

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

ACTIVIDADES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMÓGRAFO DEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS Y EDUCACIÓN

PROYECTO CURRICULAR LICENCIATURA EN FÍSICA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2025

ACTIVIDADES PARA LA ENSEÑANZA DE LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMÓGRAFO DEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OPTAR EL TÍTULO

DE:

LICENCIADO EN FÍSICA EN MODALIDAD MONOGRAFÍA

DIRECTOR:

FABIO OMAR ARCOS MARTÍNEZ

2025

Dedicatoria

Diese Widmung richtet sich an Menschen, die
Sie konnten ihr Rennen nicht beenden
Dass deine Träume geweckt wurden
Das reiste mit dem Wind zusammen mit dem Staub der Straße
Wo wird Motivation getroffen
Und die Menschen, für die sein Leben ausgelöscht wurde
Die Gründe, aus denen sie leben mussten.

Agradecimientos

A KENNY LEANDRA ESPITIA SÁNCHEZ por su apoyo como pareja y soportarme por largo tiempo de valles y penumbras, a la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS por ese apoyo incondicional hacia mí, al coordinador de los laboratorios física HENRY MAURICIO ORTIZ SALAMANCA y los encargados de este como ANDRÉS RUBÉN BARÓN ALDANA y EDUARDO RODRÍGUEZ MORA, al *primo* y al apoyo alimentarios antes de la pandemia muchas gracias de corazón.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN, CONTEXTO Y DISEÑO METODOLÓGICO. 25

1.1. INTRODUCCIÓN. 25

1.2. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN 29

1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACION 30

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 31

1.5. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA POR MEDIO DE LA INDAGACIÓN 32

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS E HISTÓRICOS DE LOS RAYOS X. 37

2.1. DIVISIBILIDAD DE LA MATERIA Y EVOLUCIÓN DEL ÁTOMO 37

2.1.1. MODELO DEL ÁTOMO DE DEMÓCRITO 37

2.1.2. MODELO DEL ÁTOMO DE JOHN DALTON. 42

2.1.3. MODELO DEL ÁTOMO DE JOSEPH JOHN THOMSON 43

2.1.4. MODELO DEL ATOMO DE ERNET RUTHERFORD 45

2.1.5. MODELO DEL ÁTOMO DE NIELS BOHR 46

2.1.6. MODELO DE L ÁTOMO DE ERWIN SCHRÖDINGER 50

2.2. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 55

2.2.1. HISTORIA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 55

2.2.2. QUE SON LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 56

2.2.3. PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 56

2.2.4. ESPECTRO ELECTROMEGNETICO 59

2.2.5. APLICACIONES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS 60

2.3. APROXIMACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFODE RAYOS X 61
2.3.1. EFECTO TERMOIÓNICO 62
2.3.2. ADQUISICION DE ENERGIA CINETICA DE LOS ELECTRONES LIBRES 63
2.3.3. MATERIAL DE IMPACTO DE LOS ELECTRONES 64
2.3.4. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TUBOS DE RAYOS X EN RADIOGRAFÍAS CON VARIACIÓN DE LA CORRIENTE Y EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO 65
2.3.5. PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X 78
2.3.6. PRODUCCIÓN DE RAYOS X POR RADIACIÓN DE FRENADO BREMSSTRAHLUNG (ELECTRÓN-NÚCLEO) 79
2.3.7. PRODUCCIÓN DE RAYOS X POR MEDIO DE FOTONES CARACTERÍSTICO 81
2.3.8. ESPECTRO DE LOS RAYOS X 84
2.3.9. VENTANA DE LOS RAYOS X 85
2.3.10. DESCRIPCIÓN BREVE DEL TOMOGRAFO, EL DISPOSITIVO DE GENERACIÓN DE RAYOS X 86
2.4. FENÓMENOS FÍSICOS EN LA INTERACCIÓN RADIACIÓN MATERIA A NIVEL CUÁNTICO 88
2.4.1. EFECTO COMPTON 90
2.4.2. EFECTO FOTO ELECTRICO 91
2.4.3. CREACIÓN DE PARES DE PARTÍCULAS 93

2.4.4. DISPERSION COHERENTE DE RAYLEIGH 95
2.5. INTERACCIÓN RADIACION MATERIA A NIVEL MACROSCOPICO 96
2.5.1. MATERIALES CON COEFICIENTE DE ATENUACIÓN($\boldsymbol{\mu}$) VARIABLE 99
2.5.2. SIMULACIÓN DEL MODELO SIMPLIFICADO DEL TRASPORTE Y TRAYECTORIA DE FOTONES AL PENETRAR LA MATERIA Y LA ECUACIÓN DE LEY DE BEER-LAMBERT 101
2.6. RADIOGRAFÍA 106
2.6.1. RECOSTRUCCION DE IMAGEN 130
3. GUIA PRACTICA Y GENERAL DEL TOMÓGRAFODE RAYOS X 554 800 X-RAY APPARATUS 148
3.1. INTRODUCCIÓN 149
3.2. COMPONENTES IMPORTANTES QUE TIENE EL TOMÓGRAFO DE RAYOS X 151
3.2.1. SECCION A, TUBO DE RAYOS X, ELECTRONICA Y FUENTE DE PODER 154
3.2.2. SECCION B GONIOMETRO Y RIEL DE DESPLAZAMIENTO 166
3.2.3. SECCION C: LA CAMARA 171
3.3. REQUISITOS E INSTALACION DEL SOFTWARE 173
3.3.1. OPCIONES Y CONFIGURACIONES DEL SOFWARE DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X 175

3.3.2. PROYECCION DE LA IMAGEN COMO RESULTADO DE LA INTEACCION DE LOS RAYOS X EN UN DE ESTUDIO ZONA DE COLOR AMARILLO 176
3.3.3. CAMERA 177
3.3.4. X-RAYS 179
3.3.5. IMAGE ADJUSTMENT AND CALIBRATION 181
3.3.6. SIZE OF THE COMPUTED TOMOGRAM 184
3.3.7. AVI EXPORT 187
3.4. OPCIONES TERCARIA DEL SOFTWARE 190
3.4.1. PROJECT 190
3.4.2. VIEW 191
3.4.3. CT 192
3.4.4. EFFECTS 193
3.4.5. HELP 195
3.5. CONFIGURACION DEL HARDWARE 196
3.5.1. LA CALIBRACION 196
3.5.2. USO ADECUADO DEL TOMÓGRAFO COMPUTACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDA 198
3.5.3. LA MANO DE ANNA BERTHA ROENTGEN 202
3.5.4. EL RATÓN DE LABORATORIO 204
3.5.5. EL ALIENÍGENA Y SU CEREBRO INTERCAMBIABLE 205
4. CONSTRUCCIÓN DE UN KIT DE MATERIALES PARA EL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN RADIACIÓN MATERIA EN EL TOMÓGRAFODE RAYOS X 208

4.1. APLICACIONES DE RADIOGRAFÍAS Y TOMOGRAFÍAS DE LOS COMPONENTES DEL KIT DE MATERIALES 217
4.2. LÁMPARA PARA VISUALIZACION DE RADIOGRAFIA CONVENCIONAL 224
4.3. CONSTRUCCIÓNN Y PLANEAMIENTO DEL VIDEO PARA EL APOYO DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X 226
4.4. TRASCRIPCIÓN DE LA VOZ DEL VIDEO GUÍA PRÁCTICA: MANEJO Y FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO 232
5. DISEÑO, PLANEACIÓN Y ESTRUCTURA DE ACTIVIDADES PARA EL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN RADIACION-MATERIA POR MEDIO DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X 258
5.1. ESTRUCTURA DE LAS ACTIVIDADES PARA DE LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMÓGRAFODEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS 259
5.2. DISEÑO DE TRES ACTIVIDADES PARA LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMOGRAFO 266
5.3. IMPLEMNTACION DE LAS ACTIVIDADES EN UN GRUPO CONTROL INTRODUCCIÓN 267
5.3.1. CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN: 268
5.3.2. SOCIALIZACIÓN Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 1 270
5.3.3. SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 2 273
5.3.4. SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3 277

5.4. INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL CUESTIONARIO SOBRE TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL 277
5.5. SOCIALIZACION Y DESAROLLO DE LA ACTIVIDAD DEL TALLER DE TOMOGRAFIA COMPUTACIONAL 289
5.6. SOCIALIZACION DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DEL CRUCIGRAMA 295
6. CONCLUSIONES 297
7. REFERENCIAS 299
8. ANEXOS 306
8.1. ANEXO 1: SCRIPT DE PROGRAMA EN MATLAB EN TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL 306
8.2. ANEXO 2: CRUCIGRAMA 309
8.3. ANEXO 3: PREGUNTAS DE OPCIÓN MÚLTIPLE 311
8.4. ANEXO 4: TALLER DE TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL 314
8.5. ANEXO 5: DIAPOSITIVAS DE LA ACTIVIDAD 1. 318
8.6. ANEXO 6: DATOS OBTENIDOS A PARTIR DEL DETECTOR GEIGER DE LA RADIACIÓN DE LOS RAYOS X EN LOS TUBOS COMO AU Y W 341
8.6.1. DETECCIÓN GEIGER A UNA EMISIÓN DE RADIACIÓN CONSTANTE EN FUNCIÓN DE TIEMPO 341
8.7. DETECCIÓN DE RAYOS EN FUNCIÓN DE KEV Y MA 343
8.8. DATOS DEL TUBO DE RAYOS X DE WOLFRAMIO W 351
8.9. ANEXO 7: RADIOGRAFÍA DE CADA OBJETO 356

8.10. ANEXO 8: CORTE DE IMÁGENES A PARTIR DE TOMOGRAFÍA DE LOS OBJETOS DEL KIT DE MATERIALES 377
8.11. ANEXO 9: GUÍA PRÁCTICA Y FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFO COMPUTACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS..... 399

TABLA DE FIGURAS.

