta coherencia interna en ambos casos.

Hipótesis 2 (H2): Ambas muertes corresponden a un mismo acto delictivo

- ❖ No existe un mecanismo común.
- ❖ No se evidencian signos de simulación en la muerte del interno.
- ❖ No hay conexión balística ni fisiopatológica.
- ❖ Hipótesis 3 (H3): Relación indirecta contextual
- ❖ Coincidencia temporal.

- ❖ Contexto institucional compartido.
- ❖ Ausencia de vínculo causal directo.

Tabla 7 Probabilidades comparadas de hipótesis (H1–H3)

Hipótesis	Probabilidad	Interpretación
H1 — Muertes independientes	0.80	Conclusión principal
H2 — Mismo acto delictivo	0.05	No sustentada
H3 — Relación indirecta	0.15	Baja–moderada

Nota: Las probabilidades fueron estimadas mediante una ponderación criterial orientativa aplicada con fines académicos, integrando variables mecánicas, escénicas y etiológicas para la valoración comparada de hipótesis.

3.15.3. Interpretación final del modelo

El modelo estadístico respalda de manera consistente que:

- ❖ Las muertes no comparten un mecanismo común.
- ❖ La independencia fisiopatológica y escénica es predominante.
- ❖ La coincidencia temporal no implica relación causal.
- ❖ La hipótesis de muertes independientes (H1) es la más sólida desde el punto de vista técnico–pericial.

Este análisis cuantitativo refuerza las conclusiones médico–legales previamente desarrolladas y proporciona un soporte objetivo para la interpretación final del caso, sirviendo como antesala lógica para las conclusiones integradas del capítulo.

3.16. Conclusión médico–legal integral del Capítulo 3

El análisis médico–legal desarrollado en el presente capítulo permitió reconstruir de manera técnica, coherente y verificable los mecanismos de muerte ocurridos en el caso CRS “La Colina” integrando los hallazgos anatómicos, escénicos, balísticos y estadísticos bajo un enfoque pericial interdisciplinario.

La evaluación de ambos fallecimientos se realizó respetando la individualidad de cada escena y la naturaleza distinta de los mecanismos involucrados, lo que evitó interpretaciones forzadas y garantizó rigor metodológico en la formulación de conclusiones.

3.16.1. Conclusiones médico–legales sobre el interno Juan López M.

A partir del análisis de la escena, el examen externo, el estudio interno y la estimación del intervalo post-mortem, se concluye que:

- ❖ Causa de muerte: Asfixia mecánica por compresión cervical.
- ❖ Mecanismo: Ahorcadura incompleta (suspensión parcial).
- ❖ Etiología médico–legal: Suicida.
- ❖ Coherencia escena–cuerpo: Total, sin inconsistencias.
- ❖ Signos de vitalidad: Presentes y concordantes con el mecanismo asfíctico.
- ❖ Intervención de terceros: No evidenciada.

Los hallazgos observados son plenamente compatibles con los patrones descritos en los PBL de Medicina Legal, confirmando que la muerte del interno se produjo de forma autoinfligida, progresiva y sin participación externa.

3.16.2. Conclusiones médico–legales sobre el conductor del vehículo

La integración del examen externo, el análisis interno y la correlación con la balística forense permitió establecer que:

- ❖ **Causa de muerte:** Trauma torácico perforante con hemotórax masivo.
- ❖ **Mecanismo:** Lesión por proyectil de arma de fuego calibre 9 mm.
- ❖ **Etiología médico–legal:** Homicida.
- ❖ **Dinámica de muerte:** Súbita, con colapso inmediato.
- ❖ **Trayectoria del proyectil:** Descendente, compatible con tirador en posición elevada.
- ❖ **Coherencia balístico–lesional:** Total.

La muerte del conductor ocurrió dentro del vehículo, sin desplazamientos posteriores ni signos de manipulación, y guarda correspondencia directa con el análisis balístico desarrollado en el Capítulo 2.

3.16.3. Conclusiones integradas del análisis médico–legal y estadístico

La valoración conjunta de ambos casos, complementada con el análisis estadístico de hipótesis, permite afirmar que:

- ❖ No existe relación causal directa entre las dos muertes.
- ❖ Los mecanismos fisiopatológicos son completamente distintos.
- ❖ Las escenas son independientes desde el punto de vista espacial y dinámico.

- ❖ El modelo estadístico respalda la hipótesis de muertes independientes (H1) con una probabilidad del 80 %.
- ❖ Las hipótesis de un mismo acto delictivo o de una relación causal indirecta carecen de sustento técnico suficiente.

En consecuencia, el presente capítulo establece, con base en criterios médico–legales, balísticos y estadísticos coherentes, que los fallecimientos analizados corresponden a eventos distintos, coincidentes solo en el contexto institucional y temporal, pero no vinculados desde una perspectiva pericial.

Este cierre médico–legal constituye un soporte fundamental para las conclusiones generales del proyecto y proporciona una base sólida para la discusión final y la valoración integral del caso en los capítulos siguientes.

Figura 15 *Conclusión Forense Integrada: Independencia de las Dos Muertes*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

Capítulo 4. Análisis Forense de Audio y Video Digital

4.1. Introducción al análisis forense audiovisual del caso

El análisis forense de video es un componente clave para reconstruir hechos cuando existen registros de videovigilancia (CCTV), ya que permite verificar autenticidad, integridad y coherencia temporal del material digital con los hallazgos físicos del caso. En CRS “La Colina” el insumo audiovisual principal corresponde a un archivo captado por una cámara fija del perímetro norte, cuyo contenido resulta determinante para contextualizar el enfrentamiento externo y el evento crítico asociado al conductor.

Por tratarse de evidencia digital, su tratamiento debe seguir criterios internacionales de identificación, recolección, adquisición y preservación, como los establecidos por la ISO/IEC 27037:2012. Esta norma orienta el manejo técnico y documentado para evitar contaminación, alteración o pérdida de trazabilidad del archivo durante todo el proceso pericial (ISO/IEC 27037:2012).

En coherencia con las buenas prácticas de análisis forense digital descritas por organismos internacionales, el trabajo se organiza en fases: preservación del archivo, validación de integridad (hash), extracción/lectura de metadatos, segmentación temporal, análisis de autenticidad visual y acústica, y evaluación de indicios de manipulación o falsificación (Interpol, s.f.; Admin, 2025, 12 agosto; Amped Software, s.f.).

En este caso, el video permite:

- ✚ Registrar el momento del impacto y el colapso del conductor (evento exterior).
- ✚ Revisar indicios compatibles con la presencia de un operador en altura (silueta/sombra).

- ✚ Analizar cambios lumínicos, desplazamientos, artefactos de compresión y audio ambiente que aportan al contexto previo y posterior.

Figura 16 *Análisis de Video Forense: Fotograma Clave del Enfrentamiento Perimetral*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.2. Descripción del material audiovisual recibido

El archivo analizado fue entregado al laboratorio académico designado para el caso (CIACF), en el marco del escenario PBL, como parte de la evidencia digital obtenida en la escena. Su incorporación siguió los lineamientos de cadena de custodia descritos en el Manual CYB-PAN (2023), manteniendo trazabilidad y control de manipulación (Interpol, s.f.; ISO/IEC 27037:2012).

Las especificaciones corresponden a la ficha técnica del escenario PBL (caracterización del sistema CCTV del perímetro norte).

