

Dictamen Pericial solicitado al CONICET sobre “Estudio digital comparativo de imágenes de material en fotografías analógicas y video.

Juzgado Federal de Primera Instancia en lo Criminal y Correccional N°2, Unidad de Derechos Humanos y Causas Complejas.

Juicio Expte. FRO 7600000/2011

ANEXO AL ACTA CORRESPONDIENTE A LA REUNIÓN CÓNCLAVE DE PERITOS REALIZADA EN LA SEDE DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN LUZ, AMBIENTE Y VISIÓN (UNT-CONICET), EN LA CIUDAD DE SAN MIGUEL DE TUCUMAN EL 18 DE SEPTIEMBRE DE 2014.

INFORME COMPLETO

En la reunión realizada con la presencia de los peritos oficiales, Dra. Elisa Margarita Colombo y el Dr. José Fernando Barraza, y los peritos de la querrela, Lic. Enrique Eduardo José Prueger y el Lic. Roberto Jorge Locles, los peritos oficiales expusieron el siguiente informe detallado de la investigación realizada por ellos, con desarrollos y fundamentos, que en la reunión cónclave acordaron se adjuntaría al Acta.

I.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES REALIZADO

1) REGISTRO DE UNA IMAGEN CON CÁMARA FOTOGRÁFICA ANALÓGICA

La cámara fotográfica analógica es un dispositivo que consta, principalmente, de una cámara oscura, un sistema óptico formador de imagen y una película fotosensible con resolución espacial. La luz que ilumina el objeto a fotografiar se refleja en éste e ingresa a la cámara para estimular la película fotosensible. Gracias al sistema formador de imagen, la luz proveniente de cada punto del objeto a fotografiar converge en puntos correspondientes en la película. El resultado que se obtiene en el papel fotográfico y que podemos visualizar iluminando la fotografía depende de una serie de factores a saber:

1. La reflectancia espectral de las superficies a fotografiar (ρ_o)
2. La irradiancia espectral de la radiación con que se ilumina el objeto a fotografiar (I_L).

Estos dos factores intervienen de tal manera que la irradiancia I , que es la energía electromagnética que llega a la película luego de ser reflejada por el objeto, puede expresarse en función de los mismos de la siguiente manera:

$$I(\lambda) = k' * I_L(\lambda) * \rho_o(\lambda) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde la letra griega λ representa la longitud de onda de la radiación y k es una constante.

3. La configuración óptica de la cámara. Esto involucra la apertura del diafragma y el tiempo de exposición. Estos factores modifican el resultado final de la fotografía en cuanto el diafragma regula la entrada de luz a la cámara, es decir, la irradiancia I . Por su parte, el tiempo de exposición determina el tiempo durante el cual la película fotosensible absorberá luz.

- La función de respuesta y sensibilidad del conjunto película-papel fotográfico (F_p). Esta función conforma la última etapa del proceso y determina el resultado final que es la fotografía copiada en un papel (fotográfico). Para poder visualizar esta fotografía es necesario iluminarla, por lo que es apropiado caracterizar a la fotografía con su reflectancia espectral (ρ_p). Este parámetro físico puede utilizarse para expresar lo que se percibe de la misma, y puede enunciarse como:

$$\rho_p(\lambda) = k' * I(\lambda) * F_p(\lambda) \quad \text{Ecuación 2}$$

donde k' es una constante que considera la transmitancia de los medios transparentes de la cámara.

- La resolución espacial de la película. Las películas fotográficas poseen una determinada resolución espacial que está correlacionada a la sensibilidad de la misma, de tal manera que, a mayor sensibilidad menor tamaño del grano y mayor resolución.

Por lo visto, el resultado final del proceso fotográfico plasmado en un papel, depende de la iluminación (tipo, cantidad de luz), de la superficie a fotografiar, del tipo de película que se utilice, de la configuración de la cámara y de la posición relativa entre la cámara y el iluminante.

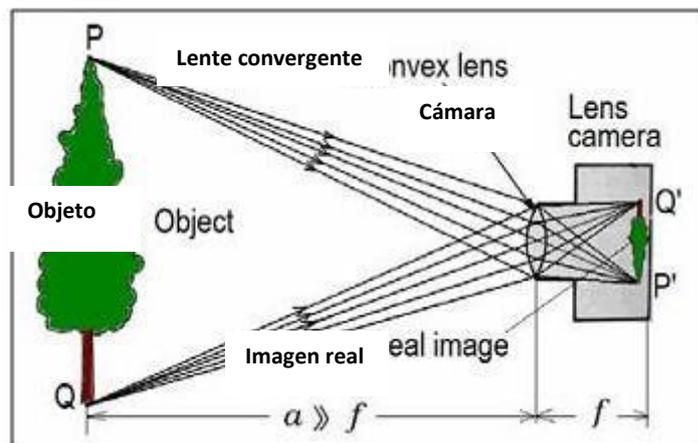


Figura 1

La figura 1 ilustra sobre el proceso de formación de imagen en una cámara fotográfica.

LA CONVERSIÓN ANALÓGICO-DIGITAL DE UNA FOTOGRAFÍA

La obtención de una imagen digital a partir de una fotografía en papel requiere de un proceso de discretización espacial y de intensidades. La digitalización de una fotografía se puede llevar a cabo utilizando un escáner o una cámara fotográfica digital. El resultado del proceso se almacena en forma matricial en un archivo informático y contiene toda la información acerca de la reflectancia y el color en cada punto de la fotografía. En el archivo digital, dicho punto se llama pixel.

Los escáneres están diseñados específicamente para este propósito. Su gran ventaja sobre la cámara fotográfica es que el proceso garantiza una iluminación estándar en cuanto a su composición espectral (aproximadamente blanca), con un alto grado de uniformidad en toda la fotografía a digitalizar. Algunos archivos de imagen, como el "tiff", representan el color utilizando las componentes RGB (rojo, verde y azul) y la intensidad con una cuarta

componente B. Por lo que se puede operar sobre cada canal de color y/o sobre la imagen en niveles de gris.

El valor de un determinado pixel es proporcional a la irradiancia del sistema de iluminación, la reflectancia del punto correspondiente en la fotografía y la respuesta de cada uno de los canales del escáner. Así, por ejemplo, la componente R (rojo) de un pixel vendrá dada por:

$$R = k * I_s(\lambda) * \rho_p(\lambda) * F_R(\lambda) \quad \text{Ecuación 3}$$

La resolución espacial de la imagen viene dada por la discretización espacial. Esto significa que la imagen analógica es dividida en una cuadrícula en la cual cada celda corresponde a un pixel. Cuánto más alta es la resolución, más pequeños son cada uno de los pixeles, por lo tanto, la cuadrícula tiene mayor cantidad de celdas. Esto significa que aumentando la resolución, se puede registrar detalles más pequeños en la imagen. Esta resolución se configura en el programa del escáner de acuerdo a las necesidades. Sin embargo, la máxima resolución la determina un límite impuesto por el ruido en la imagen original. Esto significa que, más allá de ese límite, el aumento de la resolución, no resulta en un incremento en la información registrada.

Es importante destacar que, una vez digitalizada, resulta muy sencillo manipular una imagen modificando los valores de la matriz. Esta operación puede llevarse a cabo de múltiples maneras, inclusive utilizando herramientas informáticas muy sencillas como, por ejemplo, el PAINT, que es un editor de imágenes disponible en todas las computadoras con sistema operativo Windows.

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES

En esta sección explicaremos los fundamentos teóricos de las operaciones que se llevaron a cabo en las imágenes sometidas a peritaje, con el objeto de extraer información relevante según los objetivos de la investigación.

Se asume que el proceso de digitalización no suma ruido ni alteraciones extras a las que presentan previamente las imágenes analógicas.

Degradación en la imagen analógica. El desenfoque.

Como se explicó antes, el registro fotográfico de una imagen depende de una serie de factores físicos donde intervienen la iluminación, el sistema óptico de la cámara fotográfica y la película fotosensible. Para lograr una fotografía que maximice el registro de información, es necesario que se asegure la correcta configuración de la cámara. Si la imagen no está en foco, es decir, que no está formada justo sobre la película, se perderá información, fundamentalmente, de los detalles pequeños (altas frecuencias espaciales) de la imagen. Esto se percibe como una pérdida de nitidez de la imagen. Pequeños desenfoques pueden resolverse digitalmente aplicándose filtros, que permiten obtener la imagen original (Im'), la que fue fotografiada. En primer lugar, se elige el método (filtro), luego debe modelarse la PSF (función de punto extendida) que, convolucionada con la imagen original Im' (sin desenfoque), da como resultado la imagen desenfocada (Im), la de la foto que se está analizando. Matemáticamente, la imagen Im , que se desea filtrar, puede ser expresada como:

$$Im = Im' \otimes PSF \quad \text{Ecuación 4}$$

donde el símbolo \otimes representa la operación de “Convulación”. Por lo tanto, para estimar la imagen Im' (en foco) debe realizarse la operación de “Deconvolución” de la imagen Im . En este trabajo, se utiliza el algoritmo del filtro de Wiener para llevar a cabo esta operación y se modela la PSF con una función Gaussiana. El resultado que se obtiene es una imagen más nítida.

Es importante destacar que estas operaciones operan solamente sobre la información presente en la imagen sin agregar información adicional. En particular, este proceso de filtrado, tiene el efecto de amplificación de las frecuencias espaciales altas.

El problema de los bajos contrastes

El contraste en una imagen viene dado por la diferencia relativa de intensidad que existe entre diferentes rasgos o puntos de la misma y puede definirse como:

$$C = \frac{\Delta I}{I} \quad \text{Ecuación 5}$$

El contraste es el parámetro de la imagen que determina la visibilidad de un rasgo u objeto. El sistema visual humano tiene una sensibilidad al contraste determinada por otros parámetros como la frecuencia espacial y la luminancia media. Así, aun habiendo diferencia de intensidad entre dos puntos, ésta podría no ser percibida por hallarse por debajo del umbral visual. En términos del contraste, una imagen puede ser caracterizada por su distribución de intensidades. Esta distribución muestra cuando una imagen posee bajos o altos contrastes. La figura 2 muestra dos imágenes y sus histogramas (Figuras 2 a y 2 b) . Se nota claramente que la imagen con alto contraste (Figura 2 b) tiene los niveles de intensidad distribuidos a lo largo del rango dinámico de la imagen, mientras que en la de bajo contraste las intensidades están concentradas en una porción del rango (Figura 2 a).



Imagen de bajo contraste

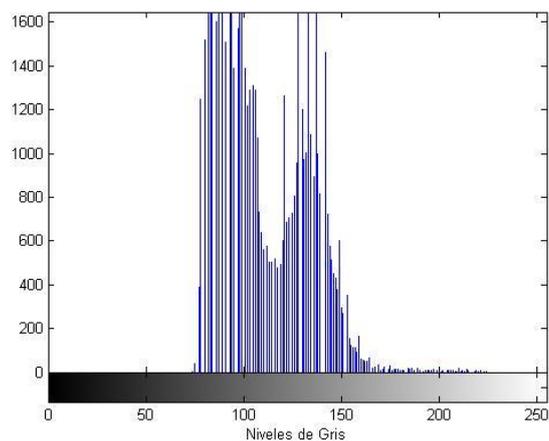


Figura 2 a



Imagen de alto contraste

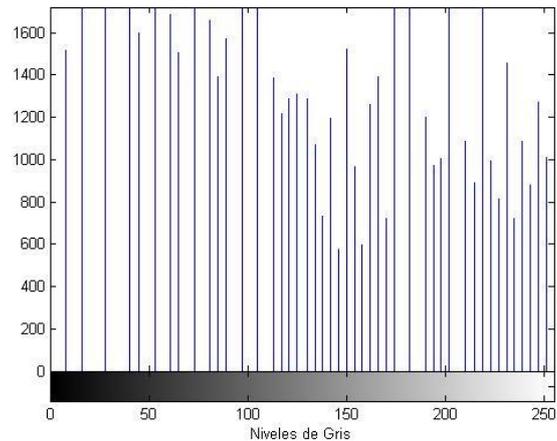


Figura 2 b

La principal herramienta computacional para modificar el contraste de una imagen es la Ecuación del Histograma de la imagen. La ecualización se lleva a cabo mediante la aplicación de una función de transformación sobre los niveles de grises de una imagen

$$s = T(r) \quad \text{Ecuación 6}$$

donde r representa los niveles de gris en la imagen a ser tratada y s los niveles de gris en la imagen ecualizada. Se asume que la función de transformación T satisface las siguientes dos condiciones:

- a) $T(r)$ es una función biunívoca y monótonamente creciente en el intervalo $0 \leq r \leq 1$; y
- b) $0 \leq T(r) \leq 1$ para $0 \leq r \leq 1$.

La condición (a) preserva el orden en la escala de grises, del negro al blanco, mientras que la condición (b) garantiza un mapeo consistente con el rango de valores de pixeles permitido.

La función de transformación, en su versión discreta, es

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=1}^k \frac{n_j}{n} \quad \text{Ecuación 7}$$

donde j indica un determinado nivel de gris en la imagen original y k el nivel de gris correspondiente en la imagen ecualizada.

Como puede deducirse de la ecuación 7, el resultado de esta operación será fuertemente dependiente de la imagen misma. Es decir, no se obtendrá, necesariamente, el mismo resultado en un determinado pixel, si se ecualiza la imagen completa o si solamente se aplica la operación a una porción de la imagen. En la figura 3 se muestra la imagen original, la ecualizada y una tercera imagen que muestra la ecualización llevada a cabo sobre una porción de la imagen original.