Figura 1 Secuencia de las fases propuestas para la metodología en la enseñanza-aprendizaje basada en indagación. 27
Figura 2 Los elementos, interacción y cualidades según Aristóteles, descrito en el capítulo 4. 39
Figura 3 Retrato idealizado de Leucipo de Mileto por Luca Giordano La obra pertenece a la Pinacoteca Querini Stampalia. (1652) por Wikipedia (2025), bajo licencia CC BY-SA 4.0. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Leucipo_de_Mileto#/media/Archi 40
Figura 4 Posible pensamiento deductivo de la idea al descastarse un objeto hasta llegar a la unidad fundamental, lo indivisible por parte del pensamiento atomista..... 41
Figura 5 Estructura del modelo atómico según de la visión de Dalton en la cual caracteriza los elementos de la tabla periódica, recordemos que la tabla periódica lo creo mendeley después... 42
Figura 6 Adaptación y estructura de un tubo de Crookes. 44
Figura 7 Modelo del átomo de J.J. Thomson del "pudin o pastel de pasas" donde la esfera grande representa la carga positiva llamada positrón de su superficie de color cian, y la esfera pequeña de color morado representa la carga negativa conocida como electrones 44
Figura 8 Modelo del átomo de Rutherford se puede observar en la parte derecha donde se concentra su núcleo en su centro con sus electrones alrededor teniendo en cuenta el vacío que se encuentra en el átomo concordando con la experimentación y al lado izquierdo una simulación de phet, lo que muestra la trayectorias desviadas por las fuerzas colombianas entre los átomos de la lámina de oro y de las partículas alfas y lo podemos observar es las cantidad de partículas que no son afectadas en su trayectoria por el vacío. 45
Figura 9 Movimiento del electrón en el orbital alrededor de un núcleo sin perder energía 47
Figura 10 Representación de los diferentes orbitales permitido en la cual el electrón solo puede pertenecer 47
Figura 11 Modelo ideal del núcleo del átomo parte (a) como unidad, parte (b) estructura interna compuesta de protones y neutrones 48
Figura 12 Estructura del átomo con sus orbitales y su respectiva asignación de letra y numero 49
Figura 13 Representación del átomo con sus capas u orbitales en la distribución de los electrones. 50
Figura 14 Solución de la ecuación de Schrödinger para diferentes casos o parametro iniciales particulares del sistema 52
Figura 15 Representación pictórica de la distribución de la posición del electrón en el átomo .. 53
Figura 16 Representación gráfica de una onda electromagnética en el espacio. 57
Figura 17 Espectro electromagnético desde la franja del radio hasta el rayo gamma 60
Figura 18 Mapa conceptual de las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en todo es su espectro. 60
Figura 19 Mecanismo del efecto termoiónico al pasar una diferencia de potencial eléctrico por el filamento en diferentes procesos. 63

Figura 20 Tubos de rayos X del tomógrafo donde se encuentra de los siguientes materiales de izquierda a derecha: Molibdeno, Oro, Wolframio, Cobre y Hierro. 65
Figura 21 Radiografía del roedor con el tubo de Molibdeno con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9, 0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha 66
Figura 22 66
Figura 23 Radiografia del roedor con el tubo de Oro (Au) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha. 67
Figura 24 Radiografía del roedor con el tubo de Oro (Au) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha. 68
Figura 25 69
Figura 26 Radiografía del roedor con el tubo de Wolframio (W) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha. 70
Figura 27 Radiografía del roedor con el tubo de Wolframio (W) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha 70
Figura 28 Relación entre la cantidad de partículas detectado por segundo en función de la diferencia de potencial para cada amperaje de 1 y 0.7 m A para un tubo de Wolframio. 71
Figura 29 Radiografía del roedor con el tubo de Cobre (Cu) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9, 0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha. 72
Figura 30 Radiografía del roedor con el tubo de Cobre (Cu) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30,20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha 72
Figura 31 Radiografía del roedor con el tubo de Hierro (Fe) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha. 73
Figura 32 Radiografía del roedor con el tubo de Hierro (Fe) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha. 74
Figura 33 Radiografía del roedor con cada tubo de rayos X detallando las diferencias entre cada imagen. 74
Figura 34 Superposición de los datos obtenidos del tubo de Oro y Wolframio observando la gran cantidad de partículas detectadas por el Geiger en función de la diferencia de potencial. 75
Figura 35 Manejo de los datos de partículas por segundo estudiando por histograma y estadística del tubo de rayos X de oro (Au). 76
Figura 36 Adquisición de partículas por segundos detectadas del Geiger en función del tiempo del tubo de rayos X de Oro (Au). 77
Figura 37 Mecanismo de producción de rayos X por medio de la radiación de frenado "Bremsstrahlung" 79

Figura 38 Ilustración de la descripción de la producción de los rayos X de los fotones característicos donde A) el electrón se aproxima a interaccionar con el átomo, B) el electrón ioniza el átomo y los dos electrones sale de la interacción del átomo, c) el átomo busca su mínimo estado energético lo que un electro de los orbitales más alejado del núcleo, hace el salto cuántico al primer orbital y emite un fotón característico relacionado a los rayos X. 81
Figura 39 Cuantización de energía desde cada orbital 83
Figura 40 Imagen que relaciona la intensidad del tubo de la producción de rayos X en función de la longitud de onda, recordemos que se puede relacionar con la energía de los fotones. 84
Figura 41 Imágenes del tubo que permite la producción de rayos X, parte (a) se observa la ventana del tubo de vacío donde se emite los rayos X, (b) tubo de rayos X de perfil (c) representación del mecanismo de producción de rayos X. 85
Figura 42 Estructura de los componentes de una máquina que genera rayos X y sus elementos más fundamentales y simplificado. 87
Figura 43 Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Plata (Ag) Número atómico 47, parte derecha Oro (Au) Número atómico 79. 89
Figura 44 Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Hierro (Fe) Número atómico 26, parte derecha Tungsteno (W) Número atómico 74. 89
Figura 45 Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Molibdeno (Mo) Número atómico 42, parte derecha Cobre (Cu) Número atómico 29 89
Figura 46 En el efecto Compton, un fotón incidente interactúa con un electrón, desviándose con un cambio de energía y ángulo, mientras el electrón adquiere energía cinética y un nuevo ángulo 90
Figura 47 Experimento de la demostración del efecto fotoeléctrico, dentro de un tubo al vacío donde se le aplica un potencial y se sobrepone una radiación monocromática y se observa una corriente por el fenómeno cuántico. 93
Figura 48 La producción de pares ocurre de partículas cuando un fotón con energía superior a la masa de un electrón y un positrón, según la ecuación de Einstein, que interactúa con un núcleo como resultado dos partículas. 94
Figura 49 Parte izquierda dos partículas un electrón y positrón que van a interaccionar, la parte derecha dos fotones con una dirección entre un ángulo de 180° 95
Figura 50 Interacción del fotón y el átomo antes y después de la Dispersión coherente Rayleigh 95
Figura 51 Representación de la interacción de los rayos X con un objeto y la atenuación de su intensidad donde (a) se representa la intensidad de los rayos X, (b) es el objeto que va a interaccionar con los rayos X al penetrarlo en su interior y (c) intensidad. 97
Figura 52 Variables en la ecuación de Beer-Lambert: (a) distintos coeficientes de atenuación (μ) e igual longitud de penetración, y (b) diferentes distancias de penetración con mismo coeficiente (μ) 98
Figura 53 Interacción de la intensidad de rayos X, que interactúa con la materia con diferentes coeficientes de atenuación $\mu 1, \mu 2 y (\mu 3)$ y con sus respectivas distancias $x1, x2\ y\ (x3)$ 99
Figura 54 Simulación del espectro de los rayos X (a), (b) por medio de PENOLPE, (c) modelo de simulación en GEANT 4 101

Figura 55 Tres simulaciones de un conjunto de 9999 que se genera un numero aleatorio de o a 1 con pequeñas variaciones en su uniformidad y su respetiva estadística en la parte inferior. 102
Figura 56 La parte (a) simulación del movimiento browniano en 2D, (b) simulación en 1D en función del tiempo 103
Figura 57 Simulación simplificada de una trayectoria de un fotón dentro de un material parte (a) una sola simulación, parte (b) varias simulaciones de las trayectorias. 104
Figura 58 Simulación de la ecuación de atenuación de Ley de Beer-Lambert con variable aleatorias en la parte izquierda se introdujo en el interior de la función exponencial y la parte derecha se agregó en forma se suma afuera del exponencial y en la parte de abajo varias simulaciones..... 105
Figura 59 Radiografía de un roedor anexado a la caja del kit de materiales didácticos para la enseñanza. 106
Figura 60 Radiografía convencional lateral de cráneo de un infante 107
Figura 61 Vertebra cervicales con sus términos científicos de la anatomía de izquierda a derecha de (a), Cuerpos vertebrales de C2-C4 Corpora vertebrarum C2-C4 (b) Procesos transversos de las vértebras C2-C7 Processus transversi vertebrarum C2-C7 y (c) Procesos espinosos de las vértebras C2-C5 Processus spinosi vertebrarum C2-C5 (Navarro, 2023) 108
Figura 62 Radiografía panorámica dental que se puede apreciar la estructura del diente en la parte derecha. 109
Figura 63 En la parte (a) se encuentra la estructura del diente y (b) Radiografía periapicales en la cual se puede distinguir cuál es el empaste dental, raíz, cavidad pulpar 110
Figura 64 radiografía convencional aplicado al roedor perteneciente al kit de materiales, detallando..... 110
Figura 65 Radiografía digital del roedor conociendo su estructura ósea mencionada a continuación: (1) cara, (2) cráneo, (3) mandíbula, (4) vértebras cervicales, (5) vertebras torácicas, (6) vertebra lumbares, (7) sacro, (8) vertebras caudales, (9) costillas, (10) esternón, (11) escápula, (12) húmero, (13) radio, (14) cúbito, (15) pata delantera, (16) hueso de la cadera, (17) fémur, (18) tibia, (19) peroné, (20) pata trasera..... 111
Figura 66 Se observa la estructura convencional de cómo se genera una radiografía..... 112
Figura 67 Se observa la imagen en la parte (a) la mano de Anna Roentgen y (b) la mano didáctica para el uso del tomógrafo realizado en este proyecto actual 113
Figura 68 Primera generación de tomógrafos sistema traslacion-rotacion, haz de lápiz “..... 117
Figura 69 Segunda generación del tomógrafo computacional con una diferencia de haz de lápiz a abanico y su detector ya que se cambió de uno a treinta detectores, en la parte (a), (b) y (b) se muestra la traslación que hace el haz de rayos X después de terminar se rota con un ángulo de 10° grados, al tener un haz de forma de abanico se obtiene errores en cuanto a los detectores por la forma del haz por lo que se crearon filtros para corregir este error. 118
Figura 70 Tercera generación de tomografía computacional rotación-haz de abanico, (a), (b) y (c) la rotación del sistema haz de rayos X y el detector..... 118
Figura 71 Cuarta generación Sistema de rotación de haz tipo abanico con anillo o matriz de detectores circular estáticos (a), (b) y (c) secuencia de rotación del haz del rayo X, alrededor del objeto..... 119
Figura 72 Haz de rotación espiral, objeto o paciente simulado en el muñeco de color rojo 120

Figura 73 120
Figura 74 Interacción de rayos X con un cuerpo con diferentes objetos en su interior donde (a) es la fuente de emisión de los rayos X (b) cuerpo a estudiar con diferentes materiales u objetos en su interior y (c) es la interacción resultante de rayos X y (d) es el Zoom de objeto para ver con más detalle 121
Figura 75 (a) un objeto con coeficiente de atenuación constante (b) objeto constituido por diferentes materiales con diferentes coeficientes de atenuación $\mu n \neq \mu m \ \therefore \ m, n \in \mathbb{N}$ recordemos que el coeficiente de atenuación del agua tiene un valor cero bajos ciertas condiciones. 122
Figura 76 Adquisición de información atreves de dos objetos (1) coeficiente de atenuación constante y (2) un objeto con diferente coeficiente de atenuación. 124
Figura 77 Radiografía, herramienta de diagnóstico que tiene deficiencia en cuanto a la información completa del objeto 125
Figura 78 Interacción radiación materia antes y después y un detector de un objeto con coeficiente de atenuación variable 126
Figura 79 Mecanismo de adquisiciones de proyecciones en rotación del objeto y el almacenamiento de información, descripción de la figura la parte (a) es la fuente de rayos X, (b) el objeto con diferentes coeficientes de atenuación, (d) es el detector que recibe la atenuaciones de las radiaciones después de interactuar con el objeto, (e) es la información de las proyecciones a partir de un artefacto matemático incluido en la competición que guarda la intensidad y distancia paralela al detector que almacena la información y (1) y (2) es la secuencia de rotación de 0°, 30° y 52° grados. 126
Figura 80 Estructura del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad Distrital francisco José de caldas Donde la estructura y componentes se define como: (a) la fuente o emisión de rayos X, (b) es la abertura para controlar la dispersión de los rayos X con colimadores y filtros etc. (c) es el punto en la cual el cuerpo de estudio tiene una rotación sobre ese eje perpendicular al plano,(d) en la figura se muestra que el mismo cuerpo hizo una rotación de 90 el cuerpo que se estudia es para implementar la tomografía computacional y estudiar su estructura interna y propiedades,(e) Es una pantalla fluorescente en la cual al interactuar con los rayos X ya atenuados genera el fenómeno físico de la fluorescencia (es cuando un material interacciona con el fotón y después emite radiación a diferente frecuencia) por lo que se emite en el espectro visible, (f) es una cámara en la cual graba y genera las imágenes y videos que posteriormente el software lo procesa y lo convierte en radiografía y tomografías computacionales,(g) es un cable conectado de la cámara al pc computador en la cual recibe todos los datos para su respectivo proceso, (i) es otro cable en la cual controla el panel de control desde el pc y (h) el computador (pc) 129
Figura 81 (A) estructura del objeto a estudiar una elipse (b) y dos circunferencias (c) y (d) en su interior con sus respectivas dimensiones, la parte (A) y (B) el objeto rotando a 45° 130
Figura 82 Traslado de las respectivas distancias que atraviesa los rayos X en los diferentes cuerpos en el interior del objeto de estudio 131
Figura 83 Parte izquierda el objeto rotado en (a) a 0°, (b) a 45°, y (c) 90° y la parte derecha el mapeo de las distancias verticales del objeto y sus componentes en sus respectivos ángulos desde una recta paralela vertical 132