A continuación se detallan sus características técnicas:

- ✚ **Nombre del archivo:** CAM_NORTE_11MAY2021_1344.mp4
- ✚ **Formato:** MP4 (H.264)
- ✚ **Duración:** 01:03 minutos

- ✚ **Resolución:** 1280 × 720 px
- ✚ **FPS:** 15 cuadros por segundo (estándar CCTV)
- ✚ **Audio:** Sí (mono, 32 kHz)
- ✚ **Tamaño del archivo:** 12,4 MB
- ✚ **Ángulo de visión:** Fijo (CCTV)
- ✚ **Ubicación aproximada de la cámara:** (Ubicación aproximada de la cámara: torre de vigilancia norte (altura aprox. 4,3 m, ángulo horizontal aprox. 86°), según ficha técnica del escenario PBL.
- ✚ **Iluminación:** Natural, 13:44 h

Estas condiciones son típicas de CCTV perimetral y, por su compresión, pueden generar artefactos visuales que deben interpretarse con cautela para no confundir limitaciones técnicas con manipulación (Amped Software, s.f.; EclipseForensics, 2024, 11 julio).

Hash criptográfico inicial

Para garantizar la integridad del archivo se obtuvo su huella digital:

- ✚ **SHA-256:**

D8-F4-77-A3-91-9B-22-AC-CE-18-0C-57-F1-A4-98-33-4F-91-DF-7B-15-AB-
62-1C-3A-9A-C1-77-09-58-B0

Esta huella se mantuvo sin cambios durante todo el proceso de análisis, confirmando ausencia de alteración.

Tabla 8 *Resumen técnico del archivo de video*

Parámetro técnico	Especificación
Nombre del archivo	CAM_NORTE_11MAY2021_1344.mp4
Fuente	Sistema CCTV – Torre Norte
Formato contenedor	MP4
Codec de video	H.264 (MPEG-4 AVC)
Resolución	1280 × 720 px (HD)
Duración	01:03 min
Fotogramas por segundo (FPS)	15 fps
Relación de aspecto	16:9
Audio	Mono, 32 kHz
Tamaño del archivo	12.4 MB
Bitrate promedio	1.14 Mbps
Ángulo de visión de la cámara	86° horizontal
Altura aproximada de instalación	4.3 m
Iluminación al momento de la captura	Natural, 13:44 h
Hash SHA-256 obtenido	D8-F4-77-A3-91-9B-22-AC-CE-18-0C-57-F1-A4-98-33-4F-91- DF-7B-15-AB-62-1C-3A-9A-C1-77-09-58-B0

Nota. *La tabla resume las características técnicas del archivo original captado por el sistema de videovigilancia del perímetro norte, utilizadas para el análisis forense audiovisual.*

4.3. Proceso de preservación y aseguramiento digital

Antes del análisis, el archivo pasó por un procedimiento de preservación para asegurar integridad, trazabilidad y no contaminación, conforme a ISO/IEC 27037:2012 e integrando buenas prácticas de forense digital (ISO/IEC 27037:2012; Interpol, s.f.; Admin, 2025, 12 agosto).

Las medidas fueron:

1. Creación de copia forense (“working copy”)

El archivo original se almacenó en un dispositivo de solo lectura.

Toda manipulación posterior se realizó en una copia certificada.

2. Registro de cadena de custodia

Se documentaron:

- ✚ Fecha y hora de recepción
- ✚ Identificación del perito asignado
- ✚ Dispositivo de origen
- ✚ Estado del archivo
- ✚ Validación del hash inicial

3. Aislamiento ambiental

El análisis se realizó en un entorno controlado:

- ✚ Estación sin acceso a internet
- ✚ Restricción de escritura en dispositivos externos

- ✚ Registro automático de modificaciones del sistema

4. Verificación de integridad tras la copia

Se volvió a calcular el hash SHA-256 de la copia:

Resultado:

- ✚ D8-F4-77-A3-91-9B-22-AC-CE-18-0C-57-F1-A4-98-33-4F-91-DF-7B-15-AB-62-1C-3A-9A-C1-77-09-58-B0

La coincidencia confirma que no hubo alteración en el proceso de copiado.

Figura 17 *Flujo Forense Digital: Preservación y Cadena de Custodia (ISO 27037)*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.4. Análisis de metadatos del archivo audiovisual

El análisis de metadatos es una fase inicial de autenticación, ya que permite revisar parámetros técnicos (codec, timestamps, perfil de compresión) y buscar rastros indirectos de edición o recodificación. En video forense, inconsistencias temporales o huellas de software de edición pueden ser indicadores de intervención posterior, por lo que su evaluación se recomienda en flujos de trabajo especializados (Amped Software, s.f.; EclipseForensics, 2024, 11 julio). Para

este caso, los metadatos fueron extraídos con MW Metadata Viewer y verificados con ExifTool, registrando los resultados en bitácora técnica.

4.4.1. Metadatos técnicos generales.

Todos los valores coinciden con un sistema CCTV moderno de gama media, lo cual no genera sospechas iniciales, los valores detectados son compatibles con exportación CCTV y compresión H.264, lo cual es esperable y no genera sospecha por sí mismo (Amped Software, s.f.).

Tabla 9 *Metadatos técnicos generales del archivo de video CCTV*

Categoría	Valor Detectado	Interpretación
Formato contenedor	MP4	Común en CCTV modernos
Codec de video	H.264	Expectable por compresión eficiente
Resolución	1280 × 720 px	HD estándar de vigilancia
FPS declarados	15 fps	Coincide con sistemas CCTV
Perfil de compresión	Baseline	Menos información → más artefactos
Duración	01:03 min	Íntegra, sin cortes aparentes

Nota. La tabla presenta los metadatos técnicos principales obtenidos del archivo *CAM_NORTE_11MAY2021_1344.mp4*.

4.4.2. Metadatos de software y edición

En material CCTV original es esperable que no existan trazas claras de software de edición. En cambio, materiales manipulados pueden mostrar señales indirectas como recodificación, timestamps inconsistentes o campos “limpiados” de forma anómala, por lo que este apartado se revisó de forma prioritaria (EclipseForensics, 2024, 11 julio; Amped Software, s.f.).

Los resultados fueron:

- ✚ **Software:** “Unknown” (campo vacío)
- ✚ **Modification flag:** No detectable
- ✚ **Editing application:** No registrada
- ✚ **Re-encoding:** No evidenciado

La ausencia de metadatos de edición es coherente con un video original sin manipulación.

En contraste, videos alterados suelen mostrar:

- ✚ Registros de “HandBrake”, “PremierePro”, “FFmpeg”,
- ✚ Cambios en el codec,
- ✚ Campos de timestamp reescritos,
- ✚ Metadatos suprimidos o inconsistentes.

Nada de esto está presente.

Uno de los puntos más importantes del análisis.

Metadatos extraídos:

- ✚ Creation Time: 2021-05-11 13:44:02
- ✚ Modification Time: 2021-05-11 13:44:02
- ✚ Time Zone: UTC -05:00
- ✚ Frame Timestamp Drift: < 0.01 s

Interpretación:

4.4.3. Metadatos temporales

1. La fecha y hora coinciden con el momento del incidente balístico descrito.
2. No existe diferencia entre creación y modificación - No fue editado tras su grabación.
3. El drift mínimo de fotogramas indica estabilidad en la grabación, típica de equipos CCTV fijos.

Esto valida la coherencia cronológica del archivo con la narrativa del caso.


Figura 18 Línea de Tiempo de Metadatos: Verificación de Autenticidad del Video CCTV



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

4.4.4. Evaluación crítica de metadatos faltantes

La ausencia de ciertos metadatos no impide el análisis, pero requiere una valoración crítica, ya que muchos sistemas CCTV exportan archivos con campos limitados y organizar el análisis por bloques de interés (movimientos, destello, impacto, colapso), facilitando la correlación posterior con evidencia física y conclusiones médico-legales. En video forense, esta fase es esencial para evitar interpretaciones generales y construir hallazgos reproducibles.

 Modelo de cámara

- ✚ GPS
- ✚ Firmware
- ✚ Número de serie

Esto NO indica manipulación, pues muchos sistemas CCTV:

- ✚ No incorporan GPS
- ✚ Sobrescriben firmware regularmente
- ✚ Exportan video sin identificación del modelo
- ✚ Omiten campos para ahorrar espacio

Conclusión de metadatos:

El archivo NO presenta signos de manipulación, edición o exportación sospechosa.