Figura 3

Segmentación de imágenes

El proceso de ver implica el registro y la interpretación de la escena visual con el fin de extraer la información necesaria para interactuar exitosamente con la misma. Este proceso comienza con el ingreso de la luz al ojo y la formación de la imagen de la escena en la retina. La retina posee células fotorreceptoras que permiten registrar los patrones luminosos y transmitirlos al cerebro para su procesamiento e interpretación. Una parte importante de este proceso es la segmentación de la imagen, que consiste en dividir la imagen en múltiples "segmentos" (conjunto de píxeles) que conforman unidades. En la visión humana, estas unidades son los diferentes objetos presentes en la escena. Claro está que para poder interpretar una imagen es necesario, antes, poder identificar cada elemento que compone la misma. En visión computacional y análisis de imagen, la segmentación es el proceso de asignar una etiqueta a todos los píxeles de una imagen tal que, todos aquellos píxeles con igual etiqueta comparten ciertas características. Así, dependiendo del objetivo del análisis, se pueden hacer definiciones sobre ciertos objetos y segmentarlos.

Extracción de bordes y textura utilizando filtros derivativos

En el proceso de segmentación, los bordes de los objetos juegan un rol fundamental debido a que los delimitan. En las imágenes, estos bordes se caracterizan porque, en su lugar, existe una alta probabilidad de una discontinuidad. Por lo tanto, la manera más eficiente de detectar un borde consiste en calcular las derivadas espaciales en la imagen. El método de diferenciación más usado en procesamiento de imágenes es el gradiente. Para una función bidimensional $f(x, y)$, el gradiente de f en las coordenadas (x, y) se define como el vector

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad \text{Ecuación 8}$$

En la detección de bordes, la magnitud y la dirección de este vector son estimadores fundamentales para evaluar la nitidez (máxima tasa de cambio del nivel de gris en la dirección del gradiente) y la orientación del borde respectivamente. La magnitud se expresa como

$$\nabla f = \text{mag}(\nabla f) = [G_x^2 + G_y^2]^{1/2} \cong |G_x| + |G_y| \quad \text{Ecuación 9}$$

y la dirección como

$$\alpha(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{G_x}{G_y} \right) \quad \text{Ecuación 10}$$

En la práctica, el método más utilizado para detectar discontinuidades es la aplicación de máscaras espaciales. Una máscara es una matriz cuadrada con impar número de elementos que contiene una serie de números ordenados de tal manera que al aplicarse sobre la imagen da como resultado un número que es proporcional a la discontinuidad en el píxel que está siendo ocupado por el centro de la máscara. Así el valor de un píxel al aplicarse la máscara de 3x3 será:

$$p_k = \sum_{i=1}^9 w_i z_{k,i} \quad \text{Ecuación 11}$$

donde $z_{k,i}$ es el nivel de gris correspondiente al elemento i de la máscara cuando el centro de la misma se encuentra sobre el píxel k de la imagen, y w_i es el i ésimo elemento de la máscara.

Binarización de la imagen de textura

El resultado del proceso descrito en la ecuación 11 es una imagen cuyos niveles de grises expresan las pendientes de las discontinuidades presentes en la imagen, de manera que cuanto mayor el nivel de gris más abrupta la discontinuidad. Con el fin de representar la textura de una imagen, se binariza la imagen obtenida aplicando un valor umbral de tal manera que, todo los píxeles con niveles de gris mayores que el umbral se representan con blanco (nivel de gris máximo) y los menores con negro. La figura que sigue muestra una imagen, sus contornos y su textura, extraída con un filtro Sobel con umbral 0,015.



EL SOFTWARE MATLAB (LABORATORIO DE MATRICES)

MatLab es un lenguaje de alto rendimiento para la informática técnica, que integra computación, visualización y programación. Se usa típicamente en:

- Matemática y computación.
- Algoritmos de desarrollo.
- Adquisición de datos.
- Modelado, simulación y creación de prototipos.
- Análisis de datos, exploración y visualización.
- Ciencia e ingeniería de gráficos.
- Desarrollo de aplicaciones, incluyendo la construcción gráfica de la interfaz de usuario.

MatLab es un sistema interactivo cuyo elemento básico de datos es una matriz que no requiere dimensionamiento. Esto le permite resolver problemas de computación técnica, especialmente aquellos con formulaciones matriciales y vectoriales, en una fracción del tiempo que se tardaría en escribir un programa en un lenguaje escalar tradicional.

MatLab dispone de un código básico y de varias librerías especializadas (toolboxes). Estas librerías son colecciones completas de las funciones de MatLab (M-files) que extienden el entorno MatLab para resolver determinadas clases de problemas. En este trabajo se utilizó específicamente la Librería para Procesamiento de Imágenes.

Una de las grandes ventajas de MatLab es que todas sus librerías son abiertas y editables. Esto brinda al usuario la posibilidad de verificar cada proceso que se lleva a cabo y, en caso de ser necesario, editar las funciones para adaptarlas a las necesidades particulares. Todos los procesos pueden ser repetidos si se llevan a cabo utilizando los mismos parámetros.

EL EFECTO TRAMPA DE LUZ

Cuando se ilumina un volumen que contiene un orificio pequeño en una de las superficies, este orificio se ve sumamente oscuro en comparación a la superficie que lo contiene. Este efecto se debe al hecho de que la pequeña cantidad de luz que ingresa por el orificio al volumen se refleja en forma difusa en la cara posterior del volumen y solamente una pequeñísima porción de la energía sale nuevamente en dirección al ojo. De esta manera, la luminancia del orificio resulta sumamente más pequeña que la de la superficie que la contiene.

Como se explicó antes, en el proceso fotográfico analógico, la información registrada en una toma está contenida en la reflectancia espectral del papel fotográfico. Esta reflectancia es proporcional a la luz reflejada por la superficie que está siendo fotografiada. Debido a que la película fotográfica posee un limitado rango dinámico de sensibilidad, la cámara debe configurarse para que la cantidad de luz que ingrese a la misma sea suficiente para excitar la película pero no más que la necesaria pues podría saturar (quemar) la película, perdiéndose detalles de la imagen.

De esta manera, cuando se toma una fotografía de una superficie que contiene un orificio, debido a que se configura la cámara de acuerdo a la luminancia de la superficie, la luminancia del orificio resulta, a veces, insuficiente para excitar la película, con lo cual se obtiene, allí, negro.

PROCESO DE DIGITALIZACIÓN

Las imágenes seleccionadas, que se presentan en este informe, fueron digitalizadas utilizando el escáner de una impresora multifunción marca EPSON, con una resolución de entre 800 y 1200 ppp (píxeles por pulgada), dependiendo del tamaño del área a escanear.

II.- RESULTADOS DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

A) ANÁLISIS DEL DETALLE ENCONTRADO EN LA FOTOGRAFÍA DE LA CARA EXTERNA DEL COBERTOR DEL HIDRÁULICO (FOTOGRAFÍA 523 CARPETA 6 DE GENDARMERÍA NACIONAL Y DE FOLIO 44 POSICIÓN 2 DE CARPETA NARANJA DE LA JIAAC)



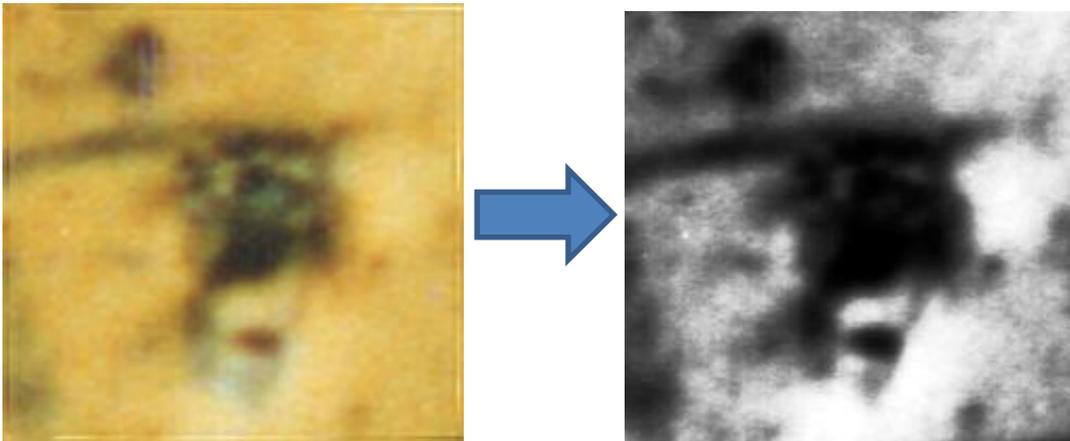
Fotografía

El detalle a analizar se encuentra en la cara externa del cobertor de la unidad hidráulica.

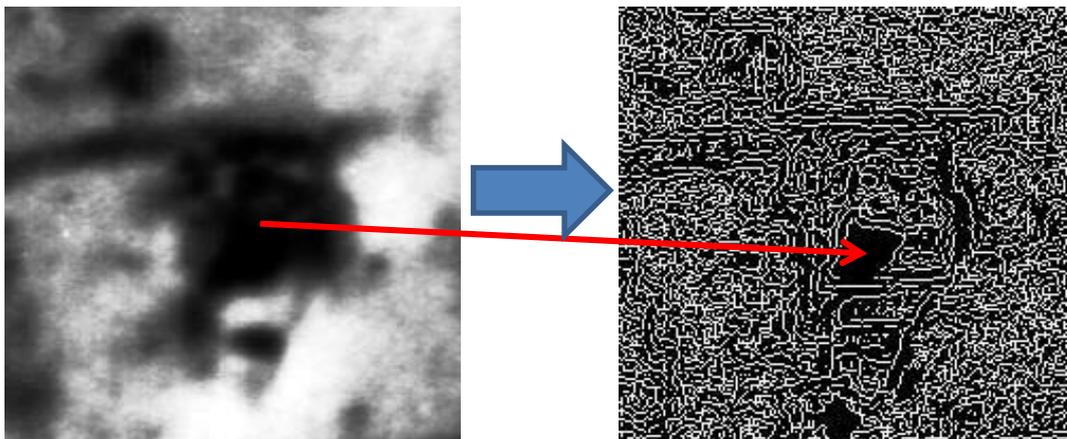


Ampliación zona detalle de la fotografía

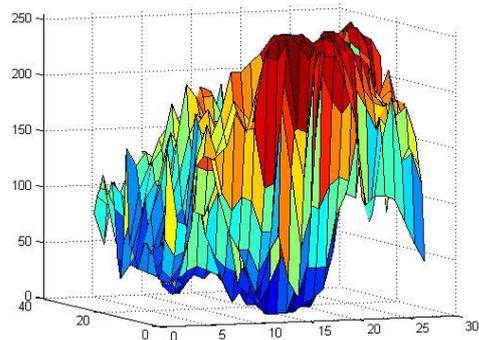
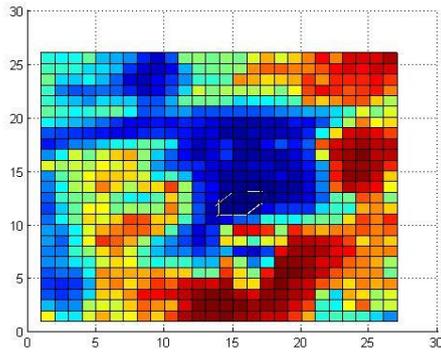
En primer lugar se realiza un acondicionamiento de la imagen utilizando un filtro de Wiener para resaltar los detalles más pequeños de la imagen. En segundo lugar se ecualiza el histograma de la imagen en blanco y negro para aumentar al máximo los contrastes en la zona del detalle a analizar. En tercer lugar se realiza una operación de extracción de las texturas mediante la aplicación de un filtro Sobel. Esta operación permite detectar las zonas de saturación caracterizadas por la invariancia de los niveles de gris. Finalmente se grafica la distribución de intensidades en la imagen (niveles de gris) en dos dimensiones (2D) y en tres dimensiones (3D).



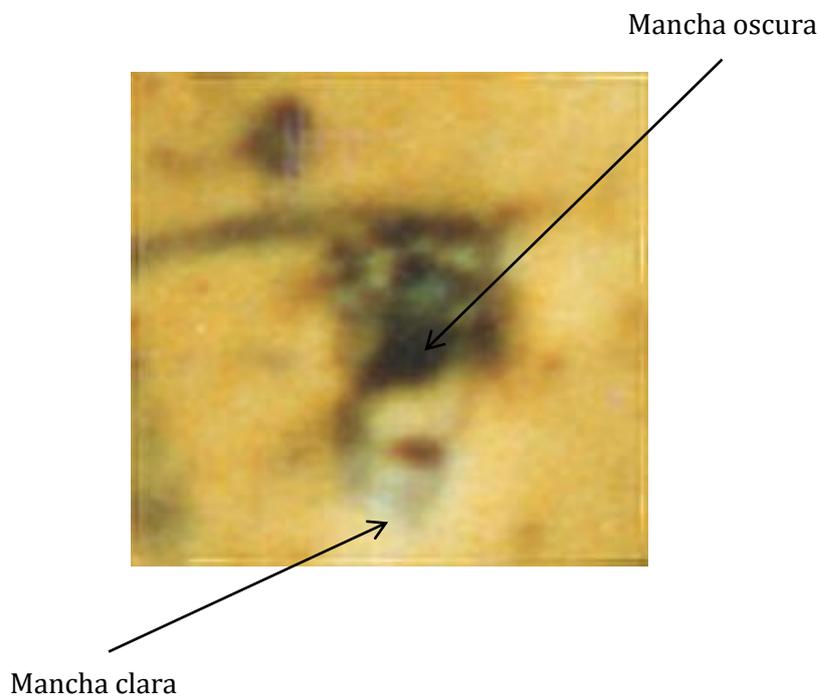
Detalle ampliado e imagen ecualizada de la fotografía



De la imagen ecualizada del detalle ampliada a la imagen con la extracción de textura con filtro Sobel (0.0085)



Representación 2D y 3D de la intensidad en la imagen ecualizada



El mapa de niveles de grises presenta una zona de ceros delimitada por bordes bien definidos tal como se muestra en la imagen de textura de la imagen ecualizada de la fotografía. Esto sugiere la posibilidad de la existencia de un orificio que desde la perspectiva de la cámara fotográfica se muestra irregular. Se observan múltiples alteraciones en la pintura de las zonas adyacentes a este detalle. Las ubicadas en la parte superior tienen el aspecto de manchas oscuras similares a las producidas por las altas temperaturas. Debajo del orificio se observa una zona con poco notables alteraciones en la pintura y, más abajo, se observa un detalle con apariencia de una superficie pulida, que podría tratarse de la chapa sin pintura. Esta mancha no presenta bordes ni rayas bien definidas.