Figura 84 Simulación de p_α ξ a de las proyecciones a diferentes ángulos α: 0°, 45° y 90°. 135
Figura 85 Dos configuraciones de adquisición de datos Parte izquierda por centelladores, parte derecha adquisición de datos por cámara de video a través de una pantalla fluorescente. 137
Figura 86 En la parte superior está el objeto en estudio y las trayectorias de los rayos X en a y en la parte inferior la simulación de la intensidad de los rayos X atenuados en función del ángulo de rotación de 180° 137
Figura 87 En dos dimensiones en el eje y los datos de los ángulos y el eje x p_α ξ o las proyecciones, se conoce como sinograma porque al tener una rotación se genera una figura de forma senoidal, esto depende de la forma y estructura del objeto. 138
Figura 88 En la parte izquierda está el famton en Matlab y la parte derecha la imagen original de Shepp and Logan con su respectivo coeficiente de atenuación Shepp, L., & Logan, B. (1974) 140
Figura 89 Parte (a) se encuentra el phantom de Shepp-Logan y (b) Phantom que se diseño para la simulación, se cambiaron los colores y los objetos del interior fueron iguales entre sí por simplificación en la programación 140
Figura 90 Reconstrucción de imagen, parte superior del phantom de la cabeza y la parte inferior la figura propuesta de arriba, hacia abajo las dos primeras grafica del sinograma de las dos imágenes de la figura 88 y las dos últimas las reconstrucciones de imagen. 141
Figura 91 Sinograma información de las proyecciones desde 0° a 360° 143
Figura 92 Reconstrucción de imagen a partir del sinograma de la figura 89. 144
Figura 93 Proceso completo de construcción de imagen y mecanismo inverso de la reconstrucción de la figura de un cubo 145
Figura 94 Fotografía del Tomógrafo de la universidad distrital francisco José de caldas 148
Figura 95 Secciones del tomógrafo de rayos X del laboratorio de física 151
Figura 96 Dos objetos con la peculiaridad de tener diferente ancho (l) 152
Figura 97 Muestra de un recipiente al ser rotada que contiene un líquido y su forma cambia por la estructura que la ocupa, una propiedad de los líquidos, y el nivel por la gravedad 153
Figura 98 Sección a) Panel de control del tomógrafo computacional y el tubo responsable de la emisión de rayos X 155
Figura 99 Conexión del tomacorriente al tomógrafo y botón de apagado y encendido 155
Figura 100 Esbozo de del panel de control con sus diferentes funciones de cada botón y sus asignaciones (Hund, 2005), 2) 156
Figura 101 Zona donde se sitúa el tubo de rayos X y su sistema extractor de calor 160
Figura 102 Secuencia en el tiempo del encendido del tubo de rayos X al pasar el voltaje por el filamento 160
Figura 103 Sistema de refrigeración del tubo de rayos X, que se compone de un disipador de calor y ventilador extractor 161
Figura 104 Visualización de un objeto con carga “electrón” en movimiento acelerado en la simulación de phet: 162
Figura 105 Abertura donde se emite la radiación de los rayos X dispensable para colocar filtros y colimadores dependiendo el experimento que se va a realizar 164
Figura 106 Diferentes colimadores y filtros (a) es circular (B) y (C) es de forma rectangular 165

Figura 107 Ficha técnica del tomógrafo sobre parámetros eléctricos del tomógrafo de rayos X. 166
Figura 108 Funcionamiento del goniómetro al rotar el objeto de estudio del objeto de color negro 166
Figura 109 Movimiento secuencial del brazo que sostiene el detector Geiger. 167
Figura 110 Goniómetro su función es rotar el objeto de estudio de izquierda a derecha en la apertura se encuentra un colimador y una muestra y en las dos últimas el goniómetro 168
Figura 111 Riel instrumento para adecuar dispositivos dentro la caja de experimentación..... 168
Figura 112 Estructura básica de un contador Geiger b y c contador Geiger del tomógrafo de rayos X enmarcado de color rojo 170
Figura 113 Imágenes del sensor de rayos X (554 8281)..... 170
Figura 114 sección C compute tomography module (554 821)..... 171
Figura 115 Pantalla fluorescente conectando la sección B y C 172
Figura 116 Cámara que toma los datos de la interacción de los rayos X con el cuerpo a estudiar 172
Figura 117 Tomógrafo conectado al computador..... 174
Figura 118 Pantalla de inicio del software para la tomografía de rayos X..... 176
Figura 119 Donde se muestra las imágenes, videos y proyecciones del tomógrafo de rayos X 176
Figura 120 Opciones para el uso del tomógrafo de rayos X..... 177
Figura 121 Opciones de video device “Dispositivo de video” 178
Figura 122 Opción Video input 178
Figura 123 De Average of video per imagen “Promedio de cuadro de video por imagen” 179
Figura 124 Parámetros iniciales para los rayos X..... 179
Figura 125 Configuración de imagen de ajuste y calibración 181
Figura 126 De la sección Size of the Computed Tomogram..... 184
Figura 127 Sección de Avi export y sus características..... 187
Figura 128 Diferentes formatos para la extracción de información por medio video 188
Figura 129 Visualización del menú de proyectos..... 190
Figura 130 Los archivos con diferente extensión para 2D y 3D 191
Figura 131 Muestra el menú de vista..... 192
Figura 132 Opciones de CT de la parte pestaña superior 192
Figura 133 Menú de Effects “efectos” en la imagen de la tomografía computacional 193
Figura 134 Menú de ayuda del tomógrafo computacional 195
Figura 135 Contador Geiger recibiendo radiación del tomógrafo con los vidrios completamente cerrados. 197
Figura 136 Icono de software tomograpy computer de lc didactic..... 201
Figura 137 Las radiografías propuestas fueron tomadas del kit de materiales propuesto en el capítulo 4. La radiografía de izquierda a derecha se empieza con la mano didactica, en el centro está un roedor y en la derecha el alíen con cerebro 201
Figura 138 Imagen tomada de ANNA BERTHA ROENTGEN (1833-1919): LA MUJER..... 202
Figura 139 Radiografía de la mano didáctica, en la cual se puede apreciar un anillo, huesos y una aguja como objeto externo. 203

Figura 140 Imagen de la radiografía del ratón en diferentes perspectivas 204
Figura 141 Imagen del alienígena que se puede intercambiar los cerebros con diferentes estructuras 205
Figura 142 Construcción de la lámpara para radiografía convencional y repositorio de radiografías 225
Figura 143 Utilización de la lampara con diferentes radiografías, de izquierda a derecha cabeza de niño, roedor del kit de materiales y una panorámica dental..... 225
Figura 144 Línea del tiempo del video: Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado..... 230
Figura 146 La frecuencia de opciones que respondieron en la pregunta 1. 280
Figura 147 Estadística del porcentaje de las opciones escogidas por el estudiante en la pregunta 2..... 282
Figura 148 Frecuencia de votación de las opciones múltiples de la pregunta 3..... 284
Figura 149 Estadística de las opciones que escogieron en la pregunta 4. 286
Figura 150 La frecuencia de las opciones escogidas de la pregunta 5 288
Figura 151 Porcentaje de las opciones correctas del cuestionario..... 289
Figura 152 Radiografías del roedor a diferente ángulo a) 0°, b) 103° y c) 167° 290
Figura 153 Radiografía con diferentes potenciales eléctrico a)25 keV, b) 30 keV y c) 35 keV con una constante de 1 mA del tubo de rayos X..... 291
Figura 154 Cortes axiales de la tomografía del lagarto del kit de materiales..... 292
Figura 155 Fotografía y radiografía de la regleta de varios objetos del kit de materiales..... 293
Figura 156 Fotografía en la variación de la intensidad a1), b1), c1) y variación de trasparencia en a2), b2), c2) 294
Figura 157 Captura de los parámetros de variación de intensidad y trasparencia de la figura 157. 294

CONTENIDO DE TABLAS.

Tabla 1 De los diferentes parámetros de objeto en la tomografía computacional como la intensidad inicial y los coeficientes de atenuación de la elipse y las dos circunferencias como μ_2 rojo 133
Tabla 2 Los diferentes voltajes que se pueda elegir para la emisión de rayos X en kV. 180
Tabla 3 Las diferentes intensidades o corriente eléctrico que se le puede aplicar al ánodo. 180
Tabla 4 Los diferentes coeficientes de atenuación que se puede definir para el agua. 181
Tabla 5 Rango máximo o mínimo de Distortion correction (%) 182
Tabla 6. Rango máximo o mínimo de Horizontal shift (píxel) 183
Tabla 7 Rango máximo o mínimo de Vertical shift (pixel) 183
Tabla 8 Rango máximo o mínimo de Distortion correction (%) 183
Tabla 9 Muestra las opciones de Distance of screen from rotary axis (mm) 184
Tabla 10 Muestra las diferentes magnitudes angular es que se generan en la rotación total 185
Tabla 11 Rango máximo o mínimo de pixel2 186
Tabla 12 Diferentes volúmenes de reconstrucción de un voxel pixel^3 186
Tabla 13 Diferentes formatos de videos disponibles en el tomógrafo de rayos X 187
Tabla 14 Se muestras las diferentes imágenes por segundo en el video 189
Tabla 15 De los diferentes tiempos para la duración del video 189
Tabla 16 Descripción de cada uno de los compontes del kit de materiales 208
Tabla 17 Aplicación de tomografía de algunos objetos del kit de materiales 218
Tabla 18 MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA PRIMERA ACTIVIDAD 259
Tabla 19 MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA SEGUNDA ACTIVIDAD 262
Tabla 20 MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA TERCERA ACTIVIDAD 265
Tabla 21 Se muestra la estadística de las opciones en cada tema que se marcaron en el cuestionario 278
Tabla 22 La primera pregunta y sus opciones múltiple y cuantas personas escogieron su respuesta con su personaje 280
Tabla 23 Muestra la cantidad de opciones que escogieron los participantes de la pregunta 2 .. 282
Tabla 24 Frecuencia de las opciones contestadas de la pregunta 3 y su porcentaje 284
Tabla 25 Frecuencia de las personas que escogieron las opciones en la pregunta 4 285
Tabla 26 Frecuencia de opciones elegidas por los estudiantes en la pregunta 5. 287
Tabla 27 Porcentaje de las preguntas correctas del cuestionario con su porcentaje 288
Tabla 28 Desarrollo del crucigrama con su descripción y su respuesta 296
Tabla 29 Detección del detector Geiger a una radiación constante en función del tiempo del tubo de Oro 341

TABLA DE ECUACIONES.