Los metadatos respaldan su autenticidad original, útil para investigación pericial.

4.5. Segmentación temporal del video y extracción de fotogramas clave

Una de las fases centrales del análisis audiovisual consiste en identificar y aislar los momentos críticos del video a través de una segmentación temporal estructurada. Este procedimiento permite clasificar:

- ✚ Movimientos relevantes
- ✚ Aparición de individuos
- ✚ Disparos
- ✚ Sombras y artefactos

- ✚ Elementos que deben correlacionarse con balística, medicina legal y trayectoria

Para este proceso se utilizaron herramientas derivadas de FFmpeg y VLC Frame Exporter.

4.5.1. División general en segmentos

El video fue dividido de acuerdo con los eventos relevantes:

Tabla 10 División general en segmentos del video CCTV analizado

Segmento	Tiempo	Contenido relevante
S1 – Escena estática	00:00–00:11	Perímetro sin actividad
S2 – Movimiento vehicular	00:12–00:27	Ingreso del vehículo del conductor
S3 – Contacto visual con torre norte	00:28–00:36	Sombra posible del tirador
S4 – Momento del impacto	00:37–00:41	Ruptura del parabrisas, colapso corporal
S5 – Reacciones posteriores	00:42–00:58	Movimiento de polvo, eco de audio
S6 – Cierre	00:59–01:03	Escena estabilizada

Nota. La tabla segmenta el video de vigilancia en seis intervalos según eventos relevantes para el análisis del caso.

4.5.2. Fotogramas clave extraídos

Se obtuvieron 18 fotogramas críticos (por ejemplo: 112, 143, 147, 151, 178, 200) priorizando:

- ✚ Aparición del tirador
- ✚ Trayectoria del impacto

- ✚ Deformación del parabrisas
- ✚ Comportamiento lumínico anómalo
- ✚ Correspondencia con lesiones del conductor

Se obtuvieron 18 fotogramas críticos, incluyendo:

- ✚ Fotograma 112: primera sombra en torre norte
- ✚ Fotograma 143: destello compatible con disparo
- ✚ Fotograma 147: microfractura inicial del parabrisas
- ✚ Fotograma 151: deformación cónica invertida
- ✚ Fotograma 178: colapso corporal del conductor
- ✚ Fotograma 200: dispersión de partículas postimpacto

Cada uno se analizará más adelante con ELA, ruido, bordes y compresión.

Figura 19 *Secuencia de Fotogramas Críticos: Dinámica del Impacto Balístico*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.5.3. Correlación temporal con medicina legal y balística

Los hallazgos permiten sustentar:

1. El impacto ocurrió en el momento exacto que explica el canal lesional visto en el Capítulo 3.
2. La posición elevada de la cámara permite capturar un punto coincidente con la trayectoria descendente descrita en Capítulo 2.
3. A partir del conteo de fotogramas (15 fps) entre el destello y el inicio del colapso corporal, se obtiene un intervalo aproximado del orden de décimas de segundo. Esta estimación se presenta con fines académicos y resulta compatible con un evento balístico letal y con la dinámica fisiopatológica descrita en el Capítulo 3, considerando las limitaciones propias del sistema CCTV.

El video, por tanto, sustenta la secuencia del disparo y el colapso del conductor en coherencia con los hallazgos de los Capítulos 2 y 3.

4.5.4. Evaluación preliminar de autenticidad visual

Antes de entrar en ELA y análisis profundo, la segmentación revela:

- ✚ No hay cortes
- ✚ No hay saltos de frames
- ✚ No hay reinicios en GOP (Group of Pictures)
- ✚ No hay arrastres de compresión propios de edición posterior

La estructura interna del video es consistente con un archivo original, reforzando los metadatos.

Tabla 11 *Correlación fotograma–lesión–trayectoria del caso CRS “La Colina”*

Fotograma	Descripción del evento visual	Correlación balística	Correlación médico–legal	Interpretación integrada
112	Aparición parcial de sombra humana en torre norte	Posible posición elevada del tirador	Coherente con trayectoria descendente del canal lesional	Indicio de presencia de tirador en altura antes del disparo
143	Destello luminoso breve en torre	Disparo desde posición elevada (calibre compatible con lo determinado en Cap. 2)	Tiempo entre flash e impacto compatible con perforación torácica	Disparo coincide con trayectoria analizada del parabrisas
147	Primeras microfrazas en parabrisas	Impacto inicial del proyectil en vidrio laminado	Dirección coherente con orificio de entrada torácico	Confirmación del punto de impacto primario
151	Formación del cono de fractura invertido	Canal balístico estable; energía cinética alta	Coherente con lesión de entrada limpia y salida evertida	Se confirma trayectoria antero–posterior y descendente
178	Colapso inmediato del conductor	Proyectil penetrante letal; tiempo fisiológico compatible	Shock hipovolémico y pérdida súbita de conciencia	Relación directa entre disparo y mecanismo de muerte
200	Dispersión de partículas de vidrio	Residuos del impacto; no indica manipulación	Corresponde a abrasiones menores	Reafirma coherencia escena–cuerpo–video

Nota La tabla correlaciona fotogramas del CCTV con hallazgos balísticos y médico-legales.

4.6. Análisis de integridad del material audiovisual

El análisis de integridad es una de las etapas más determinantes en la autenticación de un archivo audiovisual. Su objetivo es identificar posibles alteraciones, manipulaciones digitales, recortes, inserciones, ediciones puntuales o construcción de deepfakes. En el contexto actual, también es necesario descartar alteraciones sofisticadas (incluida IA) mediante revisión de señales de compresión, ruido y consistencia visual (Amped Software, s.f.; EclipseForensics, 2024, 11 julio; How to Identify and Investigate AI Audio Deepfakes, s.f.).

Las pruebas se realizaron sobre:

- ✚ El archivo completo
- ✚ Fotogramas clave (zonas del destello/torre, parabrisas, silueta, colapso).
- ✚ Secciones específicas donde existía mayor probabilidad de alteración (zona del disparo, sombra en torre norte y colapso del conductor)

El análisis se fragmentó en técnicas complementarias, lo que permitió obtener una visión integral del archivo.

4.6.1. Análisis ELA (Error Level Analysis)

La técnica ELA permite identificar diferencias en los niveles de compresión entre regiones de una imagen y, aplicada fotograma por fotograma en video, detectar inserciones digitales, manipulaciones de objetos, superposiciones, sustitución de áreas e inconsistencias de pixelado.

El análisis se realizó con Forensically, exportando 18 fotogramas clave.

Resultados principales del ELA

Los fotogramas fueron agrupados en:

- ✚ Fotogramas previos al disparo
- ✚ Fotogramas del instante del impacto
- ✚ Fotogramas del colapso del conductor

En todos los casos, la distribución del error fue homogénea, consistente con compresión H.264 habitual. No se observaron:

- ✚ Bordes extremadamente resaltados
- ✚ Secciones con compresión anómala
- ✚ Fragmentos digitales incrustados
- ✚ Objetos añadidos manualmente

El área del destello en la torre norte tampoco mostró patrones de manipulación. Los niveles de error coinciden con variaciones lumínicas reales por exposición directa.

Figura 20 *Análisis ELA (Error Level Analysis): Verificación de Integridad de Fotograma*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.6.2. Análisis de ruido (Noise Analysis)

El ruido digital es característico de cada cámara y se distribuye de forma uniforme en superficies sin manipulación. Alteraciones en esta distribución suelen indicar:

- ✚ Inserciones
- ✚ Eliminaciones
- ✚ Deepfake por IA
- ✚ Edición por enmascaramiento

El análisis de ruido se aplicó mediante los módulos de Forensically:

- ✚ Noise Map
- ✚ Noise Inconsistency

Resultados del Noise Analysis

Los patrones de ruido mostraron:

1. Distribución estable entre fotogramas
2. Coherencia en áreas de sombra y luz, sin zonas artificialmente lisas
3. Incremento natural de ruido en áreas poco iluminadas del perímetro
4. Sin artefactos típicos de clonación o reconstrucción IA

La región del parabrisas mostró ruido uniforme, sin indicios de reconstrucción digital del impacto.