Este punto en el Acta se sintetiza: “Según el tratamiento de imágenes realizado se trata de un orificio de forma irregular, que habría sido producido por el impacto de un objeto irregular tipo esquirla, descartándose que se trate de una bala (ver punto I del Acta). De acuerdo a las marcas que se visualizan en las adyacencias del orificio sería factible que el objeto se haya aproximado al punto de impacto desde abajo hacia arriba y de afuera hacia

adentro. Se destacan otras alteraciones adyacentes al orificio que no son consistentes con esta interpretación. Estas interpretaciones deben enmarcarse en la complejidad del proceso mecánico de la caída del helicóptero.”

B) ANÁLISIS DEL DETALLE ENCONTRADO EN LA FOTOGRAFÍA DE LA CARA INTERNA DEL COBERTOR DEL HIDRÁULICO (FOTOGRAFÍA 601 CARPETA 7 DE GENDARMERÍA NACIONAL)

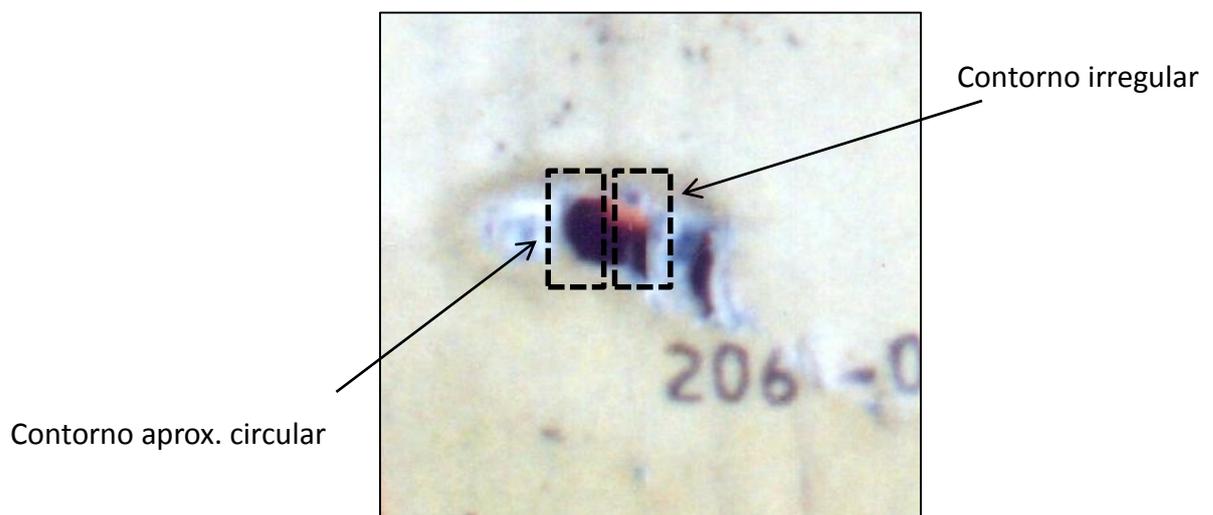
El detalle a analizar se encuentra en la cara interna del cobertor de la unidad hidráulica. Para llevar a cabo el análisis se amplía la zona del detalle a analizar.



Fotografía

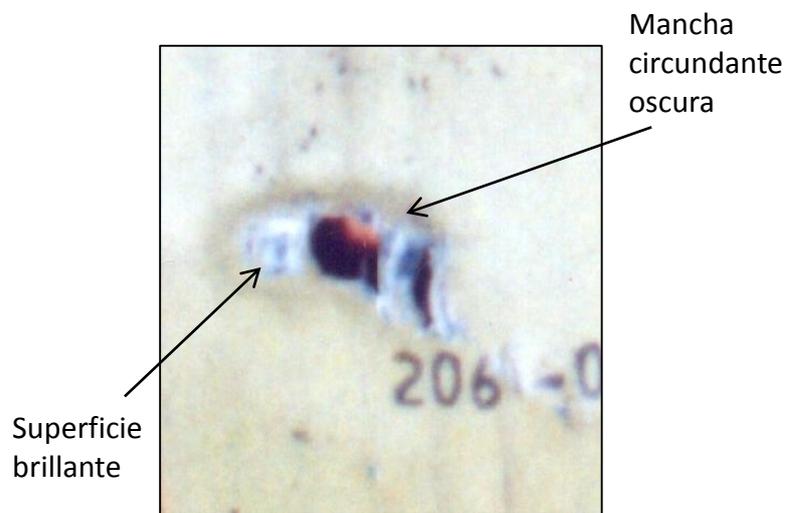


Ampliación zona

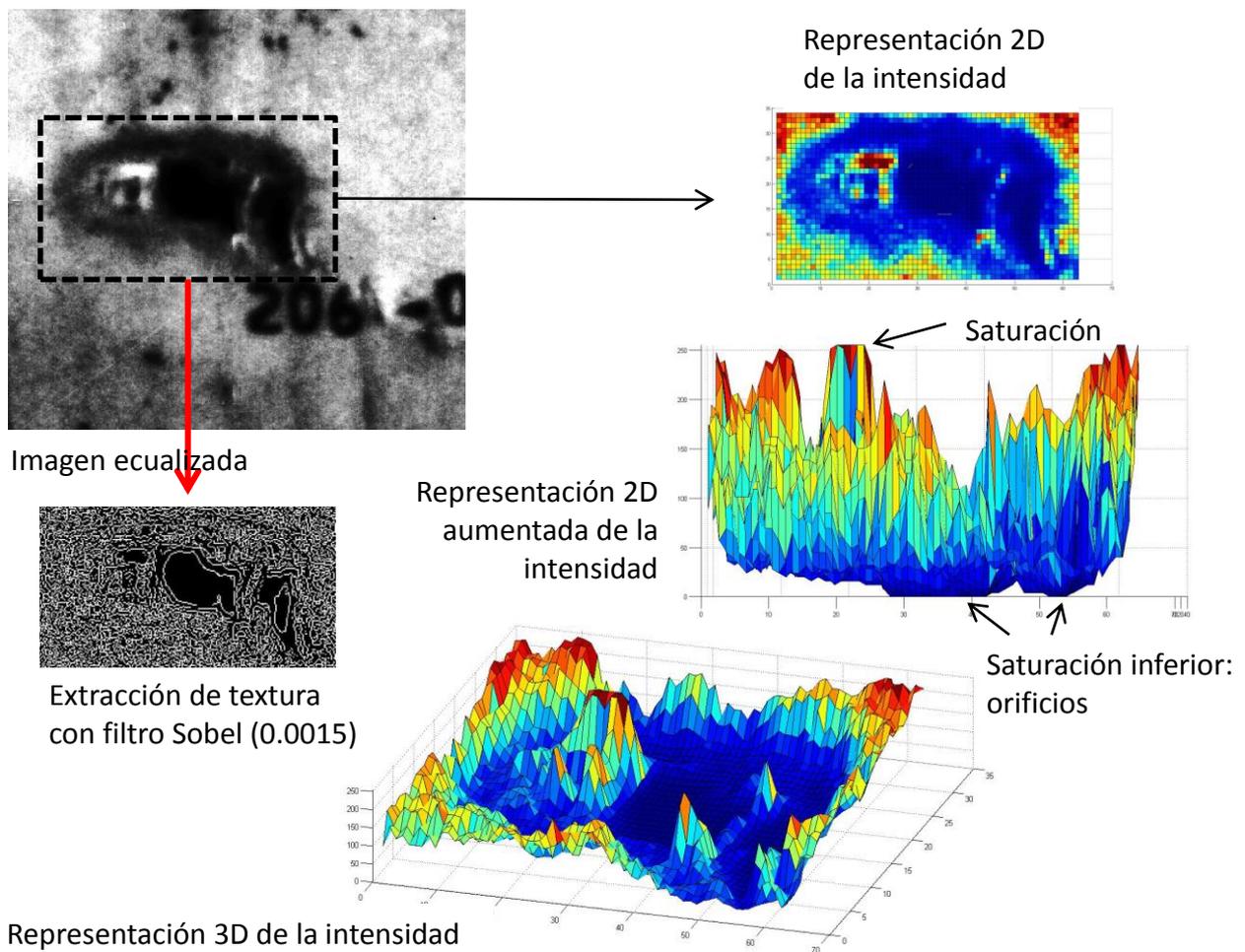


En la imagen se observan dos orificios. El más grande de ellos, presenta en uno de sus lados un contorno aproximadamente circular. En el lado opuesto, el contorno del orificio es irregular presentando sectores rectos con curvas bien angulares. El orificio pequeño es angosto y bien alargado, como se puede ver en la figura anterior.

A continuación se muestra la misma figura, donde se observan alteraciones de la pintura alrededor de los orificios, para poner en evidencia, por un lado, una zona brillante (con reflectancia no difusa) con irregularidades en la superficie identificada como “superficie brillante”, y una zona oscurecida alrededor de todo el detalle identificada en la misma figura como “mancha oscura circundante”.



En la siguiente figura se muestra el análisis de la imagen ecualizada (ver representación de intensidades y de textura en las figuras inmediatas inferiores) muestra una saturación de la intensidad en la zona de los orificios y el contorno bien marcado de los mismos. Ambas alteraciones dan la apariencia de una degradación por la presencia altas temperaturas. Las inscripciones y líneas que se ven en la chapa muestran que la misma no presenta deformaciones en las zonas adyacentes al orificio.



En la carpeta de Gendarmería no se cuenta con una imagen de la cara externa de la pieza, aunque en el Informe de Gendarmería dice que “...en dicha cara se encuentran alteraciones de la pintura similares al arrastre que produce un proyectil que impacta sobre una chapa”.

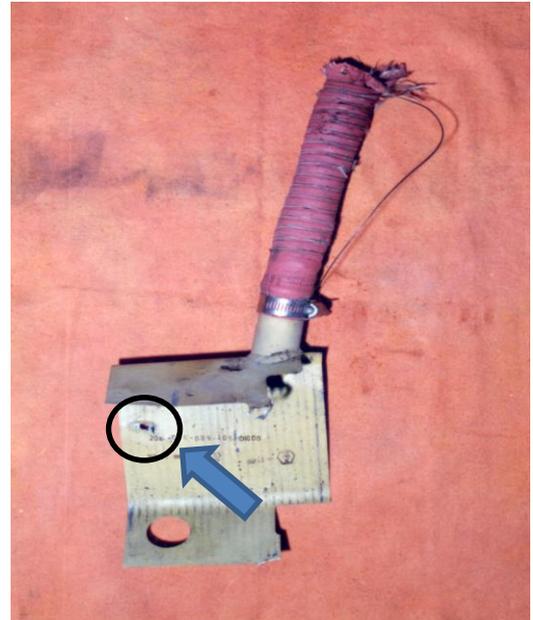
Este punto en el Acta se sintetiza: “Según el tratamiento de imágenes realizado se identifican dos orificios de forma irregular, uno de ellos con una mitad de forma circular y el otro alargado tipo oblongo. En las adyacencias de los orificios se observan alteraciones de la pintura, exhibiendo superficies especulares, consistentes con fenómenos térmicos. No se observan alteraciones en la topografía de la chapa fuera de la zona limitada al detalle analizado.”

C) COMPARACIÓN DE LA UBICACIÓN DEL DETALLE ANALIZADO EN LA CARA EXTERNA Y LA CARA INTERNA DEL COBERTOR DEL HIDRÁULICO (PUNTOS A Y B DEL ACTA)

A continuación se muestran las dos imágenes que corresponderían a las caras opuestas, externa e interna, de la que podría ser la misma pieza.