Ecuación 1 Relación entre la longitud de onda y el Momentum materia 51
Ecuación 2 ecuación de plank de la eneregia. 51
Ecuación 3 Ecuación de Schrödinger 52
Ecuación 4 Ecuación de onda plana en forma de ecuación diferencial de segundo orden 56
Ecuación 5 Solución de la EDO de segundo grado de una onda electromagnética 56
Ecuación 6 Ecuación que describe teóricamente la velocidad de propagación de una onda electromagnética a partir de las constantes de permitividad eléctrica del vacío y la Permeabilidad magnética del vacío 57
Ecuación 7 Solución de la velocidad de propagación de la onda reemplazando su contantes por su medida numérica 58
Ecuación 8 Ecuación de relaciona la frecuencia son inversamente al periodo. 58
Ecuación 9 Relación entre la velocidad de la luz con la frecuencia y la longitud de onda 59
Ecuación 10 Relación entre el potencial eléctrico y la energía cinética que adquiere los electrones 64
Ecuación 11 Relación de la función lineal entre la cantidad de partículas por segundo con relación de la diferencia de potencial del tubo de rayos X de wolframio. 72
Ecuación 12 Tendencia decreciente de la adquisición de datos de las partículas por segundo de rayos X del tubo de rayos X del oro (Au) en función del tiempo 78
Ecuación 13 Diagrama energético del mecanismo de la producción de rayos X por medio de la radiación de frenado. 80
Ecuación 14 Ecuación de la energía del fotón resultante después de la interacción con el átomo 81
Ecuación 15 Relación entre la energía que se podía detectar en función de la frecuencia de radiación monocromática y la función de trabajo del material de la placa. 92
Ecuación 16 Ecuación que relaciona la energía de una partícula con su masa cuando está en reposo o ecuación de Albert Einstein, aunque tiene varias ecuaciones 94
Ecuación 17 Ecuación que relaciona Intensidad de los rayos X, al interaccionar con un objeto con condiciones iniciales como el coeficiente de atenuación y su grosor o distancia paralela a la penetración de los rayos X e intensidad inicial. 96
Ecuación 18 Ecuación que relaciona el coeficiente de atenuación a otras variables físicas. 97
Ecuación 19 Ecuación de un conjunto delimitado de números aleatorios 102
Ecuación 20 Ecuación de Beer- Lambert con integral de línea en función del coeficiente de atenuación y la distancia de penetración 133
Ecuación 21 Ecuación de beer-Lambert modificada parte 1 134

Ecuación 22 Ecuación de beer-Lambert modificada parte 2 134
Ecuación 23 Ecuación de beer-Lambert modificada parte 3 134
Ecuación 24 Ecuación de beer-Lambert modificada integral parte 4 134
Ecuación 25 Ecuación de trasformada de radón parte 5 135

1. INTRODUCCIÓN, CONTEXTO Y DISEÑO METODOLÓGICO.

1.1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad no tenemos en cuenta los logros científicos y tecnológicos que tenemos a nuestra disposición en nuestra sociedad, que se ha venido creando y desarrollando por medio de la experimentación y construcción de las teorías a través del tiempo, de lo que conocemos en la naturaleza, al estudiar, analizarla y los descubrimientos al quedar plasmada como la escritura, el barco, la bomba atómica, han marcado un cambio significativo, aunque siempre habrá consecuencias a largo plazo por su uso.

El trabajo pretende generar herramientas y apoyo para la enseñanza y didáctica en la comprensión de los rayos X mediante la tomografía computacional, teniendo en cuenta el marco teórico que comprende los hechos históricos relevantes en su desarrollo de la ciencia y la tecnología, por fenómeno físico que involucran la interacción de los rayos X mediante el tomógrafo y la interacción radiación materia como la atenuación, absorción y procesos cuánticos como el efecto fotoeléctrico, efecto Compton entre otros reflejados en la imagenología de los formatos de radiología y tomografía.

Partiendo de lo anterior vemos necesidad de generar un breve manual hacia el adecuado uso del tomógrafo de rayos X, su estructura, sus partes, y su funcionalidad, ya que uno de los

factores es el desconocimiento en el uso y su gran potencial en el apoyo en las prácticas de laboratorio en física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Después de construir un manual del tomógrafo computacional, se busca crear un kit de objetos de diferentes materiales y morfologías y estructuras complejas para usos adecuados en la investigación, la enseñanza y didáctica en la tomografía computarizada, teniendo en cuenta objetos biológicos como un roedor, una lagartija y una cabeza de gallina entre otros.

Por último, se genera actividades que se pueden aplicar en un curso de física moderna o en física médica orientado hacia los docentes que compartan estas materias para apoyo para sus clases, orientado en la enseñanza que conlleva tomografía computacional considerando el kit de materiales y todo lo anterior con los parámetros y estructura de las actividades que se enmarca en la metodología mencionada a continuación.

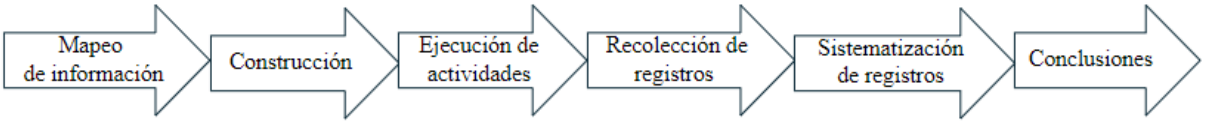
La metodología tiene enfoque en la enseñanza-aprendizaje basada en la indagación en torno a las Actividades para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Se tendrá en cuenta en el marco del paradigma cualitativo (2010), y de enfoque interpretativo (Silverman, 2015) en la metodología la cual se tendrá una serie de Fases y Capítulos ya establecida para su Construcción y contenido de esta monografía descrita por un modelo de enseñanza-aprendizaje Basada en la Indagación (Arcos F, 2021).

En cuanto a la descripción de las fases se ha establecido por tareas o contenidos a realizar en la cual vendrá desarrollando linealmente enfocados en varios capítulos como la construcción de un manual para el tomógrafo de rayos X, diseños de unos experimentos de física moderna

enfocado a la interacción radiación materia con una serie de materiales para la investigación en el tomógrafo de rayos X como se aprecia en la figura 1.

Figura 1

Secuencia de las fases propuestas para la metodología en la enseñanza-aprendizaje basada en indagación.



FASE 1: MAPEO DE INFORMACIÓN. La fase mencionada consiste en la adquisición de información de carácter académico e investigativo, generando una delimitación entre las dos áreas de interés que abordaremos en este trabajo, uno esa la parte de la enseñanza y aprendizaje (Arcos, 2021). Mientras la otra vertiente son los fundamentos físicos que denotan la física implicada en la interacción radiación materia como la producción de rayos X, los fenómenos físicos interno que lo conlleva como el efecto fotoeléctrico, Compton y producción y aniquilación de pares como lo implicado en la tomografía computacional.

FASE 2: CONSTRUCCIÓN de esta fase consiste en la creación de este documento previsto con los fundamentos mencionados en la primera fase, lo didáctico, la enseñanza y el conocimiento relacionado con la tomografía computacional, haciendo la creación de un manual práctico-teórico en la utilización del tomógrafo computacional y ejercicios y actividades para la enseñanza acompañados del mismo, y un kit de diferentes materiales que se puedan usar en la tomografía computacional para el aprendizaje y formación de docentes y estudiantes con interés de la física moderna y temas relacionados con la tomografía.

FASE 3: EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES. En esta fase se proyecta construir una serie de actividades para la enseñanza en la interacción de radiación materia en el rango de rayos X y la aplicabilidad en la tomografía computacional, teniendo una posible ejecución desde un preámbulo histórico entrono a los rayos X hasta del día de hoy. en que se realiza la tomografía computacional seguido de la creación del manual del tomógrafo de rayos X de la universidad y la experimentación, con la construcción de kits de materiales creados para apoyo en el tomógrafo. También se plantea que se realiza en formato de taller o guía de laboratorio para una duración de tres clases planteado a un curso de física moderna, y su evaluación del aprendizaje.

FASE 4: RECOLECCIÓN DE REGISTRO. Tenemos el insumo del manual del tomógrafo de rayos X junto con los resultados de la ejecución de actividades, que se recolectará los resultados obtenidos a partir de encuentras de opción múltiple que evalué cinco temas relacionados con el desarrollo de este trabajo, después se busca es definir y organizar la información para que sea lógica y comprensible con una solución plausible en el propósito de este trabajo.

FASE 5: SISTEMATIZACIÓN DE REGISTROS. Con ello se busca definir una adecuada secuencia mencionada anteriormente en la fase 4, ya que mencionado que tenemos una implantación en la metodología cualitativa de corte interpretativo, por lo cual busca tener buen manejo de la Información y organización de este, ya que es muy importante en el análisis de datos en este formato.

FASE 6: CONCLUSIONES. esta última fase consiste en anexarlo en el documento final con los elementos mencionados y analizar los resultados del manual, actividades, finalización del kit de materiales mencionados con el propósito de los objetivos generales y especifico en torno a

este trabajo, también se busca encontrar falencias y aceptación en las actividades realizadas para una mejor investigación.

1.2. CONTEXTO Y JUSTIFICACIÓN

En la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales en el laboratorio de física, se tiene una gran adquisición de aparatos para enseñanza, investigación y didáctica de las ciencias físicas en apoyo al pénsum académico de diferentes carreras, ha tenido un sin número de instrumentos que son de utilidad a la carrera, sino que da apoyo a las otras carreras afines en ciencia naturales como ingeniería entre otras.

Y en su gran inventario, el propósito es el tener una gran cantidad de instrumentos que busca generar un ambiente de enseñanza y comprensión en lo en todos los fenómenos físicos desde la mecánica, calor, electricidad, electrónica, óptica, física moderna y nuclear hasta la física del estado sólido en la experimentación, con apoyo de diferentes compañías que se encargar de crear instrumentación para fines didácticos como lo es la empresa Leybold entre otras.

También hay que tener en cuenta que desde que se creó a la Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales junto a la carrera de física, química y biología se ha venido en aumento en la compra de equipo de última generación y con enfoque de investigación en la aplicabilidad en la sociedad, además de enseñanza y el aprendizaje que tenía como objetivo ya que antes el laboratorio de física pertenecía a la facultad de ciencias y educación.

Considerando una situación en particular mencionado anteriormente es que en su gran adquisición anteriormente es el de traer de otro país un instrumento como el del tomógrafo de rayos X 554800 y sus complementos en la cual su uso es limitado, por diferentes motivos como

la emisión de radiación ionizante y el desgate de rayos X, y por eso se tiene que tener un protocolo en la seguridad del usuario, del lugar y su uso, otro factor está en el cuidado del dispositivo, por ser de otro país sus componentes son de difícil adquisición y traslado por lo que su costo es elevado por eso hay acompañamiento técnico y procedimental de un profesional del laboratorio como asistente en el dispositivo, fue uno de los encargados del laboratorio de física el profesional ANDRES RUBÉN BARÓN ALDANA, donde se emplean las normas de seguridad adecuadas durante su uso.