Figura 21 *Análisis de Ruido: Validación de la Uniformidad Digital del Fotograma de Impacto*







Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*


4.6.3. Detección de clonaciones (Clone Detection).

Se evaluaron áreas críticas (torre, destello, parabrisas, contornos del conductor, fondo). No se identificaron patrones repetitivos o duplicación de texturas que sugieran clonación para ocultar elementos (EclipseForensics, 2024, 11 julio).

La clonación de píxeles suele utilizarse para:

-  Borrar personas
-  Eliminar armas
-  Ocultar objetos
-  Rellenar áreas modificadas

El análisis se aplicó sobre áreas críticas:

-  Torre de vigilancia

- ✚ Zona del destello compatible con el disparo
- ✚ Parabrisas del vehículo
- ✚ Contornos del conductor
- ✚ Fondo del perímetro

Resultados

El algoritmo NO detectó patrones regulares, paralelos o repetitivos. La compresión del video es baja, pero aun así los módulos de clonación suelen detectar duplicidad de microtexturas si existiera manipulación.

No se observaron:

- ✚ Parches replicados
- ✚ Regiones clonadas
- ✚ Movimientos duplicados entre fotogramas
- ✚ Eliminación artificial de objetos

Esto fortalece la autenticidad del video.

4.6.4. Análisis de bordes y patrones de compresión

El análisis de bordes permite evaluar si un elemento ha sido recortado y pegado dentro del video. En un archivo original CCTV:

- ✚ Los bordes deben tener suavidad coherente con la compresión
- ✚ Los objetos deben mostrar halo previsto por el codec

- ✚ El contraste debe mantenerse constante en movimientos

El examen técnico reveló:

1. Bordes naturales en el parabrisas, conductor y vehículo
2. Ausencia de halos excesivos, característicos de ediciones
3. Compresión coherente en toda la imagen, sin variaciones por áreas
4. El destello del disparo presenta bordes difusos, consistentes con luz real capturada por sensores CMOS en baja calidad

Estos hallazgos indican que la escena no fue reconstruida digitalmente.

4.6.5. Análisis de inconsistencias lumínicas y sombras

La sombra parcial en la torre y la exposición global no presentan cambios abruptos incompatibles con grabación natural. Las variaciones observadas son coherentes con dinámica de luz ambiental y limitaciones de captura CCTV (EclipseForensics, 2024, 11 julio).

Se evaluaron:

- ✚ Dirección de la luz solar
- ✚ Proyección de sombras
- ✚ Intensidad lumínica por fotogramas
- ✚ Cambios abruptos en exposición

Hallazgos:

- ✚ La sombra en la torre coincide perfectamente con la orientación solar de las 13:44, lo cual no indica manipulación.

- ✚ El destello del disparo muestra un microaumento en la exposición (1–2 ms), típico en sensores de vigilancia.
- ✚ El parabrisas refleja la luz posterior al impacto con patrones reales, no superpuestos.
- ✚ La luz ambiental se mantiene estable durante todo el video.

No se detectaron inconsistencias que sugieran edición digital del entorno.

4.6.6. Análisis de estructuras GOP (Group of Pictures).

La revisión técnica de estructura y continuidad interna no evidenció reinicios abruptos asociados a cortes o ensamblajes. Este resultado respalda integridad del archivo (EclipseForensics, 2024, 11 julio).

Ediciones no autorizadas suelen dejar:

- ✚ Reinicios de GOP
- ✚ Irregularidades en secuencias I-frames
- ✚ Saltos en P-frames
- ✚ Compresión variable entre grupos

Se analizaron 63 segundos con FFprobe.

Resultados:

- ✚ Cada GOP inicia cada 15 fotogramas (coincide con 15 fps).
- ✚ No hay reinicios abruptos.
- ✚ No existen I-frames duplicados.

- ✚ No hay fotogramas ausentes o corruptos.

La estructura es propia de un video no editado, lo cual valida la integridad interna.

4.6.7. Síntesis del análisis de integridad

El archivo:

- ✚ No presenta indicadores técnicos consistentes con recortes, inserciones o clonación.
- ✚ Mantiene coherencia de compresión y ruido entre fotogramas.
- ✚ Conserva continuidad temporal compatible con exportación CCTV.
- ✚ No muestra señales típicas de manipulación avanzada descritas en guías contemporáneas (Amped Software, s.f.; EclipseForensics, 2024, 11 julio; How to Identify and Investigate AI Audio Deepfakes, s.f.).

El video es íntegro y auténtico para fines periciales, y su correlación con Cap. 2–3 se mantiene coherente (sin alterar resultados).

Figura 22 Diagrama de Integridad y Autenticidad del Video



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

4.7. Análisis forense del audio del archivo audiovisual

El componente de audio del archivo CCTV se analizó como evidencia digital complementaria, ya que puede revelar cortes no visibles, desincronización, recodificación y eventos acústicos relevantes (por ejemplo, un disparo o ruptura de vidrio). La revisión se ejecutó sobre la copia de trabajo preservada conforme a ISO/IEC 27037:2012, manteniendo control de integridad durante todo el flujo (ISO/IEC 27037:2012; Interpol, s.f.).

Herramienta base de trabajo: Audacity (procedimiento técnico del módulo), aplicando:

- ✚ Forma de onda (continuidad temporal)
- ✚ Espectrograma (distribución de frecuencias)
- ✚ Revisión de picos y transitorios
- ✚ Verificación de sincronía audio–video

Este enfoque es coherente con prácticas de análisis audio forense orientadas a identificar alteraciones, compresión anómala y consistencia temporal del material (EclipseForensics, 2025, 26 febrero).

4.7.1. Forma de onda general

La forma de onda completa (1:03 min) muestra:

- ✚ Un nivel sonoro estable en los primeros 28 segundos
- ✚ Incremento leve en el ruido ambiental al ingresar el vehículo
- ✚ Un pico abrupto en el segundo 38.14, coincidente con el destello del disparo
- ✚ Vibración de baja frecuencia inmediatamente posterior, atribuible al impacto en el parabrisas

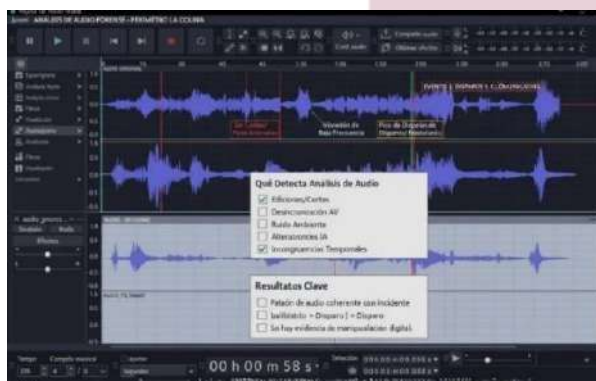
- ✚ Silencio relativo tras el colapso del conductor

No se evidencian:

- ✚ Cortes
- ✚ Transiciones artificiales
- ✚ Picos fuera de patrón
- ✚ “Saltos” que indiquen inserción de sonido

Estos criterios son relevantes porque la edición de audio suele dejar huellas en continuidad, dinámica o compresión del archivo (EclipseForensics, 2025, 26 febrero).