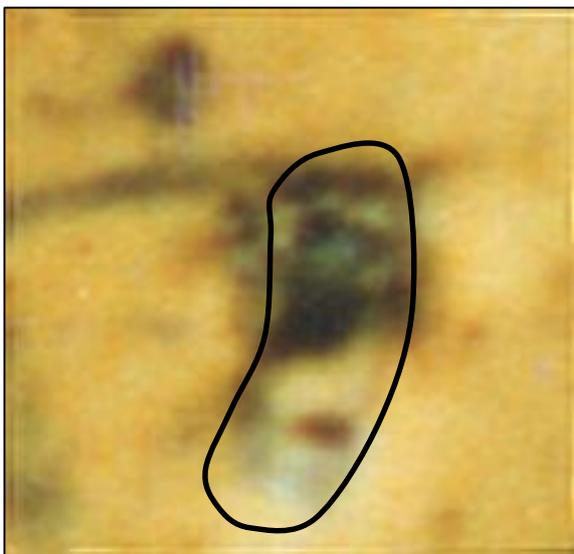


Cobertor externo



Cobertor interno

Lo que se observa en la zona indicada con la flecha celeste, dentro del círculo negro, dan la apariencia de ser dos imágenes “espejo” como se pone en evidencia en la figura siguiente:

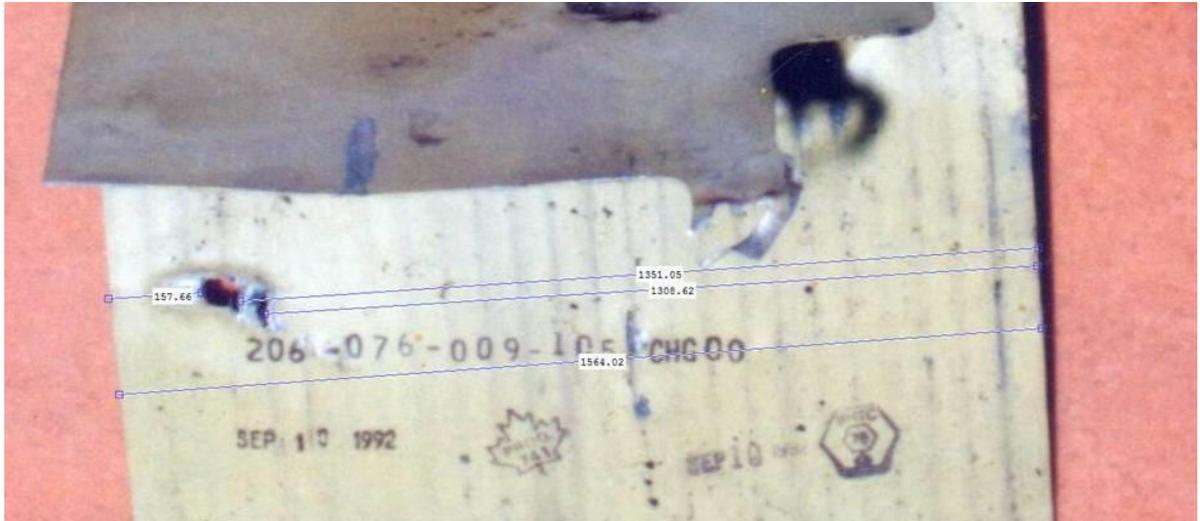


Detalle de la foto de la cara externa del cobertor de la unidad hidráulica



Detalle de la foto de la cara interna del cobertor de la unidad hidráulica

A continuación se realiza un análisis comparativo de la ubicación del detalle en las dos imágenes, la correspondiente a la cara interna y a la cara externa.



Los valores que se obtienen, en unidades de pixel, son:

	L	y	x	k	L/y	L/x	L/k	Er(L/y)	Er(L/x)	Er(L/k)
externo	1237	1007	1060	138	1,23	1,17	8,96			
interno	1564	1309	1351	158	1,19	1,16	9,90			
								0,03	0,01	-0,10

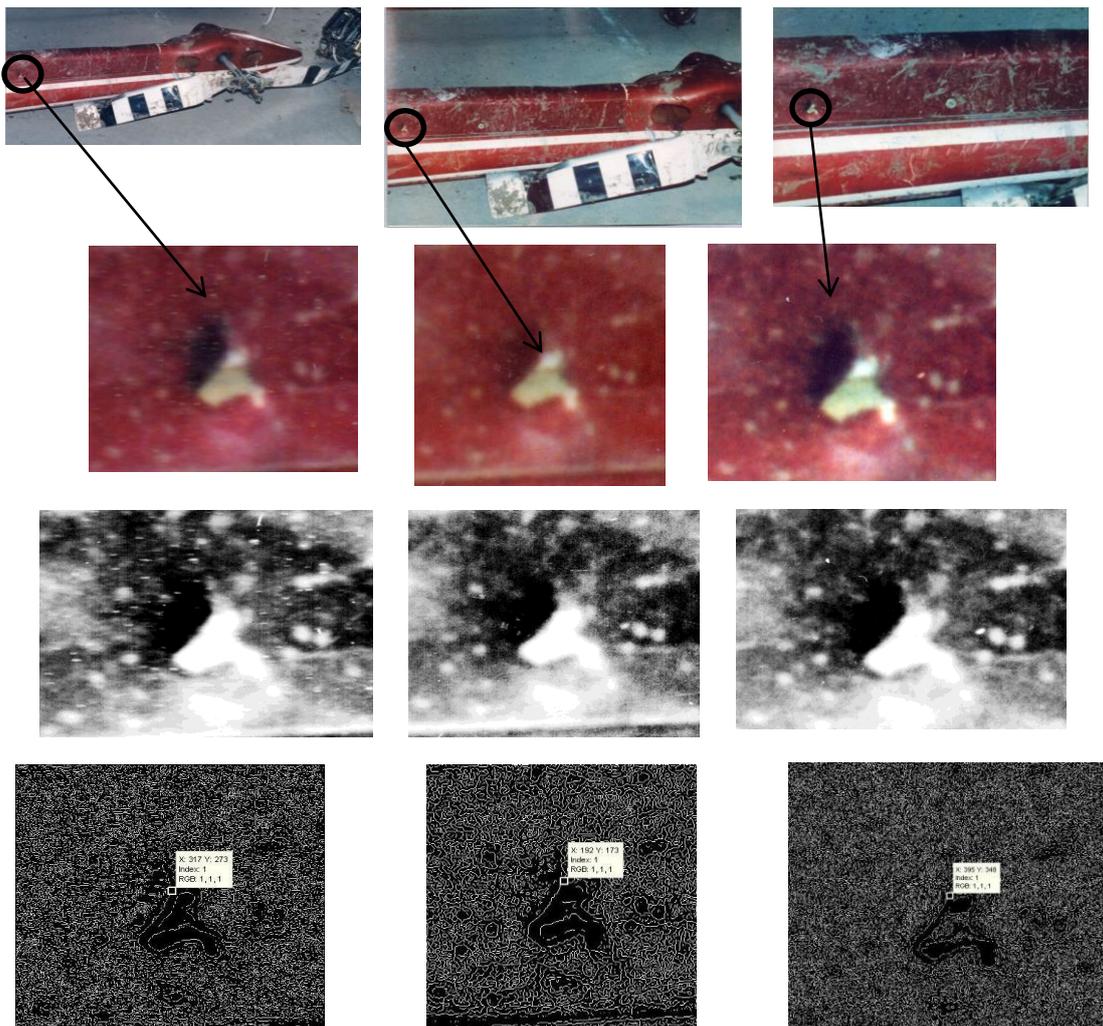
De manera que la discrepancia relativa de las tres relaciones: L/y , L/x y L/k , que se simbolizan con R , calculada como: $Er = (R1-R2/R1)*100$, da los valores:

$$Er(L/y) = 3\% \quad Er(L/x) = 1\% \quad Er(L/k) = 10\%$$

Lo que permite concluir lo que se ha incluido en el Acta como: “Del análisis comparativo de la ubicación del detalle en las dos imágenes analizadas en los puntos a) y b), precedentes, se puede concluir que las dos piezas (cara externa y cara interna del cobertor del hidráulico) contienen un detalle similar en la misma posición, dentro de los errores experimentales.

D) ANÁLISIS DEL DETALLE ENCONTRADO EN 3 FOTOGRAFÍAS QUE MUESTRAN LA COLA DEL HELICÓPTERO (FOTOGRAFÍAS DE FOLIO 52 POSICIÓN 1 DE LA CARPETA NARANJA JIAAC Y FOTOS 610 Y 612 DE LA CARPETA 7 DE GENDARMERÍA)

A continuación se muestran las tres fotografías (fotografías de folio 52 posición 1 de la carpeta naranja JIAAC y fotos 610 y 612 de la carpeta 7 de Gendarmería), la ampliación realizada del detalle de interés, en la tercera fila las imágenes del detalle ecualizadas y en la cuarta fila la imagen obtenida luego de aplicar un filtro Sobel (0,0015), para resaltar bordes y texturas:



Las tres fotografías muestran parte de la cola del helicóptero, incluyendo el rotor. En las tres puede verse un detalle que, a simple vista, parece una deformación de la chapa con alteraciones en la pintura. Para confirmar esta hipótesis, se procedió a recortar y ampliar la zona del detalle para su análisis (ver figuras que están en la fila de debajo de las tres fotos bajo estudio). En la fila siguiente se muestra el resultado de haber realizado un proceso de ecualización, que ponen en evidencia, en las tres imágenes, una zona muy oscura adyacente a una muy clara. Al extraerse la textura (ver la cuarta fila de la figura anterior, las tres imágenes presentan patrones similares caracterizados por la ausencia de saturación en ambas manchas. La presencia de textura es más evidente en la mancha oscura. Además, la mancha blanca presenta texturas orientadas en forma paralela al límite entre ésta y la mancha oscura. Estos resultados sugieren que los rasgos analizados no son consistentes con la presencia de un orificio

Del análisis realizado se llega a la conclusión, que fue incluida en el Acta, que no hay presencia de un orificio, sino que se trata de una deformación adquirida de la chapa.

E) ANÁLISIS DEL DETALLE EN FOTOGRAFÍAS GRÁFICO 314 FOLIO 348 DEL INFORME DE GENDARMERÍA, FOTOS 529 Y 535 DE LA CARPETA 6 DEL INFORME DE GENDARMERÍA.



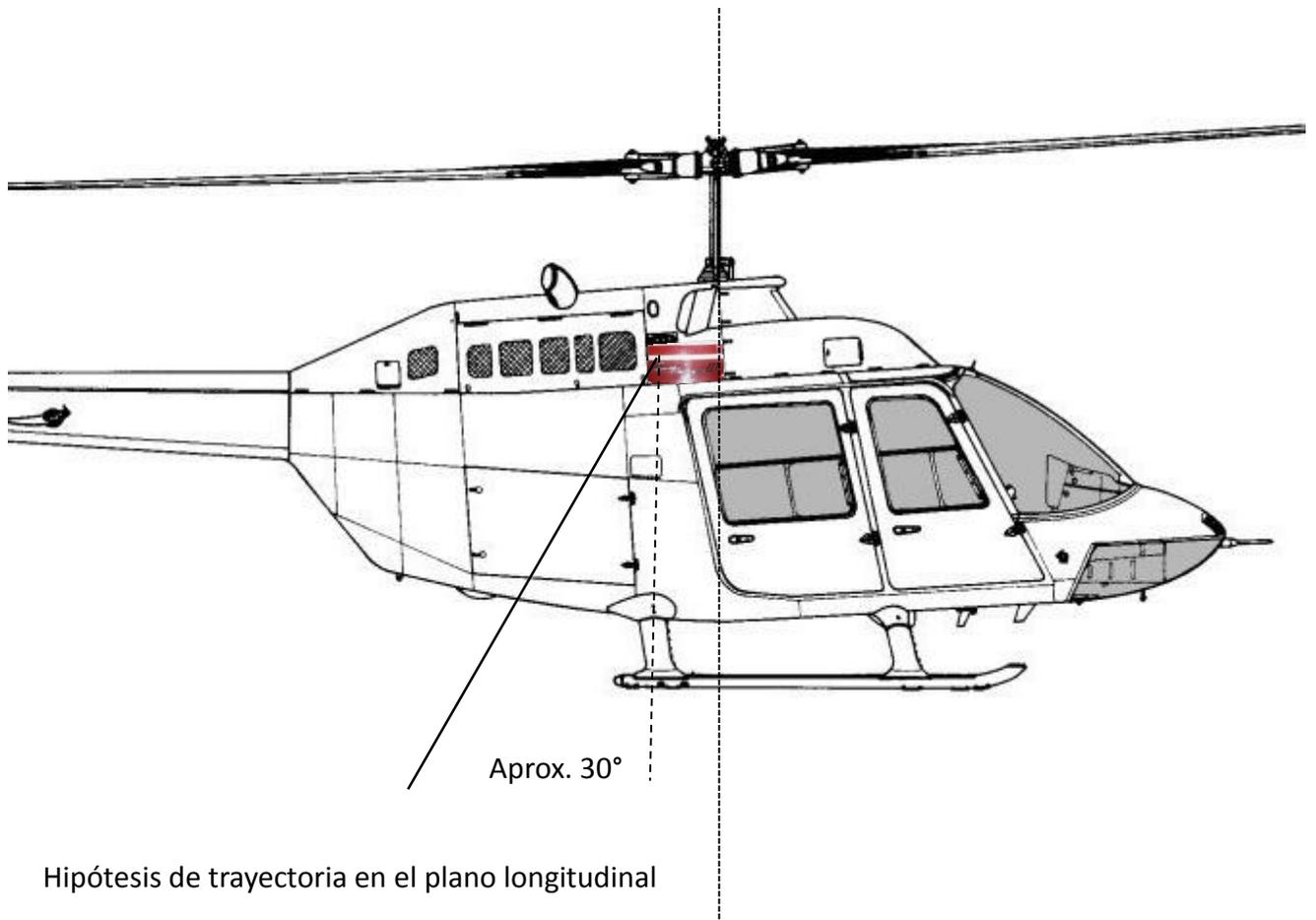
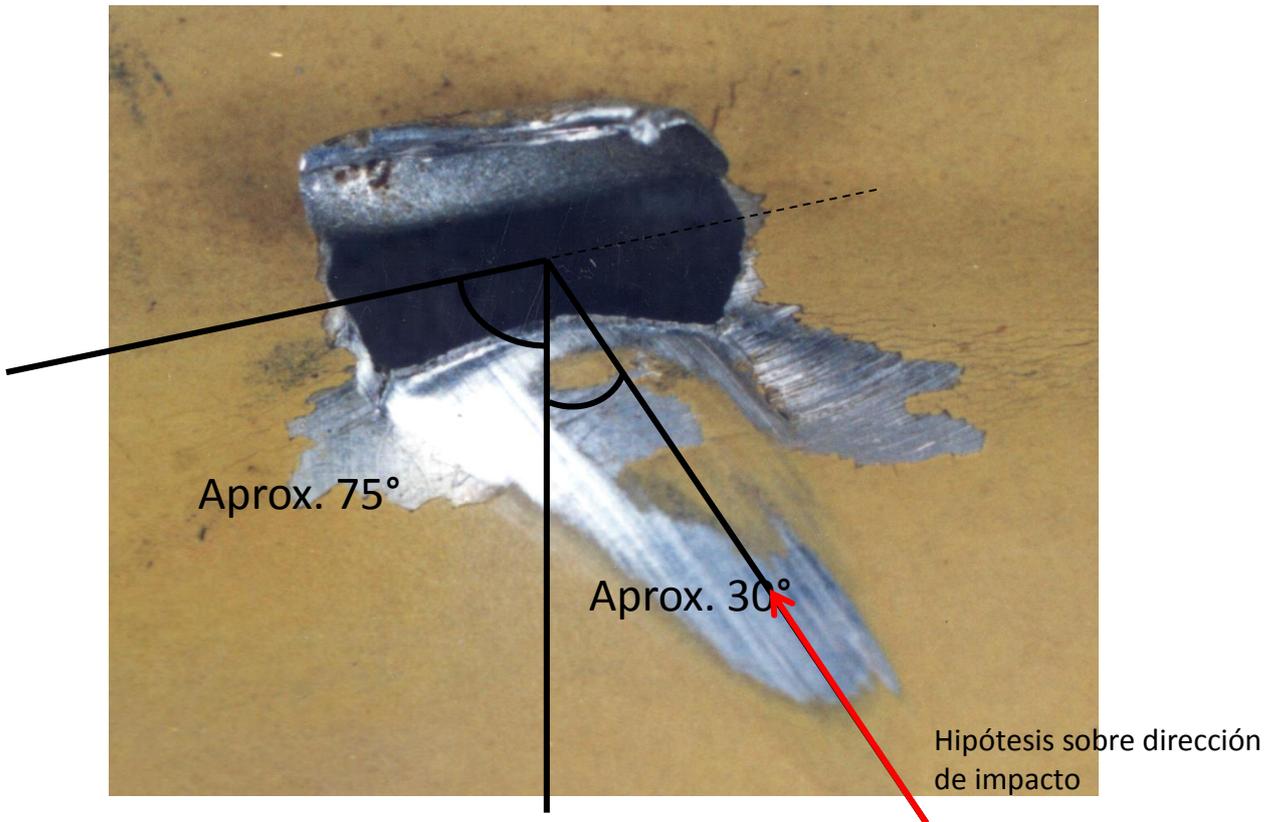
Gráfico 314