1.3. PROBLEMAS DE INVESTIGACION

Uno de los problemas que enfrenta la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS son los pocos recursos en referentes didácticos en la interacción radiación materia en física moderna, enfatizando la tomografía de rayos X, y el poco uso práctico por motivos como el desconocimiento del equipo del laboratorio de la licenciatura en física, nos vemos en la necesidad de orientarnos teórica y didácticamente en este equipo y los fenómenos físicos que este conlleva para aprovechar los recursos instrumentales de los laboratorios. También tejer y nutrir la enseñanza de la física moderna desde la fenomenología estudiada desde el equipo.

El estudio de la física moderna usualmente se da entorno a elementos teóricos y a una secuencia que está determinadas por un orden que dan los libros de texto, currículum o estándares educativos sin embargo, se tiene pocas opciones prácticas para el estudio, uno de los elementos que se proponen es tratar de establecer en el propósito de la monografía es enseñar actividades para la enseñanza que permitan el estudio de la interacción radiación materia a partir del estudio de los rayos X en la tomografía computarizada.

La tomografía computarizada es una técnica de obtención de imágenes basada en la interacción de los rayos X con la materia presente en la muestra u objeto. Los rayos X son detectados y procesados mediante diversos principios físicos y matemáticos, permitiendo la reconstrucción de imágenes espaciales y temporales a través de un software especializado como *Computed Tomograpy*. En síntesis, este proceso da lugar a la generación de tomografías computarizadas, Por ende, es menester diseñar actividades didácticas que permitan generar procesos de compresión en la interacción radiación materia, haciendo uso práctico del tomógrafo de rayos X, para docentes en formación e interesados en la física moderna con aplicaciones en física médica y análisis de materiales entre otras.

En el proyecto curricular de la Licenciatura en Física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS con el apoyo de la Facultad ciencias Matemáticas y Naturales se encuentra un dispositivo que visualiza objetos escudriñando su interior por la interacción radiación-materia; el equipo tiene características que permiten ver la acción de los rayos X en diferentes contextos. Uno de los objetivos de este trabajo es el diseño de una serie de actividades que le apuesten a la compresión de la interacción radiación-materia enfocado a los rayos X.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los objetivos que se plantearon fueron acordes a la necesidad que se presentaba al realizar en los últimos cursos de la licenciatura en física, su factor predominante son los estudios de la física después de los años 1900 o “física moderna” ya que en la actualidad se han generado trasformaciones y creaciones en la ciencia y tecnología y la física moderna ya no es tan moderna al pasar el tiempo.

Los objetivos propuestos en el presente estudio se definieron en dos categorías como objetivo general y objetivos específicos.

El OBJETIVO GENERAL: es crear recursos y actividades didácticas que incluyan el estudio del fenómeno físico de la interacción radiación materia mediante el tomógrafo de rayos X del laboratorio de física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS son los siguientes: en identificar y compilar varios referentes pedagógicos, didácticos, físicos e históricos relacionados a la propuesta en una secuencia didáctica en la enseñanza basada en la indagación.

Exploración y caracterización del dispositivo del tomógrafo de rayos X, al diseñar un manual del uso y funcionamiento.

Planeación y selección de posibles actividades a realizar con el tomógrafo de rayos X. Probar las actividades y propuesta de enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo con un grupo control, estudiando sus resultados para cambios de este.

Construcción de un módulo de actividades a realizar con el tomógrafo de rayos X.

Interpretación y conclusiones de las actividades realizadas en el grupo control.

1.5. METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA POR MEDIO DE LA INDAGACIÓN

En la metodología propuesta mencionada en la introducción nos enfocamos en la metodología cualitativa de corte interpretativo mencionado en el artículo del docente Arcos Martínez, F. O. (2021). *Aprender indagando: base para una transformación del modelo de enseñanza en la formación de profesores*. Recuperado de: http://hdl.handle.net/11349/29821.

Considerando las fases mencionadas en el artículo, se realizará una investigación cualitativa e interpretativa desde la construcción de actividades para enseñar la física moderna con el tomógrafo de rayos X que está en los laboratorios de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. En la cual se hará una revisión y construcción de referentes pedagógicos y didácticos en el marco la investigación presente, seguido de revisiones bibliográficas y referencias en fundamentos físicos enfocados a tópicos de la física moderna que abarquen temas de la mecánica cuántica como la cuantización de la energía, la dualidad onda-partícula y la estructura del átomo. También se estudiará fenómenos relacionados con la interacción radiación materia como se presente en los fenómenos como del efecto Compton, el efecto fotoeléctrico, en la dispersión, absorción de la luz, junto al coeficiente de atenuación, transferencia y absorción.

Seguido de la exploración, manejo y adecuado uso con las respectivas normas de protección y seguridad para el uso del tomógrafo de rayos X con las características del dispositivo 334 800 x-ray, que contiene tres compartimientos, el primero es donde se emite la fuente de rayos X, unido por una apertura donde se puede ajustar con un colimador que deja pasar los rayos de forma paralela y uniforme, seguido de un compartimiento que en su centro se encuentra un goniómetro donde se coloca el objeto y se puede rotar para su estudio, por ultimo está al lado se encuentra el módulo 554 821 "*computed tomography*" donde está la cámara donde se recibe la información del resultado de la interacción radiación materia, este dispositivo se encuentra en los laboratorios de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Por ello, se desarrolla un manual descriptivo para el uso de estudiantes y docentes para su adecuado manejo del dispositivo y para entender su funcionamiento y aplicaciones.

Se reunirá una serie de actividades y posibles guías de laboratorio en la experimentación de diferentes fenómenos físicos enfocados a la interacción radiación materia que se puedan desarrollar en el tomógrafo de rayos X.

En la cual se busca la construcción y diseño y una secuencia de actividades orientadas al maestro y estudiantes como posibles actividades para la experimentación en el laboratorio de física, para la comprensión de la interacción radiación materia que puede ser aplicada a las materias de física moderna como la física moderna 1 y 2 o mecánica cuántica que están en los semestres de séptimo a noveno, del proyecto curricular de la licenciatura en física entre otras carreras.

Se aplicarán las actividades y materiales para enseñar en la interacción radiación materia en un grupo, que estén cursando en temas de física moderna donde se plantean actividades programadas en el aula de clase, y se estudiarán los resultados y conclusiones y de la llegada de posibles cambios y reestructuración de actividades planteando para que sea un óptimo desarrollo de las actividades propuestas.

También se buscará identificar problemas de la enseñanza al abordar temas relacionados con la interacción radiación materia y temas relacionados con la implementación de dispositivos en la experimentación con el tomógrafo de rayos X.

Y al final se construirá un documento que compile el proceso antes mencionado enfocado a un estudio cualitativo, entendiendo la interacción radiación materia mediante rayos X, en la cual se busca escoger entre las opciones mencionada a continuación para una adecuada estrategia de evaluación y proceso en el aprendizaje mediante preguntas de opción múltiple, y se considerarán el taller de formato procedimental y descriptivo en torno a la aplicación del tomógrafo, que dé

cuenta del proceso de enseñanza-aprendizaje validando por el diseño para su presentación como trabajo final de la monografía propuesta.

Y por último busca diseñar y compilar un conjunto de varios objetos de diferentes materiales y características fiscas para el estudio y caracterización de los fenómenos de la interacción radiación materia al ser aplicados en el tomógrafo de rayos X, aumentando los objetos que ya está en el laboratorio para su estudio y que se designara en apoyo a los laboratorios de física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS para su investigación y demostraciones didácticas para su enseñanza.

Se plantea inicialmente un cronograma o un plan de acción de todas las actividades a seguir para el cumplimento del informe final.

PRIMERO es identificar los referentes pedagógicos, y didácticos y físicos relacionados con la propuesta de una secuencia de enseñanza.

SEGUNDO compilar referentes físicos relacionados con la interacción radiación materia y algunos referentes históricos del instrumento del tomógrafo de rayos X,

TERCERO describir y diseñar un manual del funcionamiento del tomógrafo de rayos X

CUARTO diseñar una secuencia didáctica para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo de rayos X

QUINTO probar las actividades propuesta en un grupo control con el fin de establecer inexactitud en las actividades y problemas de enseñanza en un grupo control

SEXTO interpretar los resultados de las actividades realizadas en el grupo control

SÉPTIMO diseñar un kit de objetos de diferentes materiales para el estudio y fenómenos físicos estudiando en el tomógrafo de rayos X.

Y estos son los procesos por seguir para elaboración del documento final.

2. FUNDAMENTOS FÍSICOS E HISTÓRICOS DE LOS RAYOS X.

En este capítulo abordaremos lo necesario para dar un panorama general y superficial en conceptos e ideas, teniendo en cuenta la línea de tiempo, describiendo la historia de los sucesos de que la humanidad generó el concepto y conocimiento de lo que conocemos del átomo desde Demócrito hasta hoy.

Posteriormente, se describen los fenómenos físicos relacionados interacción radiación-materia con enfoque en los rayos X, desde el campo electromagnético, la noción del fotón, la estructura del átomo y su interacción englobando en los fenómenos de la física cuántica, seguido de la caracterización de la tomografía computacional y su evolución tecnológica en paralelo de la descripción histórica procedente desde el descubrimiento de los rayos X.

2.1. DIVISIBILIDAD DE LA MATERIA Y EVOLUCIÓN DEL ÁTOMO

2.1.1. MODELO DEL ÁTOMO DE DEMÓCRITO

En el desarrollo de los modelos atómicos, los conceptos que conocemos sobre el átomo no constituyen una verdad absoluta, sino que tienen una forma de estructura para explicar y formular hipótesis y leyes sobre fenómenos físicos. El estudio del átomo ha evolucionado a lo largo de la historia como un proceso de aproximación a la “realidad”, más que como una representación definitiva de su concepto.

Son una forma de proporcionar, estructura, explicación, hipótesis, leyes sobre las ideas de lo que ocurre en los fenómenos físicos. En este caso, se refiere al estudio del átomo, pero no es una idea definida historia históricamente, sino un acercamiento o una aproximación de lo que sabemos de la realidad según nuestra representación en nuestro imaginario, y una de las propiedades radica en su relación con los seres humanos por estar en una dinámica de cambios y variaciones estructurales que modifican forma de concebirse y ver la realidad mediante de la teoría y experimentación.