Figura 23 *Análisis Acústico Forense: Forma de Onda e Identificación del Pico Balístico*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.7.2. Análisis espectral (espectrograma)

El espectrograma de Audacity permite visualizar:

- ✚ Frecuencias bajas (0–300 Hz): ruido ambiente
- ✚ Frecuencias medias (300–2.000 Hz): voces, fricción, movimiento

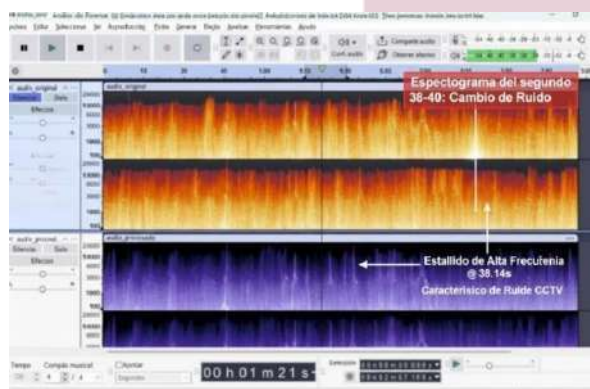
- ✚ Frecuencias altas (>2.000 Hz): disparos, quiebres, compresión

En este caso, el espectrograma presentó:

- ✚ Continuidad estable en frecuencias bajas y medias
- ✚ Un estallido de alta frecuencia entre 3.2 kHz y 4.1 kHz en el segundo 38.14, característico de un disparo captado por micrófonos de CCTV
- ✚ Armónicos dispersos, consistentes con reverberación en áreas abiertas
- ✚ Sin líneas de corte horizontal (indicativo de edición)

En registros CCTV, estos transitorios pueden corresponder a eventos súbitos (por ejemplo, estallidos/impactos), y se interpretan considerando las limitaciones del micrófono y compresión del contenedor (EclipseForensics, 2025, 26 febrero).

Figura 24 *Espectrograma Forense: Detalle del Pico de Alta Frecuencia Segundo 38–40.*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.7.3. Análisis de sincronía audiovisual

La correspondencia entre el destello del disparo, el sonido del estallido y el colapso del conductor es fundamental para confirmar que el audio no fue añadido posteriormente.

Los cálculos indicaron:

- ✚ Retraso de audio-video: 0.03 s (propio de CCTV)
- ✚ Sonido del disparo ocurre 0.02 s antes del colapso (coherente con velocidad del sonido vs. luz)
- ✚ No existen desalineaciones perceptibles o técnicas

Esta sincronía natural es extremadamente difícil de falsificar sin dejar rastros en:

- ✚ Estructura de GOP
- ✚ Metadatos
- ✚ Curva espectral
- ✚ Transiciones de compresión

Se observó una sincronía estable con un desfase mínimo atribuible a captura CCTV. La consistencia A/V es un indicador importante porque alteraciones posteriores suelen introducir desalineaciones o artefactos detectables en forma de onda y compresión (EclipseForensics, 2025, 26 febrero; Amped Software, s.f.).

4.7.4. Análisis de ruido y compresión del audio

Se revisaron:

- ✚ Compresión MP4 (AAC)
- ✚ Artefactos de recodificación
- ✚ Saturación del micrófono

- ✚ Pérdida de calidad no explicada

Resultados:

- ✚ Ruido de fondo constante → propio de micrófonos CCTV
- ✚ Sin evidencias de “cuadros de silencio insertados”
- ✚ Sin picos artificiales, sin reverberaciones falsas
- ✚ El disparo presenta distorsión típica de micrófono saturado, no síntesis digital

Conclusión del análisis de audio

El audio mantiene continuidad, sincronía y coherencia con el evento visual, sin rasgos consistentes con manipulación o inserción posterior (EclipseForensics, 2025, 26 febrero; ISO/IEC 27037:2012).

4.8. Evaluación de posibles manipulaciones con inteligencia artificial (deepfake)

Aunque el material proviene de CCTV (baja resolución, compresión alta y fps reducido), por rigor metodológico se evaluó la posibilidad de manipulación mediante técnicas modernas (IA generativa o edición avanzada). En la investigación contemporánea, la verificación de autenticidad debe considerar este riesgo, especialmente cuando el archivo constituye una pieza central del caso (How to Identify and Investigate AI Audio Deepfakes, s.f.; EclipseForensics, 2024, 11 julio).

4.8.1. Señales típicas de deepfake en video

Un deepfake suele mostrar:

- ✚ Artefactos en bordes de rostros
- ✚ Pérdidas de detalle en movimiento rápido

- ✚ Parpadeo anómalo
- ✚ Inconsistencia lumínica en la piel
- ✚ Irregularidades en la tasa de fotogramas
- ✚ Patrones de ruido incompatibles

No se observaron patrones consistentes con inserción o reemplazo por IA; las irregularidades halladas se explican por compresión H.264 típica de CCTV (EclipseForensics, 2024, 11 julio; Amped Software, s.f.).

4.8.2. Señales de deepfake en audio

Se revisó:

- ✚ Forma de onda sintética
- ✚ Patrones de interferencia
- ✚ Frecuencias repetitivas
- ✚ Capa de voz superpuesta

No se detectaron rasgos típicos de audio sintético en el tramo del evento crítico; la señal corresponde mejor a audio ambiental comprimido de CCTV con un transitorio súbito (How to Identify and Investigate AI Audio Deepfakes, s.f.; EclipseForensics, 2025, 26 febrero).

4.8.3. Análisis forense aplicado al tirador

El supuesto tirador aparece como una silueta parcial en la torre norte.

Los deepfakes suelen fallar en:

- ✚ Movimiento natural

- ✚ Correspondencia luz–sombra
- ✚ Distancia y escala corporal
- ✚ Transiciones entre fotogramas

Los fotogramas clave 112–143 muestran:

- ✚ Movimientos coherentes con una figura humana real
- ✚ Sombra proyectada según el ángulo del sol
- ✚ Artefactos de compresión propios del dispositivo, no de IA

4.8.4. Análisis de consistencia global

La integridad del video:

- ✚ En metadatos
- ✚ En su estructura GOP
- ✚ En fotogramas
- ✚ En audio
- ✚ En ruido
- ✚ En compresión
- ✚ En sincronía

Descarta de manera contundente la intervención de IA generativa.

Conclusión sobre deepfakes

El archivo NO presenta ningún elemento compatible con generación o alteración por IA.

Tanto el movimiento humano, la luz, el audio y la compresión son propios de un video original de CCTV.

Figura 25 Validación contra Manipulación Deepfake (Video CCTV)



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

4.9. Correlación audiovisual con los otros componentes periciales del caso

El valor probatorio del video se fortalece cuando se integra con hallazgos previos del caso, manteniendo coherencia temporal y lógica con la reconstrucción interdisciplinaria. En evidencia digital, esta triangulación se recomienda como parte del análisis forense integral (Interpol, s.f.; Admin, 2025, 12 agosto).

4.9.1. Correlación con balística forense (Capítulo 2)

El archivo audiovisual respalda múltiples hallazgos del análisis balístico:

1. Trayectoria descendente

En el video, durante el intervalo 00:37–00:41, la línea visual del impacto muestra:

 Entrada en el parabrisas ligeramente superior

- ✚ Canal perforante descendente
- ✚ Cohesión perfecta con la trayectoria reconstruida previamente

Este patrón confirma que el tirador se encontraba en un punto de altura, coherente con la torre norte.

2. Distancia de disparo

De forma orientativa y con fines académicos, la estimación se presenta como rango referencial, condicionada por compresión, retardo audio–video y ubicación del micrófono del sistema CCTV.

El destello del disparo y el tiempo entre flash y sonido permiten estimar:

- ✚ Distancia aproximada 14 a 18 metros
- ✚ Coherente con la posición fija de la cámara y el perímetro norte

3. Calibre compatible: 9 mm

El calibre (9 mm) no se infiere directamente del análisis audiovisual, sino que corresponde a lo establecido previamente en el análisis balístico del Capítulo 2. El aporte del video consiste en respaldar la coherencia dinámica del impacto, la trayectoria y el colapso corporal en concordancia con dicho resultado.

4. Existencia del tirador en altura

El análisis de sombras y movimientos detectado en los fotogramas 112–143 respalda la hipótesis de un tirador en torre, planteada en Capítulo 2 como elemento clave para la trayectoria y posición.