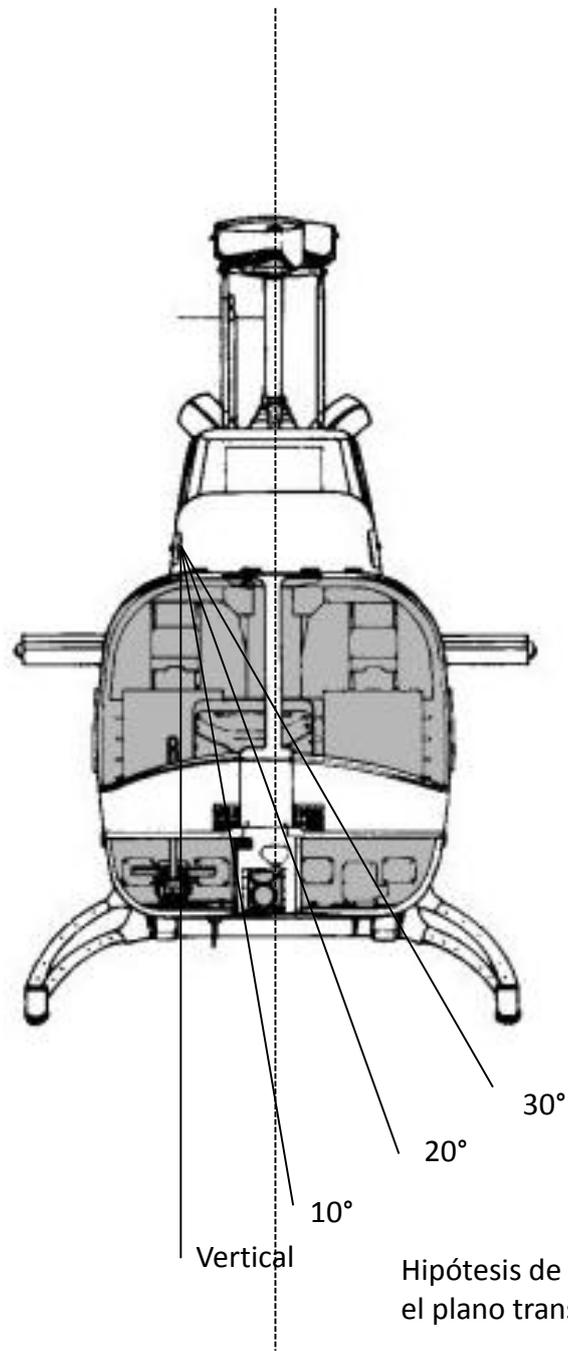
Foto 529

Foto 535

Las fotografías Gráfico 314 Folio 438 del Informe de Gendarmería, Foto 529 Carpeta 6 Gendarmería y Foto 535 Carpeta 6 Gendarmería, muestran una alteración de la chapa interior de la puerta derecha de inspección correspondiente al habitáculo de turbina y transmisión principal. Las tres fotografías muestran la misma vista del detalle.

A continuación se realiza un análisis de direcciones hipotéticas inferidas de las marcas presentes en las fotografías. La hipótesis de dirección surge de la congruencia entre las marcas de arrastre y la posición relativa del orificio (ver la Figura siguiente).





Zona de intersección
entre la superficie de la
nave y las trayectorias
indicadas.



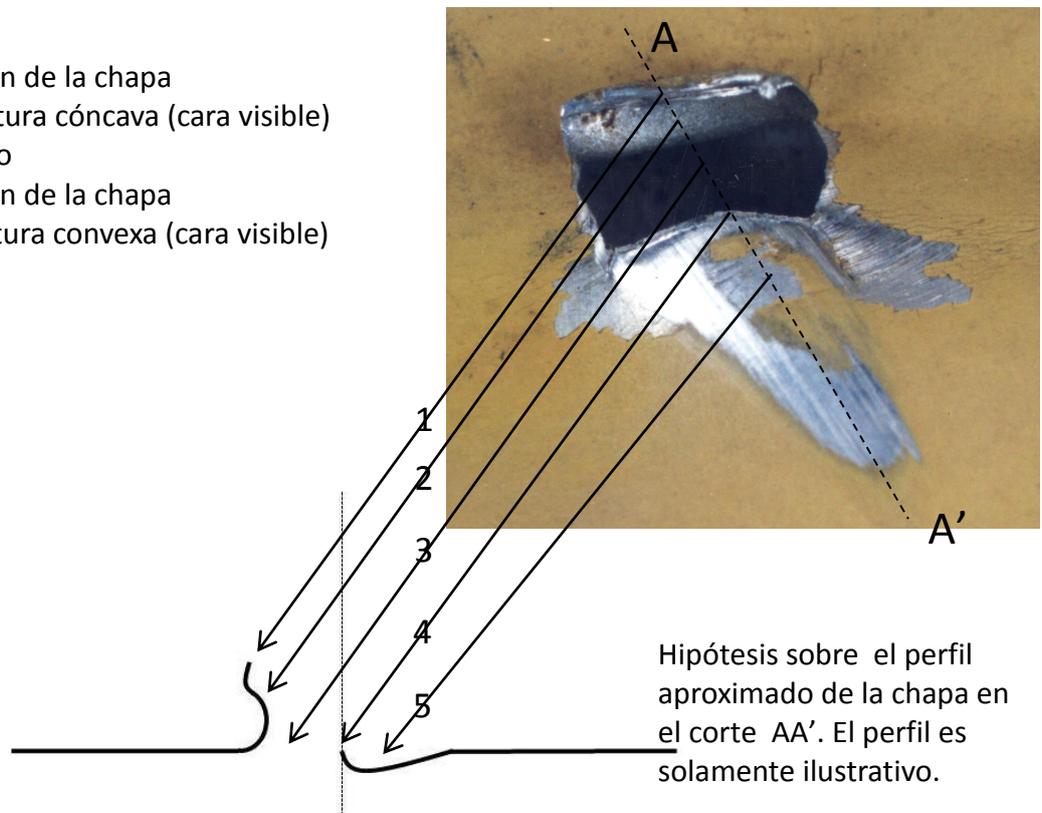
Ampliación de la zona de intersección.

Se determinaron las posibles trayectorias de un proyectil y las zonas de la nave que debería haber atravesado para arribar a la zona afectada (ver los dos esquemas de helicóptero). En una ampliación de la misma (ver las dos figuras precedentes) se puede ver que en la zona no se distinguen alteraciones en la superficie de la nave.

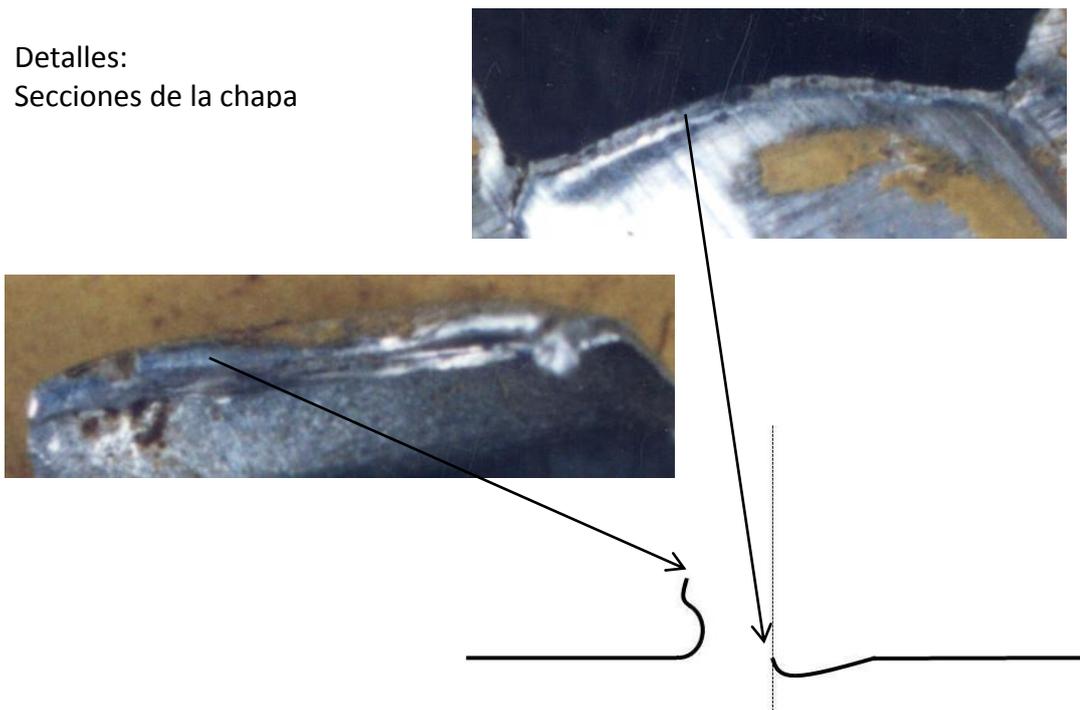
A continuación se realiza el análisis del perfil de la chapa en la zona de rotura:

Detalle

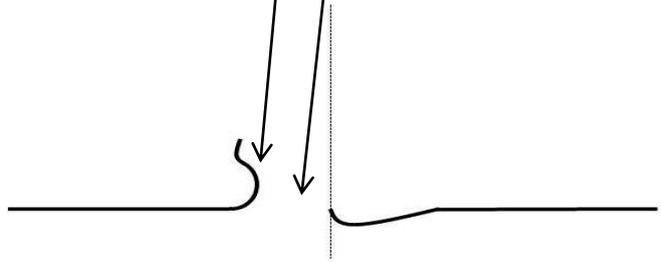
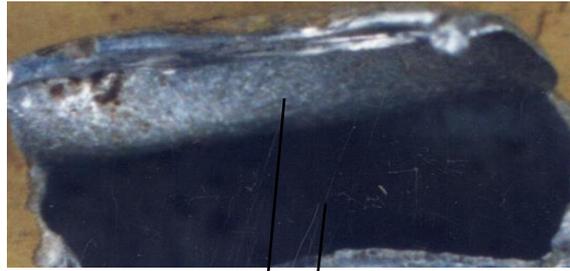
- 1.- Sección de la chapa
- 2.- Curvatura cóncava (cara visible)
- 3.- Orificio
- 4.- Sección de la chapa
- 5.- Curvatura convexa (cara visible)



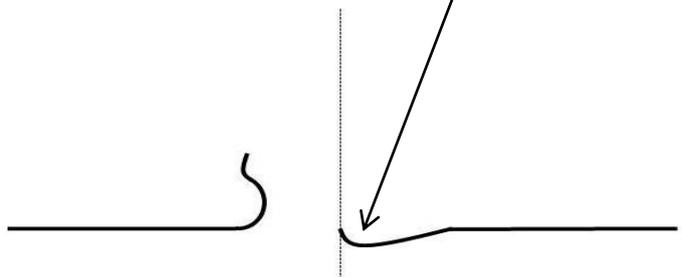
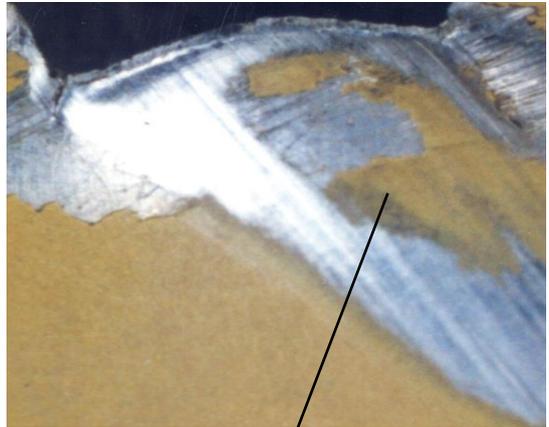
Detalles:
Secciones de la chapa