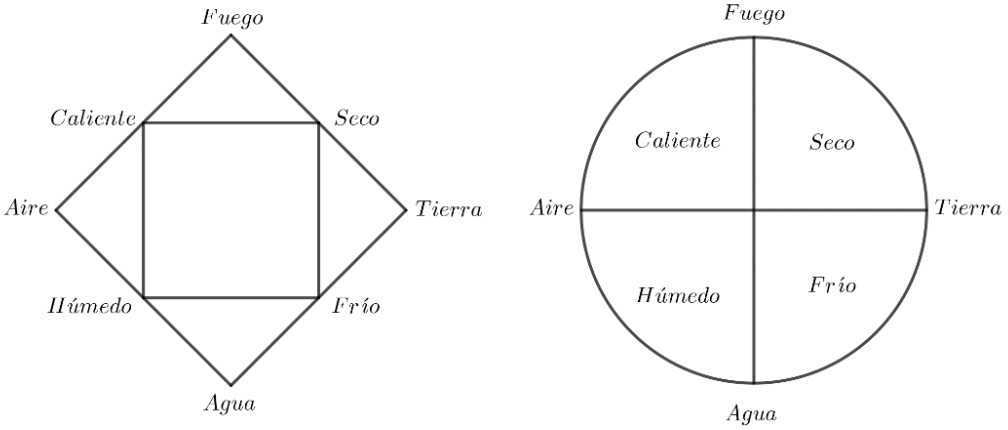
En los registros de lo que conocemos del pasado y que la información se queda en el tiempo, ya sea en documentos como el papiro, relatos hablados de un conocimiento en que la comunidad preserva trasmitiéndolo de generación en generación como es caso de la Grecia antigua en el siglo XII Hasta el año 146 a. de C se empieza a gestionar lo que conocemos como filosofía presocrática en la cual se empieza a crear un modo pensamiento de la explicación de los sucesos y fenómenos que afectan nuestra cotidianidad y cuestiones abstractas cosas como la cosmología, la creación de la vida, lo fundamental del cosmos y la ontología.

La forma de entender la historia de la filosofía y el desarrollo de la física se puede clasificar por medio de etapas, períodos o ciclos en la cuales se empieza por el *mito* y el *logos*, por lo que se presenta la creación de los dioses para la humanidad, en la cual se le dan dotes *divinos* a estos dioses y el control de los cambios y suceso que estén relacionados con la humanidad y la naturaleza, verbigracia si truena o cae un rayo en una tormenta, se considera consecuencia de un dios, si tiembla también, por esta razón se crean diferentes dioses para cada suceso y función, Se creía que los dioses que hacían y creaban todo lo que podíamos ver y el futuro y del mismo, así como la dinámica y los cambios de la naturaleza (Pullman, 1995).

Posteriormente, el razonamiento y la filosofía se plantean en diferentes lógicas y se enfocan en la explicación de los sucesos producidos por un ente divino y se sustentan con hipótesis e ideas para el entendimiento de las dinámicas de la naturaleza, distintas a las consecuencias de un ente o ser “humanoide” divino así es como se crea la vida a partir de los elementos o materiales de la tierra tal es el agua (Tales), aire (Anaxímenes), fuego (Heráclito de Éfeso) o la reunión de las anteriores junto a la tierra según Empédocles de Agrigento (Pullam,1995). En la cual buscan el origen de las cosas como se observa en la figura 2. Así como también de la vida y todo lo que es la naturaleza en la visión de estos pensadores y en consecuencia vemos que así nacen las diferentes escuelas de conocimiento que entran en la discusión y le dan bases sólidas de lo que conocemos como ciencia física y las bases del átomo como los problemas del vacío, lo discontinuo y el infinito.

Figura 2

Los elementos, interacción y cualidades según Aristóteles, descrito en el capítulo 4.



Nota. Pullman, B. (2010). El átomo en la historia de la humanidad (p. 81). Ediciones de Intervención cultural.

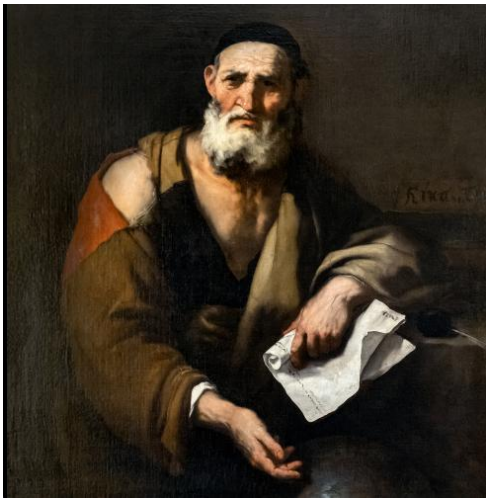
Y concuerda con los intereses, se pensaba que la constitución o lo que conformaba la materia se fundamentaba en la unidad de materia que se llamó átomo desde el griego. Del lat. *atŏmus*, y este del gr. *ἄτομον* átomon, n. de *ἄτομος* átomos '***que no se puede cortar***', '***indivisible***'.

Según el diccionario de la lengua española (23.ª edición). Consultado el 20 de julio de 2023.) y que hay una infinidad de estos objetos llamados átomos que se agrupan y conforman los distintos objetos, las cosas que conocemos como una piedra, el queso, una espada ocupando un espacio en la cual hay vació. Estos átomos se movían y chocando entre sí, generando pensamientos sobre el cosmo del ser y de la naturaleza misma.

O también se podría deducir la teoría de la unidad fundamental del átomo de la vida cotidiana, como en el desgaste de las cosas, como el desgaste del filo de un cuchillo cuando se utiliza de manera consecutiva, o las ruedas de una carreta cuando tiene mucho uso como se muestra en la figura 4. O tal vez al ver un racimo de uvas y ver la composición de lo que conforma las uvas, al ser como una unidad pegada al racimo en una noche de vino y festejo, ya que era muy común en la antigua Grecia por el filósofo Jonio Leucipo (alrededor de 450 a. de C.) como se muestra en la figura 3.

Figura 3

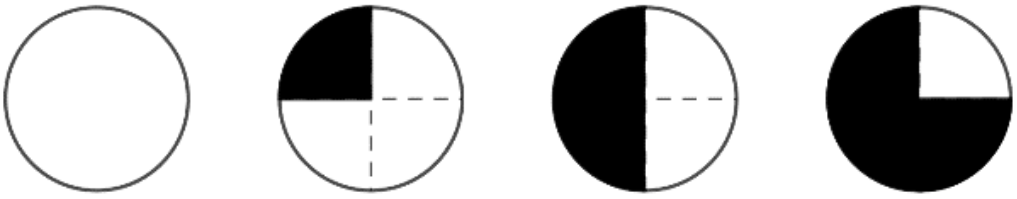
Retrato idealizado de Leucipo de Mileto por Luca Giordano La obra pertenece a la Pinacoteca Querini Stampalia. (1652) por Wikipedia (2025), bajo licencia CC BY-SA 4.0. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Leucipo_de_Mileto#/media/Archi



Nota. Giordano, L. (1652). Leucipo de Mileto [Pintura]. Wikipedia. https://es.wikipedia.org/wiki/Leucipo_de_Mileto#/media/Archivo:Pinacoteca_Querini_Stampalia_-_Leucippus_-_Luca_Giordano.jpg

Figura 4

Posible pensamiento deductivo de la idea al descastarse un objeto hasta llegar a la unidad fundamental, lo indivisible por parte del pensamiento atomista



Creando la rama de la filosofía que piensa y estudia lo que conocemos como atomismo, También está el discípulo Demócrito figura 3. Quien introduce la cual empieza con la idea de unidad de materia fundamental en la cual constituye las cosas creando parte de la base de las ciencias física y químicas como base fundamental de la materia debemos tener en cuenta que

relataremos o describiremos datos, acontecimiento, hipótesis y modelos más relevantes que nos llevaron a lo que conocemos en el presente como átomo.

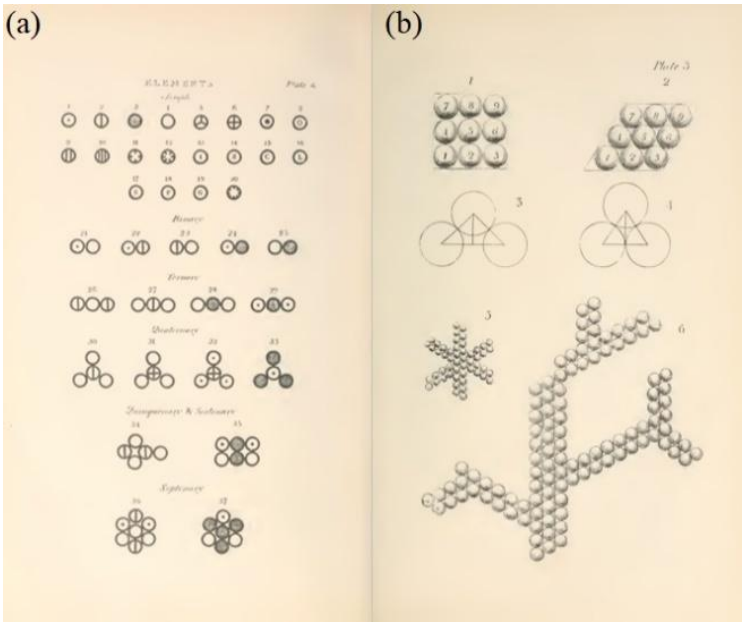
2.1.2. MODELO DEL ÁTOMO DE JOHN DALTON.

El creador de este modelo atómico es John Dalton Greenup (1766-1844) en la cual toma características del pensamiento de Demócrito y Leucipo donde la unidad fundamental de la materia está constituida del átomo, esto con lleva al estudio de los gases y compresión de la naturaleza de la materia y los diferentes elementos que conocemos para la clasificación como las proporciones estequiométricas, los átomos son diferentes entre cada elemento figura 5.

Ya que el conocimos nuevos y descubierto por la experimentación de fenómenos vistos de la física y la química daremos cuenta que el átomo que hemos estado hablando y describiendo en los ítems anteriores no es definido como unidad fundamental de la materia, sino que tiene partes o está constituido por otros elementos como el electrón y núcleo después definiremos la constitución del núcleo como neutrones y protones que lo hablaremos en el capítulo 2.3 sobre el método de generación de rayos X.

Figura 5

Estructura del modelo atómico según de la visión de Dalton en la cual caracteriza los elementos de la tabla periódica, recordemos que la tabla periódica lo creo mendeley después.



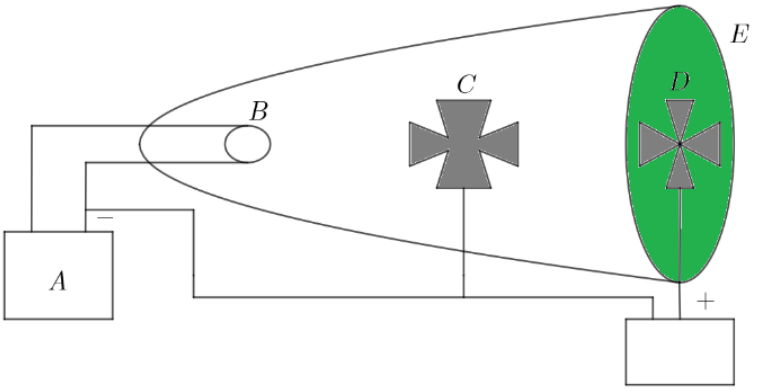
Nota. Dalton, J. (1808). A New System of Chemical Philosophy (p. 238 y 235). London.

2.1.3. MODELO DEL ÁTOMO DE JOSEPH JOHN THOMSON

Este modelo es fundamentado por el físico Joseph John Thomson (1856-1940) en la cual lo está respaldado por la experimentación, así como el de dalton mencionado en 2.1.2 en este momento de la historia hay que tener en cuenta el descubrimiento de diferentes subpartículas en este caso es el descubrimiento de electrón descubierto por el mismo JJ Thomson , recordemos que el átomo en el pensamiento antiguo se caracterizó por ser la unidad fundamental de la materia y que al descartarla iba a quedar esta parte y no habría más hacia donde frecuentarla, al encontrar apoyo en los experimentos como los rayos catódicos vemos que se podría ver una corriente de partículas que se denominaron como electrones en honor a George Johnstone Stoney (1826 - 1911) por lo que al generar una diferencia potencial electromagnético entre un cátodo y un ánodo y una pantalla fluorescente y se podría observar la trayectoria a partir de la figura de la cruz de malta característica del tubo de rayos catódicos como se observa en la figura 6.