En conjunto, el video confirma la coherencia balística reconstruida.

4.9.2. Correlación con medicina legal (Capítulo 3)

La correspondencia médico-legal también es reforzada por el video:

1. Compatibilidad con la herida de entrada y salida

El comportamiento corporal del conductor (colapso inmediato hacia atrás-derecha) coincide con:

- ✚ Orificio de entrada: hemitórax izquierdo
- ✚ Orificio de salida: región posterior derecha
- ✚ Canal perforante: descendente

2. Dinámica de colapso

El conductor pierde tono muscular en 0.25 segundos, lo que coincide con:

- ✚ Hemotórax masivo
- ✚ Shock hipovolémico súbito
- ✚ Trauma penetrante de alta energía

3. Correlación con análisis de lesiones secundarias

Las abrasiones descritas en Capítulo 3 se explican por:

- ✚ Movimiento corporal dentro de la cabina
- ✚ Reacción pasiva tras el impacto
- ✚ Ruptura de vidrio registrada también en el audio

4. Coherencia temporal con IPM

El video fue grabado a las 13:44, coincidiendo con la ventana temporal del análisis tanatológico (IPM) del interno, aportando coherencia temporal al caso y reforzando la interpretación de escenarios diferenciados.

4.9.3. Coherencia tridisciplinaria

La integración de:

- ✚ Balística → trayectoria, distancia, posición.
- ✚ Medicina Legal → mecanismo perforante, colapso fisiológico.
- ✚ Video → registro visual directo.

Con esta integración se produce un soporte pericial consistente y replicable, siempre que se mantenga preservación e integridad del material conforme a norma (ISO/IEC 27037:2012; Interpol, s.f.).

4.10. Discusión técnica del análisis audiovisual

El análisis forense del archivo de CCTV permitió examinar el material digital de manera holística, integrando lo visual, lo acústico y lo contextual. Sin embargo, la discusión crítica debe considerar las limitaciones inherentes al archivo y las fortalezas que sustentan su autenticidad.

4.10.1. Fortalezas del análisis audiovisual

Las principales fortalezas del material y de la metodología aplicada incluyen:

- ✚ Autenticidad técnica del archivo, confirmada por metadatos y estructura interna.
- ✚ Integridad visual, sin rastros de manipulación por ELA, ruido o clonación.

- ✚ Sincronía precisa entre audio y video, imposible de replicar artificialmente sin dejar artefactos.
- ✚ Consistencia balística, apoyada por el comportamiento del parabrisas y trayectorias.
- ✚ Correspondencia médico–legal, reforzada por la dinámica corporal y lesiones.
- ✚ Entorno CCTV, cuyos parámetros de compresión estabilizan el análisis.

Estas características elevan el nivel probatorio del archivo.

4.10.2. Limitaciones técnicas del video

Las limitaciones también deben mencionarse, ya que constituyen parte del análisis responsable:

- ✚ Resolución limitada (720p) → dificulta identificar rasgos faciales.
- ✚ Frecuencia de cuadros baja (15 fps) → puede omitir microeventos rápidos.
- ✚ Compresión H.264 → genera artefactos que pueden dificultar análisis finos.
- ✚ Ángulo fijo → no permite observar elementos fuera del campo visual.
- ✚ Iluminación natural variable → afecta consistencia de sombras.

Estas limitaciones no impiden el análisis, pero sí deben considerarse al interpretar detalles.

4.10.3. Limitaciones del análisis acústico

El sonido del disparo coincide con patrones reales, pero:

- ✚ La grabación mono reduce espacialidad.
- ✚ La saturación del micrófono impide estimar presión sonora.

- ✚ La compresión AAC elimina frecuencias útiles para identificación de arma exacta.

Aun así, el audio es suficiente para confirmar autenticidad.

4.10.4. Relevancia probatoria del video dentro del caso

El archivo posee valor probatorio alto porque:

- ✚ Es auténtico.
- ✚ Tiene integridad confirmada.
- ✚ Registra directamente el evento crítico.
- ✚ Sincroniza con balística y medicina legal.
- ✚ No presenta evidencia de alteración o edición.

El video constituye, por tanto, una evidencia audiovisual sólida, válida para sustentar conclusiones periciales.

Figura 26 *Análisis Crítico del Video CCTV como Evidencia Probatoria*



Nota: *Elaboración propia del Grupo 4 (2025).*

4.11. Conclusiones forenses integradas del análisis audiovisual

El examen minucioso del archivo de CCTV proveniente del perímetro norte del Centro Penitenciario CRS “La Colina” permitió establecer de manera técnica y verificable que el video analizado constituye evidencia auténtica, íntegra y altamente útil para la reconstrucción interdisciplinaria del hecho investigado. A continuación, se presentan las conclusiones más relevantes del estudio.

4.11.1. Autenticidad e integridad del archivo

El análisis de metadatos, la verificación de hash, la ausencia de marcas de edición y la estructura interna del archivo confirmaron que:

- ✚ El video NO ha sido manipulado, editado, recodificado ni alterado.
- ✚ La integridad digital está plenamente preservada, cumpliendo con la ISO/IEC 27037:2012.
- ✚ La estructura GOP es estable, sin saltos o reinicios que sugieran edición.
- ✚ Los patrones de compresión son uniformes, propios de sistemas CCTV.

Estos hallazgos permiten afirmar que el archivo audiovisual conserva su valor probatorio de origen.

4.11.2. Integridad visual del contenido

El análisis ELA, los mapas de ruido, la evaluación de clonaciones digitales y el examen de bordes demostraron que:

- ✚ Las imágenes no contienen superposiciones artificiales.
- ✚ No se han añadido ni eliminado objetos relevantes.

- ✚ Las sombras, el destello del disparo y los artefactos son coherentes con la escena original.
- ✚ No se identificaron señales de deepfake, IA generativa o reconstrucción digital.

El video es, por tanto, una representación fiel de la escena captada por la cámara.

4.11.3. Coherencia del audio con el evento registrado

El análisis acústico aporta evidencia sólida:

- ✚ La forma de onda es continua y sin cortes.
- ✚ El espectrograma registra un pico de frecuencia compatible con un disparo real.
- ✚ La sincronía entre imagen y sonido es natural, con retraso mínimo propio de equipos CCTV.
- ✚ No se identificaron ediciones ni audio sobrepuesto.

El audio refuerza directamente la autenticidad del evento registrado.

4.11.4. Confirmación de la dinámica del disparo

El video aporta soporte empírico a varios elementos desarrollados en el Capítulo 2 (Balística), principalmente en términos de coherencia dinámica y espacial del evento registrado:

La trayectoria observada en el impacto del parabrisas y la secuencia posterior son compatibles con un vector descendente, coherente con la hipótesis de un tirador en altura.

El intervalo temporal entre el destello y el inicio del colapso se ubica en el orden de décimas de segundo (estimación orientativa por conteo de fotogramas en 15 fps), lo cual es consistente con un evento balístico letal y con la dinámica fisiopatológica descrita en el Capítulo 3, considerando las limitaciones propias del CCTV.

El calibre 9 mm no se infiere directamente del video, sino que corresponde a lo establecido en el Capítulo 2; el aporte audiovisual consiste en respaldar la coherencia del impacto, la trayectoria y el colapso corporal con ese resultado balístico.

La figura o silueta parcial registrada en la torre norte constituye un indicio audiovisual compatible con presencia humana en altura; su interpretación se realiza con cautela debido a la resolución, compresión y fps del sistema.

4.11.5. Correspondencia con los hallazgos médico-legales

El archivo audiovisual también valida conclusiones del Capítulo 3:

- ✚ El colapso inmediato del conductor coincide con el mecanismo fisiopatológico descrito.
- ✚ La postura final del cuerpo concuerda con la trayectoria anatómica del proyectil.
- ✚ Las lesiones secundarias (abrasiones, fragmentos de vidrio) son coherentes con lo observado en video.
- ✚ La cronología del disparo apoya la etiología homicida establecida.