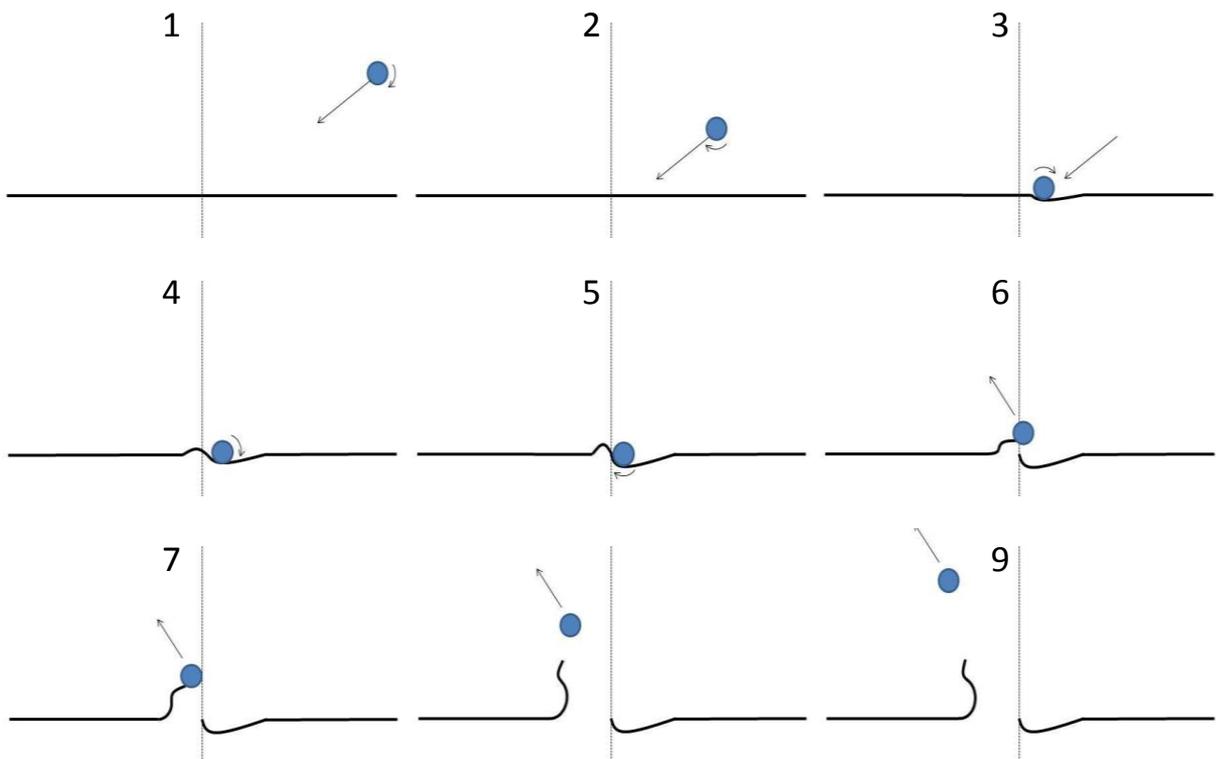
Detalles:
Curvatura cóncava (cara visible)
Orificio



Detalles:
Curvatura convexa (cara visible)
Marcas de arrastre

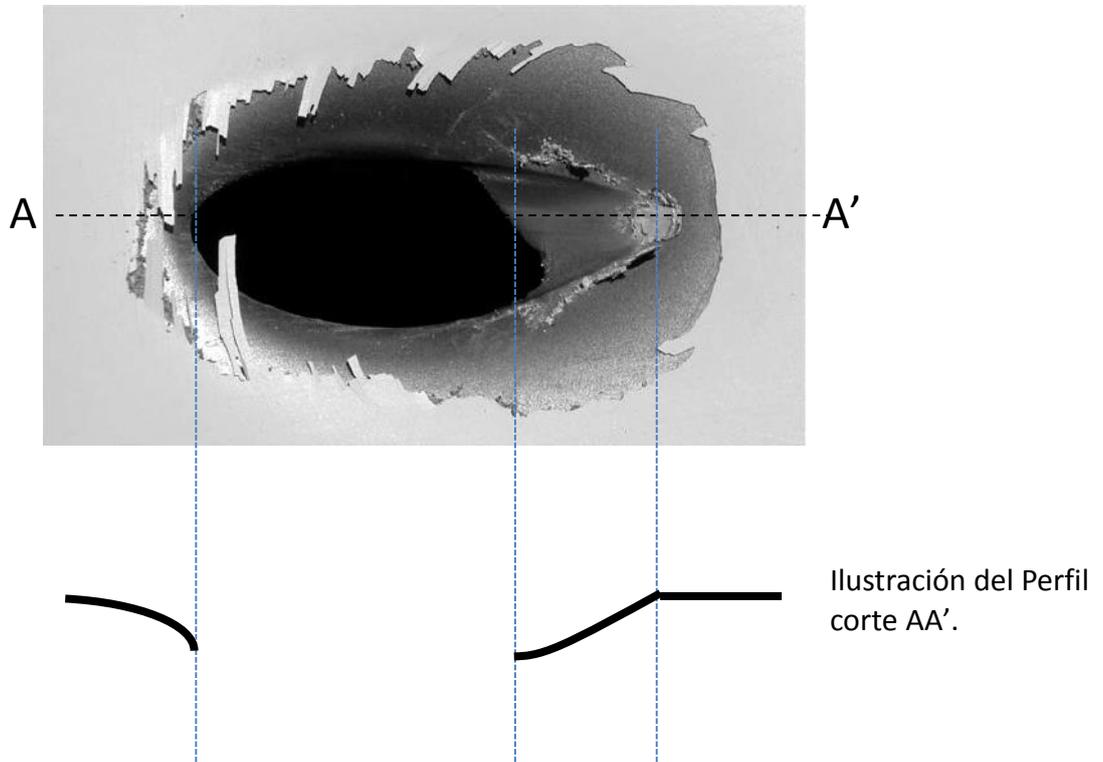


Dentro del Análisis morfológico, en base al análisis de los reflejos y sombras, y de las texturas presentes en la fotografía se infirió el posible perfil de la chapa en la zona de la rotura. A partir de ello se formuló una hipótesis que explicaría la rotura y es que el objeto que impacta contenía gran cantidad de energía de movimiento de traslación y rotación. En la siguiente figura se dibuja una secuencia que conduciría al perfil final, que se va a comparar con el que corresponde a un impacto de bala.

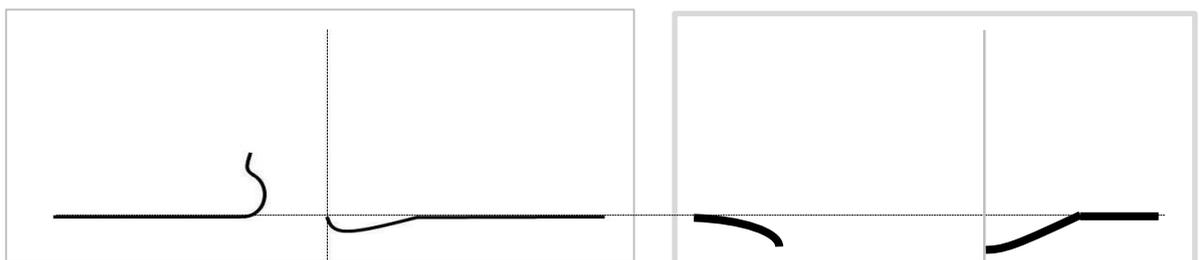


Se comparó el perfil de la rotura analizada con el típico perfil producido por el impacto de un proyectil en una chapa (ver figura siguiente).

Se realiza el análisis del perfil de la chapa en orificio de bala, tomando la Figura 7.8 de la página 133 del libro "Shooting Incident Reconstruction", Lucien C. Haag, Elsevier, 2006. La figura es:



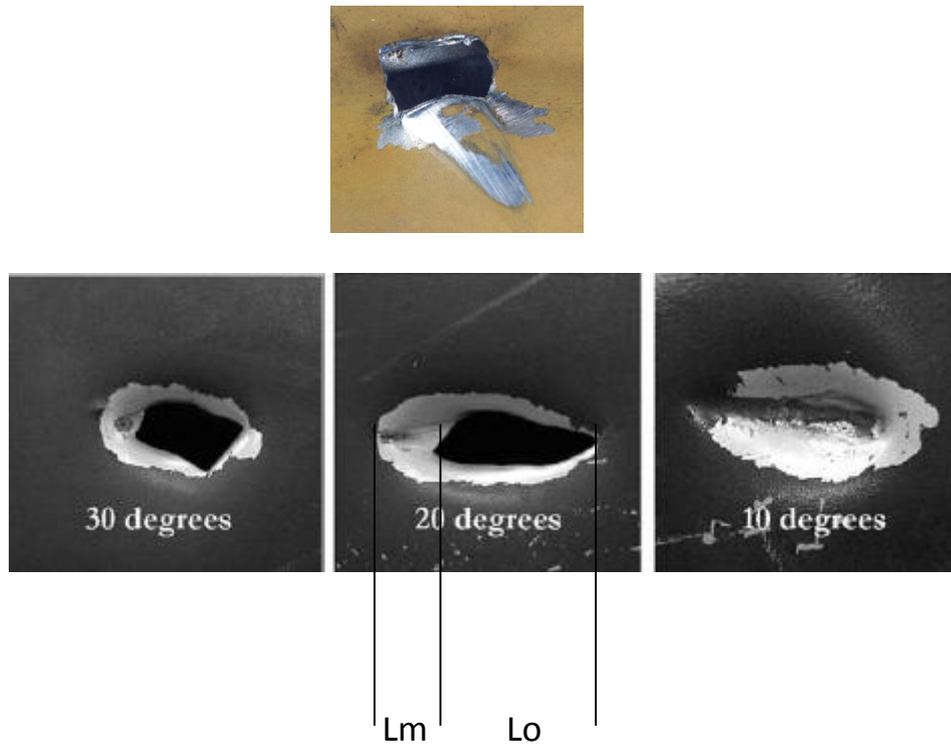
Se realiza una comparación de los dos perfiles, el que tendría la figura 535 de la Carpeta 6 de Gendarmería con un perfil típico de un orificio de bala, encontrándose que los perfiles comparados presentan diferencias sustanciales, como se evidencia en la figura siguiente:



Perfil inferido en la Fotografía 535 Carpeta 6 Gendarmería considerado el impacto dibujado precedentemente.

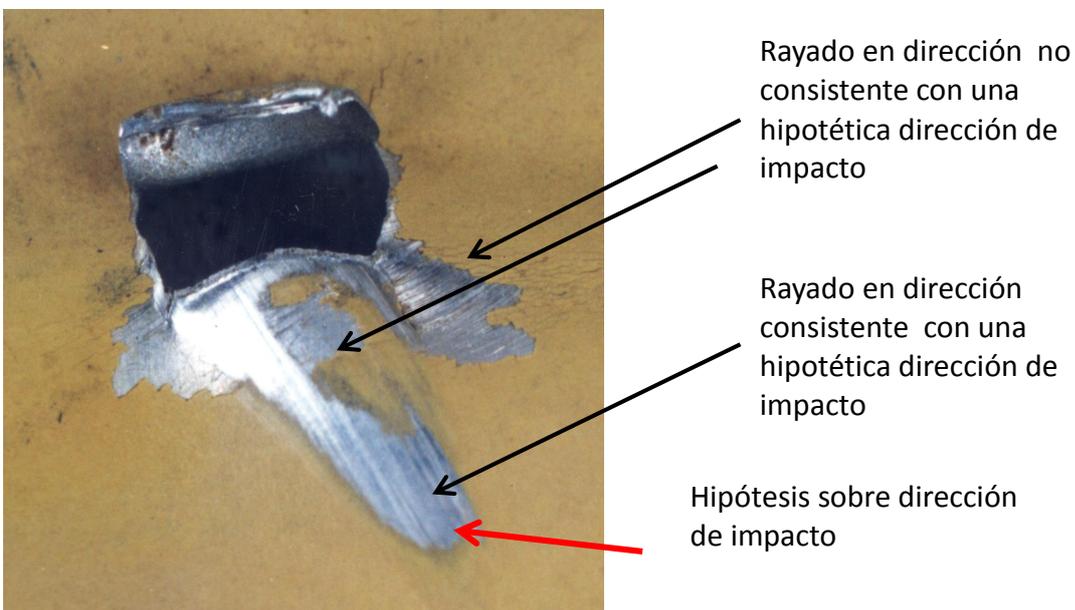
Perfil típico en orificio de bala.

También se realiza el análisis morfológico del orificio, tomando para la comparación la Figura 9.2 de la página 173 del libro "Shooting Incident Reconstruction", Lucien C. Haag, Elsevier, 2006. A continuación se incluye nuevamente la imagen en estudio y la figura del libro, utilizada de comparación:



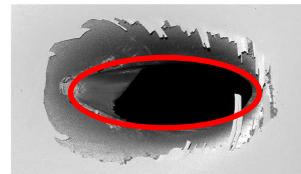
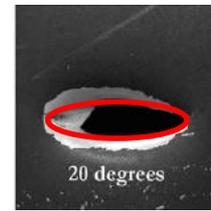
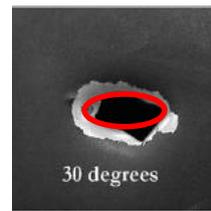
En los orificios con marcas de arrastre ($<40^\circ$) y deformación previa la relación de tamaño entre marca y orificio (Lm/Lo) es siempre menor que 1. Existe pérdida de material.