Figura 6

Adaptación y estructura de un tubo de Crookes.

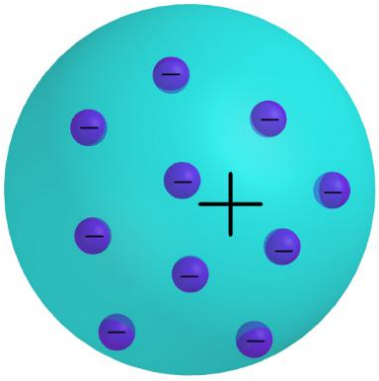


Nota. La imagen fue tomada de la página de Wikipedia. Fuente: Wikipedia. (n.d.). Tubo de Crookes. En Wikipedia. Recuperado el [14/09/2024], de https://es.wikipedia.org/wiki/Tubo_de_Crookes

También J.J Thomson realizo muchos experimentos encontrando como las relaciones carga-masa entre otras, dando un modelado del átomo con la estructura particular del electrón y generando subpartículas dentro del átomo por lo que se pensó de la forma del átomo similar al famoso *pudin de pasa* por sus aspectos de encontrar los electrones adheríos a la masa con cargas diferente como se observa en la figura 7.

Figura 7

Modelo del átomo de J.J. Thomson del "pudin o pastel de pasas" donde la esfera grande representa la carga positiva llamada positrón de su superficie de color cian, y la esfera pequeña de color morado representa la carga negativa conocida como electrones



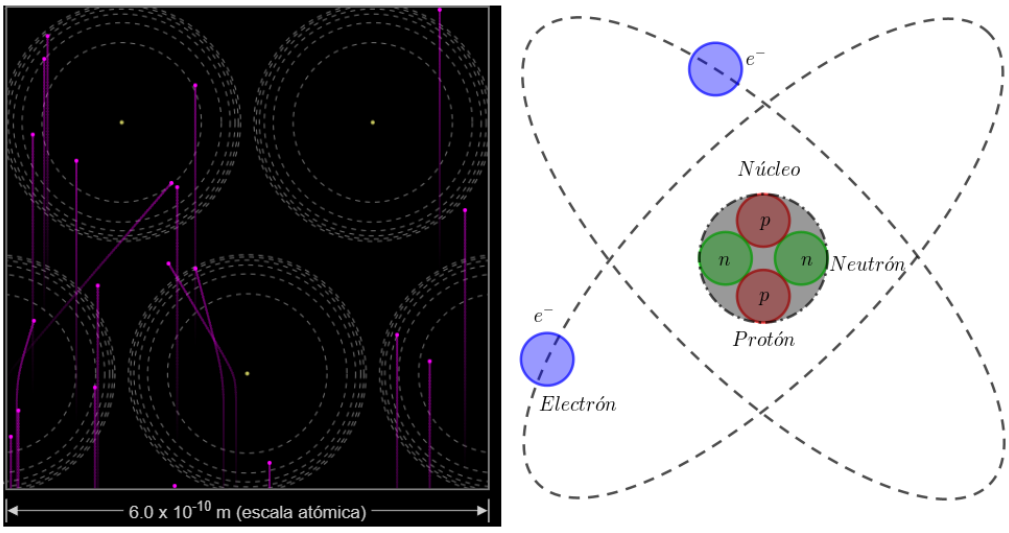
2.1.4. MODELO DEL ATOMO DE ERNET RUTHERFORD

En el modelo del átomo de Ernest Rutherford (1871- 1937), encontramos que aparte de su descripción que se basa en la experimentación así como la de J.J. Thompson que consistía con la experimentación de la lámina de oro, en que se emitía partículas (α) alfa que son núcleos ionizados que no tiene electrones por lo que es un núcleo de dos protones y dos neutrones o un átomo de helio ionizado y que atravesaba la lámina de oro desde una fuente y su resultado se observaba la dispersión, al observa la dispersión en una pantalla fluorescente por lo que observaron es que en la mayoría no había desviación o una pequeñas desviación o unas muy pronunciada, su trabajo lo podemos encontrar en E. Rutherford, "The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom," Philos. Mag. Ser. 6 **21**, 669 (1911) por lo que se encontró una visión de átomo donde toda su masa se concentraba en su núcleo y había mucho vacío por lo que la mayoría de las partículas alfa no interaccionaba como se muestra en la figura 8.

Figura 8

Modelo del átomo de Rutherford se puede observar en la parte derecha donde se concentra su núcleo en su centro con sus electrones alrededor teniendo en cuenta el vacío que se encuentra en el átomo concordando con la experimentación y al lado izquierdo una simulación de phet, lo que muestra la trayectorias desviadas por las fuerzas colombianas entre los átomos de la lámina de

oro y de las partículas alfas y lo podemos observar es las cantidad de partículas que no son afectadas en su trayectoria por el vacío.



Nota. Simulación del experimento de Rutherford: https://phet.colorado.edu/sims/html/rutherford-scattering/latest/rutherford-scattering_all.html?locale=es

2.1.5. MODELO DEL ÁTOMO DE NIELS BOHR

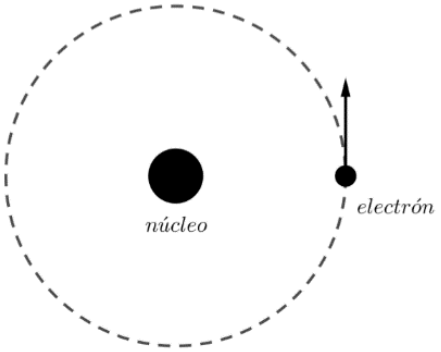
Este modelo físico del átomo que hablaremos en este apartado lo diseño el físico danés Niels Henrik David Bohr (1885-1962) con bases teóricas de investigadores y científicos, ya que las teoría desde la mecánica clásica no estaban concordando con la experimentación como el caso del problemas de catástrofe violeta y la conservación de la energía en la rotación del electrón alrededor del núcleo ya que desde el punto de vista del electromagnetismo de Maxwell que al ver una partícula con carga como lo es el electrón al rotar emitiría radiación y terminaría cayendo hacia el núcleo el modelo anterior de Rutherford por lo que Bohr diseña un modelo el átomo con postulados nuevos y diferentes que mencionaremos a continuación:

PRIMER POSTULADO

El movimiento del electrón será alrededor del átomo en un lugar llamado orbital sin perder energía en dicho movimiento rotacional como se muestra en la Figura 9. Ya que desde la mecánica clásica del electromagnetismo una partícula cargada al tener movimiento genera o emite radiación haciendo que disminuya su radio y que su movimiento termine en el colapsó en el núcleo y emitiendo diferentes frecuencias al hacerlo.

Figura 9

Movimiento del electrón en el orbital alrededor de un núcleo sin perder energía

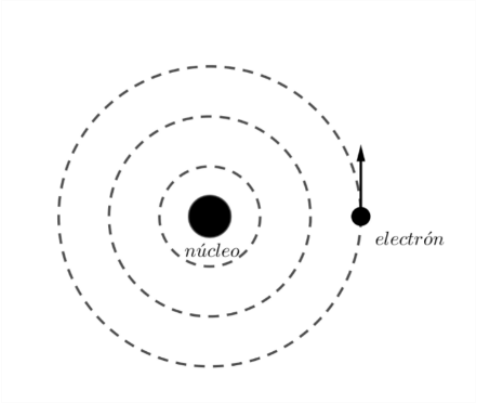


SEGUNDO POSTULADO

El átomo tiene está constituido por el núcleo y donde el electrón tiene el momento angular y los orbitales permitidos por número enteros y se mueve en una trayectoria circular sin emitir energía como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Representación de los diferentes orbitales permitido en la cual el electrón solo puede pertenecer



EL TERCER POSTULADO

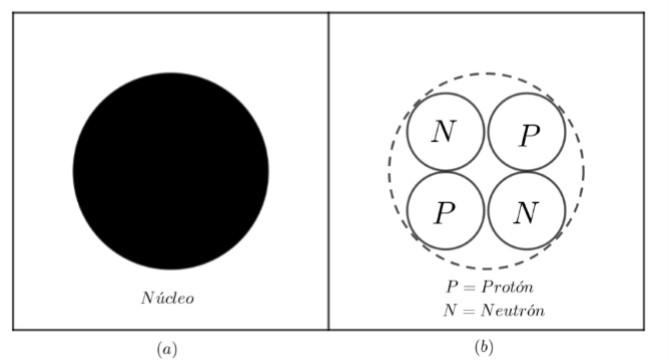
Define que el electrón puede pasar de un orbital a otro debe suminístrale energía especifica o cuantificada en la cual viene el termino energía cuántica debe ser un fotón en la cual da referencia a los cuantos de energía que se menciona con más detalle en la sección del efecto fotoeléctrico Resnick (2013).

ESTRUCTURA DEL ÁTOMO CON SU NUCLEO, ORBITALES Y ELECTRONES PERMITIDOS

Teniendo en cuenta la estructura del átomo del modelo de Bohr partimos que el átomo este compuesto con un núcleo, por lo general lo consideramos como una zona central y esférica, pero en si el núcleo tiene parte en la cual hay partículas neutras de carga neutra neutrones y protones de carga positiva como se muestra en la figura 11. "*la radiación proveniente de los átomos puede ser clasificada en espectros continuos y espectros discretos o de líneas*" (Krane S.1988).

Figura 11

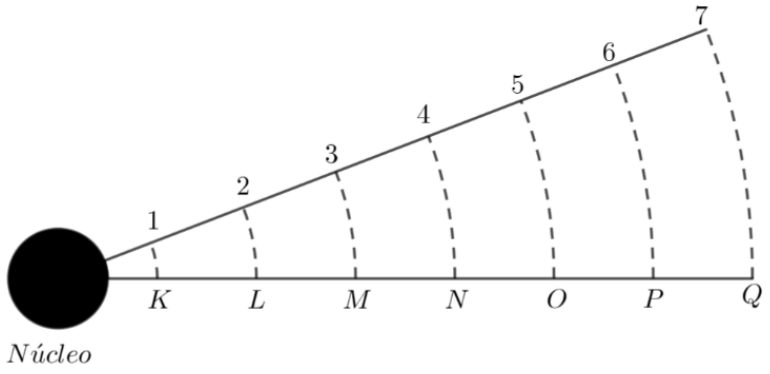
Modelo ideal del núcleo del átomo parte (a) como unidad, parte (b) estructura interna compuesta de protones y neutrones



Teniendo en cuenta la configuración electrónica y las leyes propuestas por borh podemos denotar que el átomo tiene una terminada cantidad de orbitales en la cual se conocen como capas en la cual se encuentra unos electrones distribuidos en capas a una forma muy simplificada es seccionar el átomo como se observa en la imagen 12. En la cual capa u orbital teniendo su propio nombre con para el orbital se conoce como capa *K* y así sucesivamente hasta llegar a la capa 7 con la letra denotada *Q* como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Estructura del átomo con sus orbitales y su respectiva asignación de letra y numero

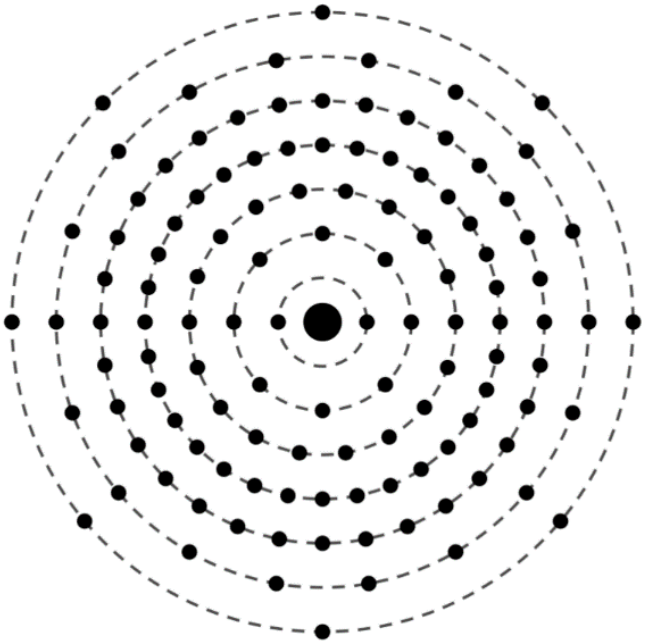


Teniendo en cuenta que en cada orbital hay una cantidad especifica que se puede agregar electores y por medio de la configuración electrónica por lo estructura la cantidad de electrones

permitidos en cada orbital y como estas distribuidos en el átomo a partir de reglas la mecánica cuántica y ley de distribución electrónica en el átomo se puede representar como en la figura (13).