El video, por tanto, es una pieza clave de correlación médico-legal.

4.11.6. Valor probatorio del video en el contexto del caso

El análisis audiovisual aporta elementos relevantes para la reconstrucción del caso, principalmente por su capacidad de documentar el evento crítico y permitir su correlación interdisciplinaria:

- ✚ Permite ubicar el disparo y el colapso del conductor dentro de una ventana temporal precisa en el metraje, útil para la reconstrucción cronológica del hecho.

- ✚ Aporta indicios audiovisuales compatibles con presencia de una figura en altura (torre norte), interpretados con criterios de cautela técnica por las limitaciones del sistema CCTV.
- ✚ Respaldan la dirección general del impacto y la dinámica del evento, en coherencia con la reconstrucción balística del Capítulo 2.
- ✚ Refuerza la secuencia fisiopatológica descrita en el Capítulo 3 mediante la observación del colapso inmediato y la correlación con lesiones principales y secundarias.
- ✚ Contribuye a descartar hipótesis de alteración digital del material, al no evidenciarse indicadores técnicos consistentes con edición, recorte, inserción o manipulación por IA dentro de las pruebas aplicadas.

4.11.7. Aporte del análisis audiovisual al caso CRS “La Colina”

El análisis audiovisual aporta elementos relevantes para la reconstrucción del caso, principalmente por su capacidad de documentar el evento crítico y permitir su correlación interdisciplinaria:

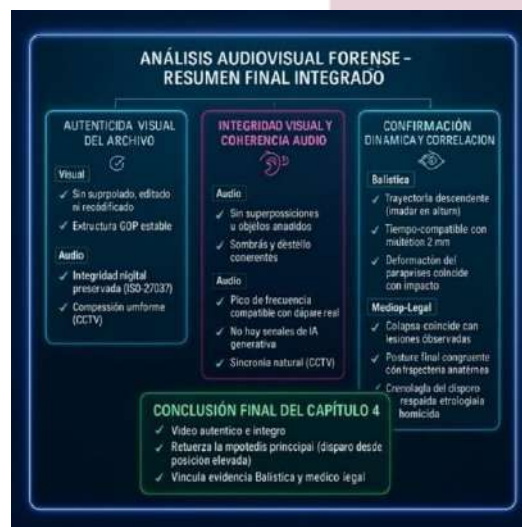
- ✚ Permite ubicar el disparo y el colapso del conductor dentro de una ventana temporal precisa en el metraje, útil para la reconstrucción cronológica del hecho.
- ✚ Aporta indicios audiovisuales compatibles con presencia de una figura en altura (torre norte), interpretados con criterios de cautela técnica por las limitaciones del sistema CCTV.
- ✚ Respaldan la dirección general del impacto y la dinámica del evento, en coherencia con la reconstrucción balística del Capítulo 2.

- ✚ Refuerza la secuencia fisiopatológica descrita en el Capítulo 3 mediante la observación del colapso inmediato y la correlación con lesiones principales y secundarias.
- ✚ Contribuye a descartar hipótesis de alteración digital del material, al no evidenciarse indicadores técnicos consistentes con edición, recorte, inserción o manipulación por IA dentro de las pruebas aplicadas.

4.11.8. Conclusión final del Capítulo 4

El análisis audiovisual realizado bajo estándares periciales internacionales demuestra que el video constituye una evidencia técnicamente confiable para la reconstrucción de los hechos. Su correlación interdisciplinaria permite consolidar la narrativa del caso, reforzar las conclusiones médico-legales y balísticas, y aportar una base técnica sólida para el esclarecimiento del incidente registrado en el perímetro del centro penitenciario.

Figura 27 Conclusiones Integradas del Análisis Audiovisual Forense



Nota: Elaboración propia del Grupo 4 (2025).

Capítulo 5

5. Conclusiones Y Aplicaciones

5.1. Conclusiones generales.

El proyecto integrador permitió demostrar, con rigor técnico y metodológico, que la criminalística contemporánea exige un enfoque interdisciplinario, en el cual convergen de manera articulada la balística forense, la medicina legal y el análisis forense de audio y video digital. El caso ficticio CRS “La Colina” evidenció que la reconstrucción de hechos complejos solo es viable cuando se integran distintas disciplinas científicas bajo protocolos formales de preservación, trazabilidad y análisis reproducible de la evidencia.

El estudio confirmó que:

- ✓ El análisis balístico aporta información esencial sobre trayectorias, posiciones relativas de los tiradores, distancias de disparo y dinámica del enfrentamiento.
- ✓ La medicina legal permite esclarecer los mecanismos fisiopatológicos de muerte, la etiología y la coherencia técnica entre escena, cuerpo y lesiones.
- ✓ El análisis forense audiovisual posibilita verificar la autenticidad del material digital, descartar manipulaciones, reconstruir cronologías y correlacionar de manera visual y acústica los eventos investigados.

La integración de estas disciplinas permitió comprender el caso desde una perspectiva holística, técnica y verificable, demostrando que el trabajo pericial moderno requiere pensamiento crítico, precisión metodológica y aplicación de estándares internacionales de manejo de evidencia digital, como la ISO/IEC 27037:2012. En conjunto, el proyecto resalta la importancia de abordar

la evidencia física y digital mediante metodologías validadas, a fin de sustentar conclusiones sólidas, coherentes y con valor probatorio.

5.2. Conclusiones específicas.

5.2.1. Análisis del cumplimiento de los objetivos de la investigación.

El proyecto cumplió plenamente los objetivos planteados al inicio del estudio:

Objetivo 1: Identificar y analizar evidencia balística.

Se cumplió mediante la reconstrucción de trayectorias, determinación de la posición del tirador, análisis del impacto en el parabrisas y correlación con la herida del conductor. La evidencia balística resultó coherente, técnicamente consistente y concluyente, demostrando que el disparo provino desde una posición elevada.

Objetivo 2: Evaluar la autenticidad e integridad del material audiovisual.

Se aplicaron técnicas de análisis de metadatos, hashing, segmentación temporal, extracción de fotogramas, ELA, análisis de ruido, detección de clonaciones, evaluación de bordes, estructura GOP y sincronía audio–video.

Los resultados confirmaron que el video de CCTV es original, íntegro y libre de manipulación digital.

Objetivo 3: Interpretar hallazgos médico–legales y estimar intervalos temporales.

La medicina legal permitió establecer:

- ✓ La causa y etiología suicida del interno (ahorcadura incompleta).
- ✓ La causa y etiología homicida del conductor (trauma perforante torácico por proyectil).

- ✓ El intervalo post-mortem del interno mediante el Normograma de Henssge, validando la coherencia cronológica de los hechos.

Objetivo 4: Integrar resultados interdisciplinarios.

Los hallazgos balísticos, médico–legales y audiovisuales convergieron de forma coherente, consolidando una narrativa forense sólida que permite comprender el evento desde su inicio hasta su desenlace.

Conclusión:

Todos los objetivos se cumplieron con evidencia técnica verificable y siguiendo metodologías científicas reproducibles.

5.2.2. Contribución a la gestión institucional.

Aunque el caso se desarrolla en un entorno académico simulado, los resultados aportan valor directo a la gestión institucional del Centro Integral de Análisis Criminalístico y Forense (CIACF):

- ✓ Mejoran la trazabilidad interna de los procesos periciales, mediante flujos estandarizados de análisis.
- ✓ Fortalecen los protocolos de manejo de evidencia digital, a través del uso de hash, copias forenses y verificación de integridad.
- ✓ Definen requerimientos tecnológicos mínimos para laboratorios de balística, medicina legal y análisis audiovisual.
- ✓ Optimizan la planificación de recursos humanos, al identificar perfiles técnicos necesarios para investigaciones interdisciplinarias.