Además se destaca que hay presente un rayado que no es consistente con la hipotética dirección de impacto:





Existe continuidad entre la marca y el orificio. El conjunto marca-orificio puede modelarse con una elipse.



Las 2 figuras superiores corresponden a los paneles de Figura 9.2, Pag. 173, y la tercera figura a la Figura 7.8, Pag. 133, en Shooting Incident Reconstruction.

Se analizaron las relaciones entre el tamaño del orificio y las marcas de arrastre en imágenes de orificios de bala de referencia y se comparó con las de la rotura analizada. En las imágenes de referencia se puede notar que la relación entre el tamaño de la marca de arrastre y el orificio es menor que 1 y que, además hay pérdida de material. En la fotografía analizada el tamaño del orificio es menor que el de la marca y no habría pérdida de material. La fotografía en análisis presenta, en la zona de la rotura, un rayado con dirección perpendicular al rayado que sugiere un arrastre previo al orificio. Finalmente, se analizó la relación entre la forma del orificio y las marcas previas. Se puede notar que, sistemáticamente, en las imágenes de referencia existe una continuidad entre la marca y el orificio pudiéndose modelar este conjunto con una elipse, como se muestra en la figura precedente.

En síntesis, en el Acta se concluye que: “Del análisis realizado se puede concluir que se trata de un orificio aproximadamente rectangular, con un rayado en su adyacencia inferior, que habría sido producido por el impacto de un objeto irregular tipo esquirla moviéndose con energía de traslación y rotatoria con vector de rotación perpendicular a la dirección de traslación y sentido derecho. De acuerdo a las marcas que se visualizan en las adyacencias del orificio sería factible que el objeto se haya aproximado al punto de impacto desde abajo hacia arriba y de afuera hacia adentro, con un ángulo de aproximadamente 30° en el plano longitudinal. Se destacan otras alteraciones adyacentes al orificio que no son consistentes con esta interpretación. No se encontraron orificios en la zona inferior del fuselaje que evidencien una compatibilidad con la trayectoria en línea recta de una bala (según definición tipo I) con este detalle. Estas interpretaciones deben enmarcarse en la complejidad del proceso mecánico de la caída del helicóptero”.

F) ANÁLISIS DEL DETALLE EN VARIAS FOTOGRAFÍAS DE LA PARTE INFERIOR DEL HELICÓPTERO (FOTO 3, 4 Y 5 DE UNIDAD REGIONAL SÉPTIMA DE SAN NICOLÁS)

Se analizaron imágenes del fuselaje del helicóptero para establecer la naturaleza de una marca ubicada en la zona inferior, cercana al vértice posterior inferior de la puerta de acceso a la baulera izquierda de la nave, que puede observarse en múltiples tomas fotográficas (Figuras 3, 4 y 5). Se incluye la figura 5 como ejemplo:

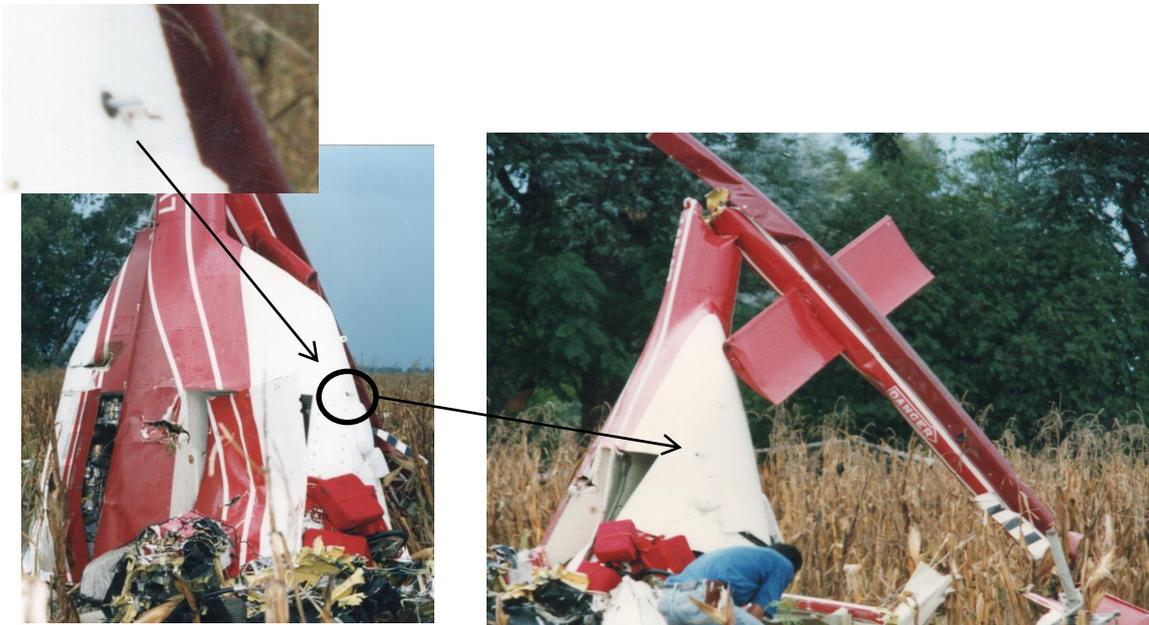


Figura 5

Se amplía la zona de la marca:



Se realiza una comparación con la Figura 2 también, por lo que se incluyen las dos fotografías, la 2 y la 5:



Fotografía 2

Fotografía 5

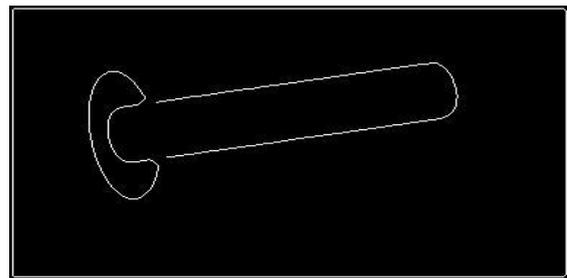
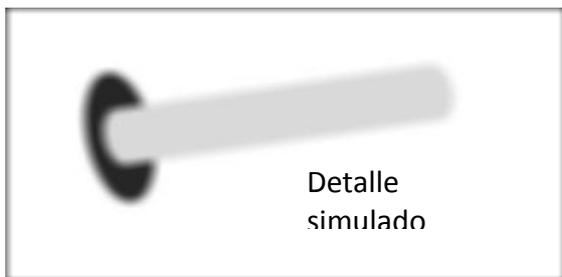
Se amplía el detalle de la fotografía 2:



Se establece una correspondencia entre los detalles encontrados en las fotografías de la parte inferior y lateral izquierda del aparato y se determina que se trata de un caño de drenaje tal como se muestra en la ampliación del detalle mostrado en la figura. Se realizó un modelo del drenaje y se extrajo los bordes para compararlos con los del detalle en análisis. Se puede observar en las imágenes que se incorporan a continuación que ambas imágenes presentan iguales características, lo que evidencia la similitud entre el modelo y el detalle de interés:



Detalle en Fotografía



Se extrajo un fotograma del video de canal 2 que muestra una vista lateral del helicóptero donde puede corroborarse la existencia del drenaje en la ubicación del detalle en análisis.



Análisis de detalle en Fotografía 5 y fotograma del minuto 4, segundo 59 del video

Del análisis realizado en una marca en la zona del vértice posterior inferior de la puerta de la baulera, y de la comparación con la foto 2 de mismo conjunto de fotos, se determina que se trata de un caño de drenaje del aparato.

G) ANÁLISIS DEL DETALLE PRESENTE EN LA FOTOGRAFÍA 28 POSICIÓN 1 DE LA CARPETA NARANJA JIAAC.



Fotografía 28 en posición 1 de carpeta JIAAC

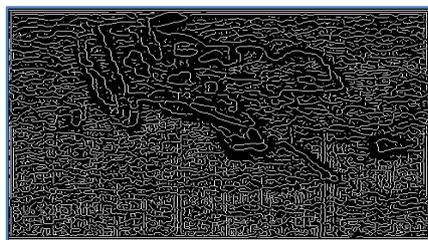
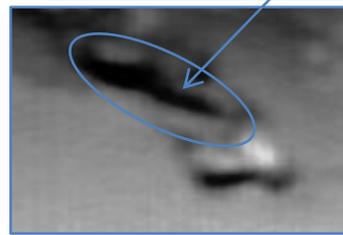


Ampliación del detalle



Imagen obtenida por ecualización

Posible zona de orificio



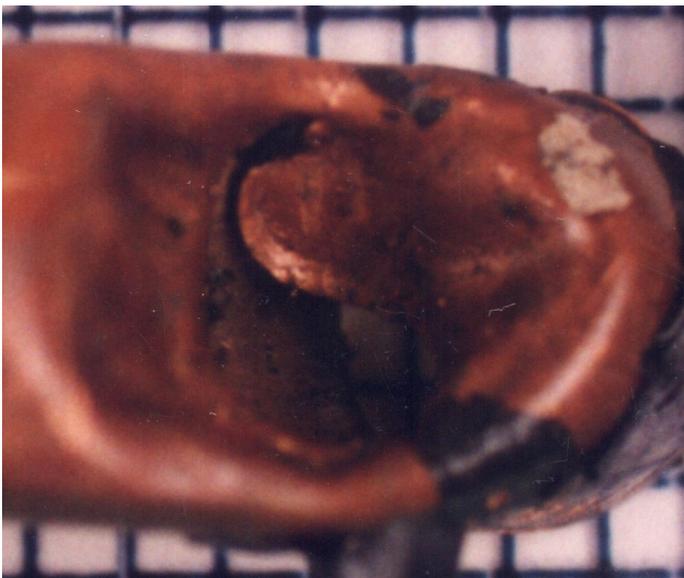
Detalle fotografía 361 de gendarmería, a la derecha ampliación de la zona de interés, la imagen inferior izquierda muestra la extracción de textura con filtro Sobel (0,0015) y la derecha la extracción de contornos.

La fotografía de Folio 28 posición 1 JIAAC muestra un tubo metálico con alteraciones en la superficie. En primer lugar se puede notar una deformación producto de haber sido sometido a una fuerza de flexión. En segundo lugar, presenta una zona con notorias alteraciones en la pintura y en la superficie tal como se muestra en la ampliación del detalle. Se puede observar un orificio alargado y varias alteraciones de la superficie producidas, presumiblemente, por impacto de otras piezas metálicas. En el orificio puede observarse la pared del tubo. Las alteraciones de la pintura presentan bordes bien definidos sin un patrón definido en la forma. La imagen de textura muestra los contornos definidos de la pintura y las alteraciones de la superficie. La alteración que se encuentra en la parte inferior al orificio es superficial.

H) ANÁLISIS DE LA FOTOGRAFÍA 549 DE LA CARPETA 6 DE GENDARMERÍA
La fotografía muestra un caño del condensador del equipo de aire acondicionado.



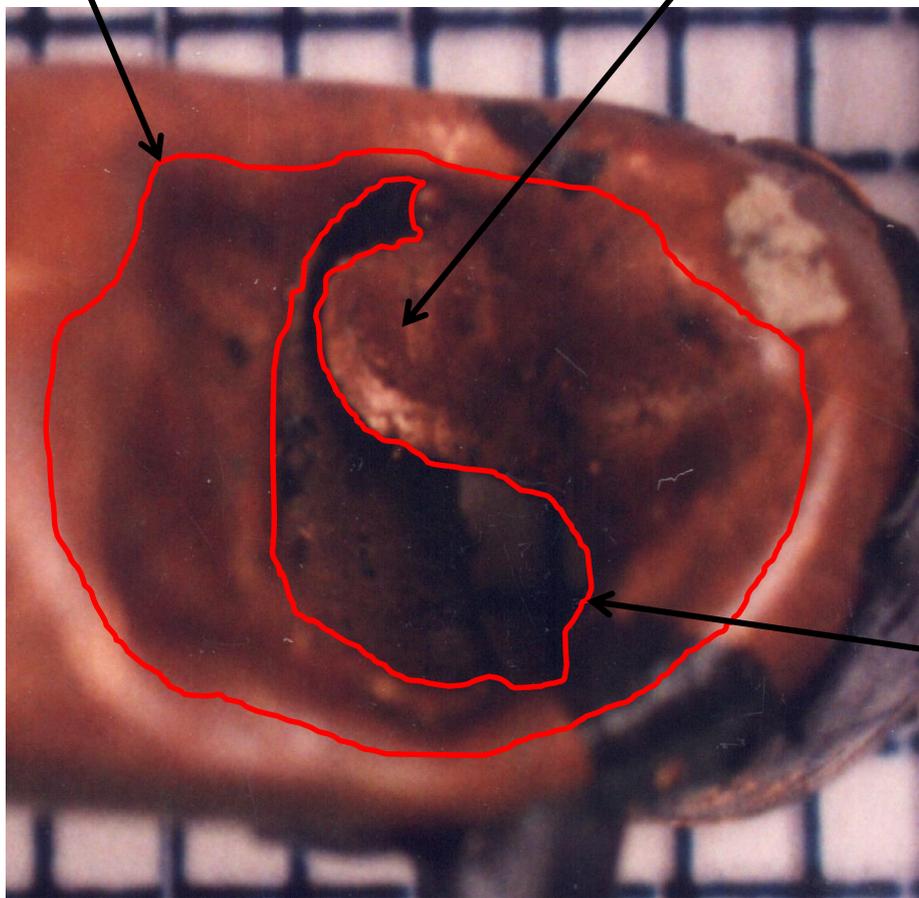
La imagen de la zona ampliada del detalle de interés:



En la misma se puede observar una abolladura de forma alargada en sentido horizontal y un orificio en la zona central de la abolladura (ver contornos de abolladura y orificio en la próxima imagen). La forma del orificio es irregular, alargada, con orientación vertical.

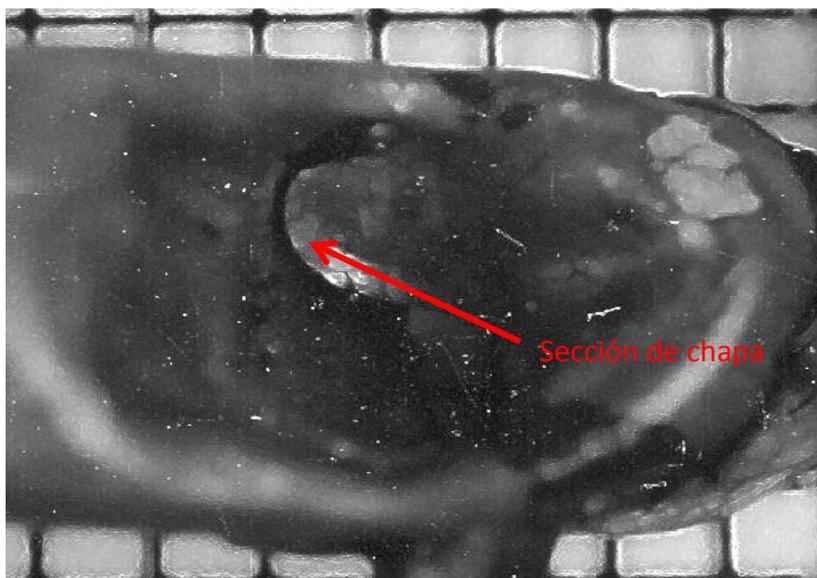
Contorno de la abolladura

Detalle en el contorno del orificio



Contorno del orificio

Imagen procesada con filtro Sobel . El producto del filtrado se combinó con la imagen acromática original. Resultado: resaltado de bordes.



Sección de chapa



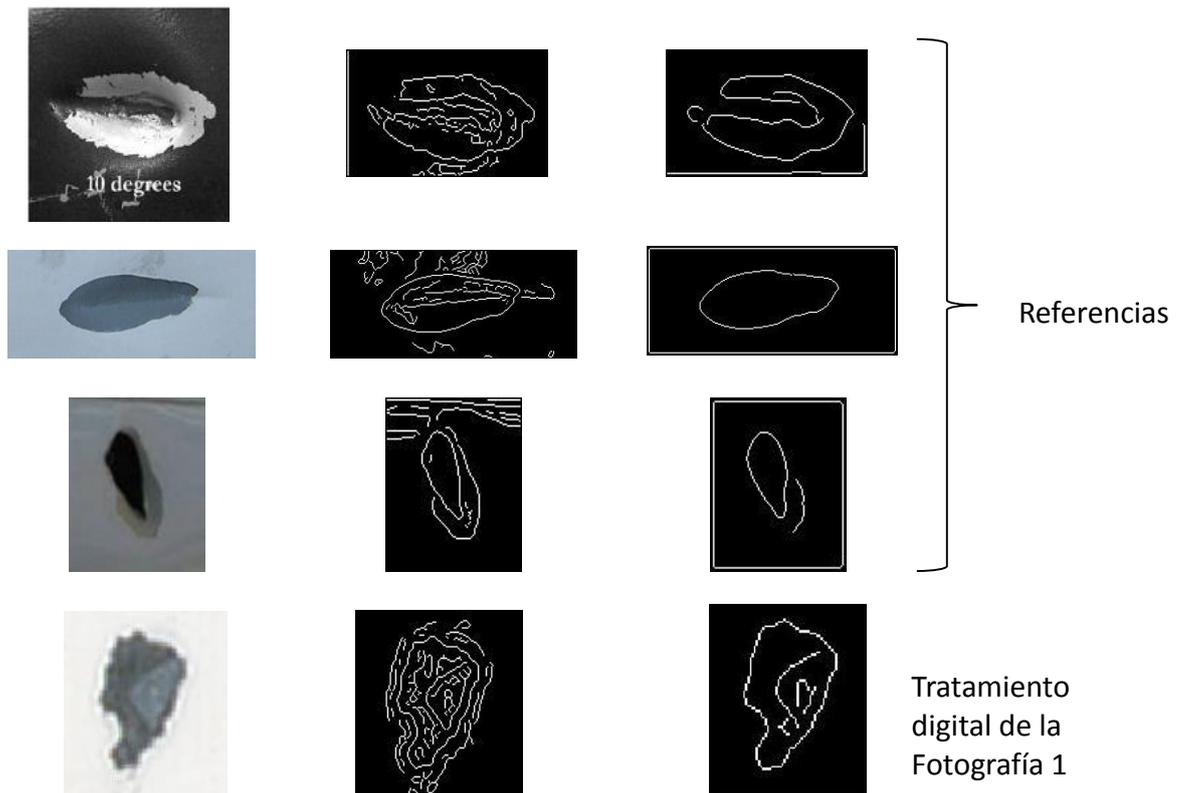
Se analizan las fotografías que muestran la zona inferior del fuselaje del helicóptero para determinar si en la zona de alojamiento del evaporador del aire acondicionado se encuentra evidencia de un orificio. De la inspección de las fotografías ampliadas y del análisis de las marcas se determina que las fotografías no muestran orificios en la superficie de parte inferior del fuselaje.

I) ANÁLISIS DE LA FOTOGRAFÍA 1 DE UNIDAD REGIONAL SÉPTIMA DE SAN NICOLÁS)

En la imagen se incluye la foto y la ampliación del detalle de interés:



Se analiza visualmente la Fotografía 1 y se detecta una marca con alteraciones en la pintura que se estudia a continuación. Se realiza una ampliación de la zona de interés y se observa una deformación adquirida de chapa con desprendimiento de pintura. Se realizó un análisis morfológico de comparación con imágenes de impactos de bala en chapas similares. Se puede observar que las tres imágenes de referencia presentan deformaciones de tipo oblongas mientras que el detalle en análisis presenta una forma irregular, con características diferentes a los detalles presentes en las imágenes de referencia. Para este análisis, las imágenes fueron filtradas utilizando filtros Canny de extracción de contornos.



De este análisis se concluye que no hay correspondencia con las referencias correspondientes a impactos de bala.

J) ANÁLISIS DE IMAGEN DE FOLIO 63 UBICACIÓN 1 CARPETA JIAAC

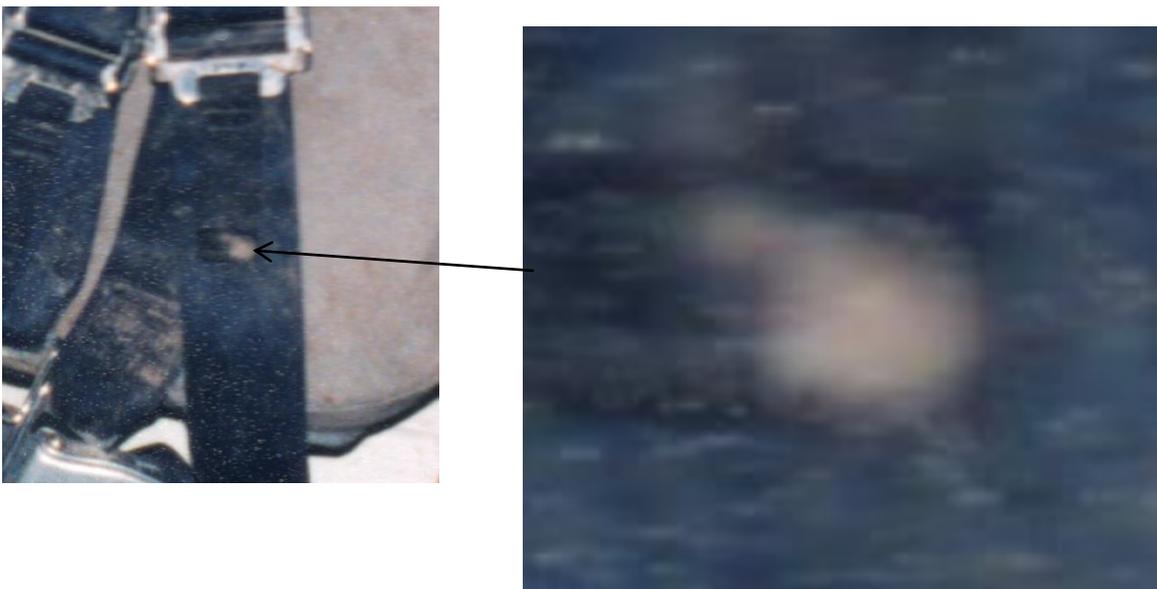


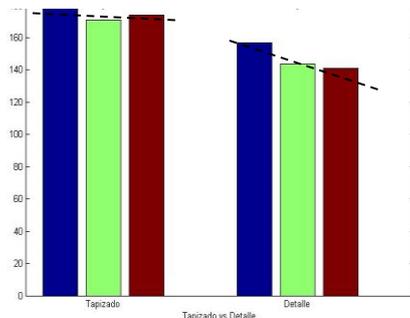
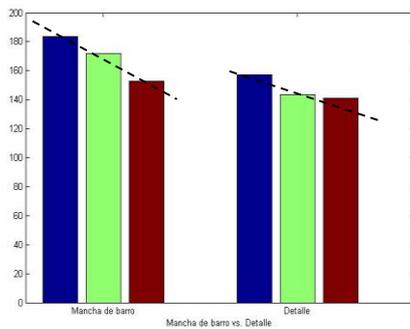
Imagen de Folio 36/1 Carpeta JIAAC



Mancha de barro en el

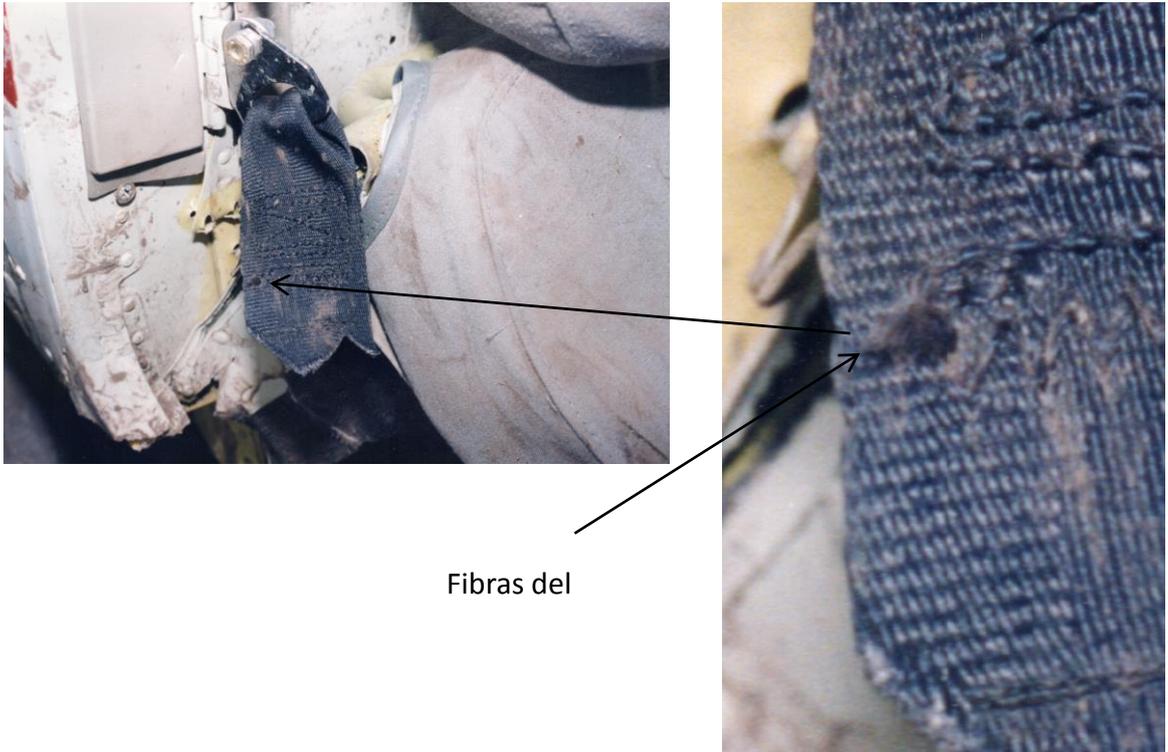
Imagen de folio 63 ubicación 1 de la carpeta JIAC

Se comparan las componentes RGB de las zonas seleccionadas.



El análisis de la fotografía de Folio 63 Posición 1 de la carpeta de la JIAC muestra una mancha aproximadamente circular que podría tratarse de un orificio, a través del cual se vería el tapizado del asiento. La ampliación del detalle muestra que la mancha presenta bordes difusos. Además, se puede observar otra pequeña mancha circular a su lado con similares características excepto por el tamaño. Se realiza un estudio comparativo de las componentes cromáticas de las manchas en análisis con las del tapizado y las de manchas de barro presentes en otro cinturón. Se muestra que las componentes RGB del detalle y la mancha de barro son similares y diferentes a las del tapizado, lo que sugeriría que el detalle de interés podría tratarse de una mancha de barro.

K) ANÁLISIS DE IMAGEN DE FOLIO 67 UBICACIÓN 2 CARPETA JIAAC



En la Fotografía de Folio 67 Posición 2 de la JIAAC se observa la cara externa de un cinturón de seguridad con un orificio circular en el lado izquierdo. La ampliación del detalle muestra, en una de los bordes del orificio, fibras del tejido hacia afuera del cinturón, sugiriendo que el orificio fue producido de atrás hacia adelante. Es decir, que la cara que muestra la fotografía correspondería a la de salida del objeto que haya producido el orificio.