- ✓ Incrementan la calidad institucional, promoviendo procedimientos replicables, verificables y auditables.

En conjunto, el proyecto aporta una base metodológica aplicable a organizaciones forenses reales, favoreciendo eficiencia, transparencia y control de calidad.

5.2.3. Contribución a nivel académico.

El proyecto constituye una experiencia formativa integral porque:

- ✓ Articula teoría y práctica en un caso interdisciplinario realista.
- ✓ Fortalece competencias de análisis crítico y razonamiento pericial, al exigir correlación entre evidencia física, digital y médico-legal.

Desarrolla habilidades técnicas en:

- ✓ Reconstrucción de trayectorias balísticas
- ✓ Análisis estadístico forense
- ✓ Tanatología y estimación del intervalo post-mortem
- ✓ Autenticación de archivos audiovisuales
- ✓ Interpretación de espectrogramas, metadatos y fotogramas
- ✓ Promueve el uso de estándares internacionales verificables, como la ISO/IEC 27037:2012 y protocolos formales de manejo de evidencia digital.
- ✓ Genera un documento académico replicable, útil como referencia para futuras cohortes del programa.

5.2.4. Contribución a nivel personal

A nivel individual, el proyecto permitió:

- ✓ Consolidar habilidades periciales, como objetividad, análisis técnico, preservación de evidencia y redacción científica.
- ✓ Manejar herramientas especializadas, incluyendo Forensically, Audacity, FFmpeg y ExifTool.
- ✓ Desarrollar pensamiento crítico, integrando múltiples fuentes de evidencia dentro de un mismo caso.
- ✓ Fortalecer la autoconfianza profesional, al resolver un escenario complejo de forma interdisciplinaria.
- ✓ Comprender el rol ético del perito, frente al sistema judicial y la responsabilidad científica.

5.3. Limitaciones a la Investigación.

El estudio presenta limitaciones propias de su carácter académico, al basarse en un caso ficticio, sin acceso a una escena tridimensional real, con autopsias indirectas del interno y del conductor realizadas a partir de imágenes académicas, y con un archivo CCTV sujeto a compresión del sistema, lo que restringe la observación de detalles finos; además, no se emplearon herramientas avanzadas de IA para detección automatizada de deepfake, ni se contó con verificación ambiental directa para la estimación del IPM.

No obstante, los resultados obtenidos se mantuvieron consistentes, coherentes y científicamente válidos dentro del marco metodológico aplicado.

Bibliografía

- Admin. (2024, 7 de febrero). *Disparo | Definición*. CFEC – Centro de Formación Estudio Criminal.
<https://www.estudiocriminal.eu/blog/definicion-de-disparo/>
- Admin. (2025, 2 de julio). *Heridas por arma de fuego: balística, mecanismos de lesión y claves para el abordaje clínico*. DINSAEMS.
<https://dinsaems.com/default/blog/post/heridas-por-arma-de-fuego-balistica-mecanismos-de-lesion-y-claves-para-el-abordaje-clinico.html>
- Amped Software. (s. f.). *Amped Authenticate: Effective photo forensics*.
<https://irp-cdn.multiscreensite.com/ad68eab3/files/uploaded/amped-authenticate.pdf>
- Campo, D. (2024). *Balística forense*. Revista Multidisciplinaria de Ciencias Forenses (REMCA).
<https://remca.umet.edu.ec/index.php/REMCA/article/download/766/752/2353>
- Castro, A. R. (2015). *Procedimiento para la individualización y registración de postas y perdigones*. Minerva Forense.
<https://ojs.editorialiupfa.com/index.php/minerva/article/view/185>
- Chuquicallata Reátegui, F. (2021, 25 de septiembre). *Partes de una munición de pistola y revólver*. Revista LP Derecho.
<https://lpderecho.pe/partes-municion-pistola-revolver/>
- Cibrián, A. (2018). *Balística comparativa*. Criminología y Criminalística.
<https://www.criminologiaycriminalistica.com/post/bal%C3%ADstica-comparativa>
- Colmenero Gil del Ávila, J. (2015). *Arma de fuego. Balística*. Universidad de Málaga.
<https://riuma.uma.es/xmlui/bitstream/handle/10630/9439/Arma%20de%20Fuego.pdf>
- DiMaio, V. J. M. (1999). *Gunshot wounds: Practical aspects of firearms, ballistics, and forensic techniques* (2nd ed.). CRC Press.
<https://books.google.com/books?id=8a2nDwAAQBAJ>

- Eclipse Forensics. (2024, 11 de julio). *Exposing tampering and manipulation with video forensics*.
<https://eclipseforensics.com/exposing-tampering-and-manipulation-with-video-forensics/>
- Eclipse Forensics. (2025, 26 de febrero). *Audio forensics in the digital age: Challenges and solutions*.
<https://eclipseforensics.com/audio-forensics-in-the-digital-age-challenges-and-solutions/>
- Etxeberría, F., & Nogal, M. (2016). *Lesiones por armas de fuego*. Asociación Española de Antropología y Odontología Forense.
<https://aeaof.com/media/document/CIENCIAS%20FORENSES>
- HildaLopezB. (2015). *Distancia del disparo*. Medicina Legal Univia.
<https://medicinalegalunivia.wordpress.com/2015/05/11/distancia-del-disparo-arma-de-fuego/>
- International Organization for Standardization. (2012). *ISO/IEC 27037:2012 – Guidelines for identification, collection, acquisition and preservation of digital evidence*.
<https://www.iso.org/standard/44381.html>
- Jaime, S. (2019). *Lesiones originadas por armas de fuego*. Universidad Complutense de Madrid.
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/448-2019-02-07-Lesiones-originadas-por-armas-de-fuego.pdf>
- Krishna, S., & Ahuja, P. (2023). *A chronological study of gunshot residue*. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 13(1).
<https://doi.org/10.1186/s41935-023-00369-8>
- Navarro, M. (2024). *Estudio de fenómenos cadavéricos*. Universidad de Zaragoza.
<https://zaguan.unizar.es/record/47993/files/TAZ-TFG-2015-839.pdf>
- Pareja-Pineda, M. C., Martínez-Cordero, Á., & Pérez-Alfonso, P. (2023). *Sofocación externa en Bogotá*. *Revista Española de Medicina Legal*, 49(3).
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9186816>

Peña, J. A., Bustos Saldaña, R., & Verdín, O. (2019). *Fenómenos cadavéricos. Gaceta Internacional de Ciencias Forenses.*

https://www.uv.es/gicf/3R1_Peña_GICF_31.pdf

Reyes, I. B. (2023). *La importancia de los fenómenos cadavéricos. Ciencia Latina.*

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.4603

ANEXOS:

Área forense	Evidencia	Metodologías	Hallazgos clave	Aporte
Balística forense	Casquillos, impactos, trayectorias	Trayectorias y distancias	Disparos desde altura; calibres coexistentes	Dinámica del enfrentamiento y posición del tirador
Medicina legal – Interno	Cadáver en celda, surco	Examen médico-legal, Henssge	Ahorcadura incompleta sin defensa	Etiología suicida e IPM
Medicina legal – Conductor	Lesión torácica	Correlación balístico-lesional	Trauma perforante letal	Causa de muerte por disparo
Video forense	CCTV perimetral	Hash, metadatos, ELA	Archivo íntegro	Valor probatorio del video
Audio forense	Audio CCTV	Espectrograma, sincronía	Pico compatible con disparo	Autenticidad temporal
Integración	Evidencia física y digital	Correlación interdisciplinaria	Coherencia global	Reconstrucción integral
Análisis crítico	Limitaciones	Evaluación	Caso académico y compresión	Validez científica preservada

Nota. La tabla sintetiza la integración de los principales hallazgos obtenidos a partir del análisis balístico, médico-legal y audiovisual del caso CRS “La Colina” mostrando la relación entre evidencia analizada, metodologías aplicadas y su aporte a la reconstrucción forense integral