Figura 13

Representación del átomo con sus capas u orbitales en la distribución de los electrones.



2.1.6. MODELO DE L ÁTOMO DE ERWIN SCHRÖDINGER

Teniendo en cuenta el modelo de átomo de Bohr y su configuración electrónica, de manera para mostrar varios fenómenos relacionado con el átomo y energía en un contexto de interacción radiación-materia por su simplicidad y compresión se propone otro punto de vista y es el modelo propuesto Erwin Schrödinger (1887- 1961), propone como es la mecánica y dinámica del átomo, con leyes, postulados que está basado en la hipótesis de Louis Broglie (1892-1987) del comportamiento ondulatorio la longitud de onda y la materia relacionada con la magnitud fisca del momentum recordemos que es un producto vectorial entre la masa y la velocidad del objeto

en la cual podemos expresar en forma vectorial, o su magnitud como forma escalar en la ecuación 1.

Ecuación 1

Relación entre la longitud de onda y el Momentum materia

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Donde λ es la longitud de onda, la *h* constante de plack y el momento $|\boldsymbol{p}| = p$ que es solo su magnitud y la cuantización de Max Planck (1858- 1947) que expresa la energía en términos de la frecuencia de la onda asociada a la partícula como se muestra en la ecuación 2.

Ecuación 2

ecuación de plank de la eneregia.

$$\nu = \frac{E}{h}$$

Por lo que Schrödinger en su ecuación tiene unos parámetros que se alinean para que tener en cuenta las ideas modernas de esta época que relaciona de la siguiente manera.

1) Tener una relación con la ecuación (1) y (2).
2) Estar presente o tener en cuenta la energía mecánica del sistema entre la energía cinética y energía potencial
3) Debe ser lineal las soluciones propuestas en la solución de la ecuación.
4) La energía potencial no puede depender del tiempo ni el espacio para la solución de partículas libres.

En cuanto a la 4) se puede generar una solución se onda o función senoidal (Eisberg, 2013) teniendo en cuanta las preposiciones anteriores se puede apreciar la ecuación de Schrödinger encontrada en su artículo ***Quantisierung als Eigenwertproblem***.

Ecuación 3

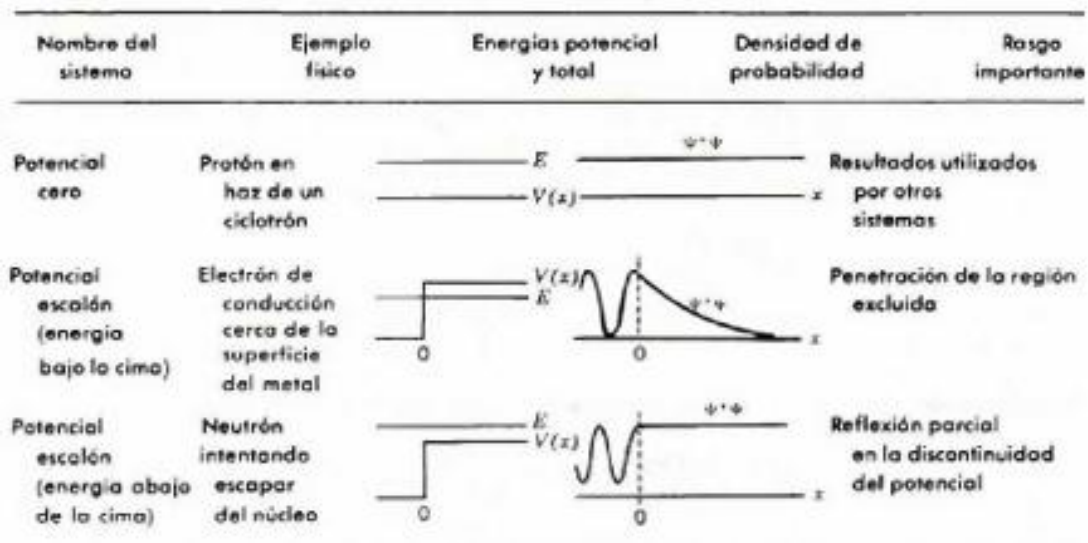
Ecuación de Schrödinger

$$-\frac{h^2}{2m}\frac{\partial^2\Psi(x,t)}{\partial x^2}+V(x,t)\Psi(x,t)=i\hbar\frac{\partial\Psi(x,t)}{\partial t}$$

Por lo que la solución de la ecuación 3. Da como resultado como soluciones a las magnitudes físicas en el contexto de la mecánica cuántica como la posición, trayectoria y desplazamiento por lo que se puede generar diferentes soluciones con diferentes contextos como se muestra en la figura (14).

Figura 14

Solución de la ecuación de Schrödinger para diferentes casos o parametro iniciales particulares del sistema

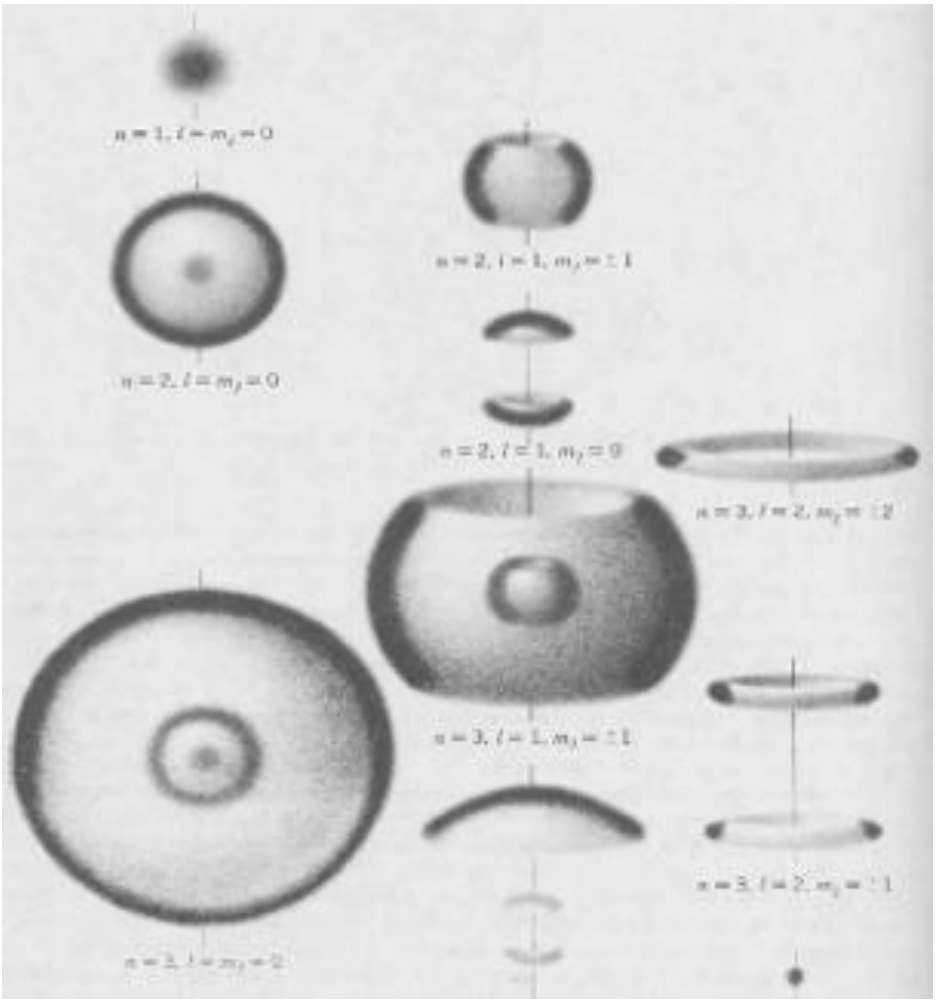


Nota. Eisberg, R. (2013). Física cuántica (p. 300). Limusa.

Pero la solución de la ecuación tenía muchos debates y entorno a la realidad física y cuestiones filosófica por lo que Max Born (1882- 1970) le dio su interpretación que a la solución se le aplica misma ecuación pero conjugada o por el cuadrado del módulo de la función de onda y al hacer esto dicha ecuación da la solución de Schrödinger donde la probabilidad de este evento está determinada por la amplitud de la función "*y sus parte más alta de la ecuación solución se diera más probabilidad de que se diera un evento*", haciendo que la integral de la solución sea igual a 1, esto genera una visión más compleja de lo que conocemos el átomo teniendo en cuenta la densidad de probabilidad de la posición de un electrón en su átomo por lo que la solución muestra una forma de nube de probabilidad donde se pueda encontrar el electrón para su experimentación de encontrarla su precisión dentro de esta nube está relacionada con la incertidumbre de Heisenberg y la nube se muestra en la figura 15.

Figura 15

Representación pictórica de la distribución de la posición del electrón en el átomo



Nota. Eisberg, R. (2013). Física cuántica (p. 270). Limusa.

2.2. ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

2.2.1. HISTORIA DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas son parte esencial de la comunicación en nuestra civilización actualmente, gracias a los avances significativos al comprender la naturaleza y sus propiedades el ser humano genera y envía información a la velocidad de la luz, aunque es finita, es muy rápido en comparación en el trasporte de la información anteriores que se expresa en la ecuación 6 viendo nuestro pasado al trasportar información hemos podido solucionar los vacíos de la comunicación entre las ciudades, entre países y continentes ya que antes en el trasporte tenía una larga duración, desde los Chasqui del imperio inca que se trasladaban de pueblo en pueblo a pie, desde el caballo, el carro y el avión pasando con la revolución de manipular la electricidad para enviar código morse por pulso eléctricos.

Sus aportes fueron significativos de varios personajes de la historia, desde la compresión del magnetismo "*en la antigua Grecia no se conocía como una sola fuerza electromagnética sino de manera separada*" desde los relatos de tales de Mileto que menciona la fuerza de atracción de la piedra magnéticas mucho tiempo atrás por lo que su forma de explicar el fenómeno de las piedras atrajera materiales con componentes de hierro desde el animismo. (Emily Smith 1995).

Estudios posteriores y aplicaciones van desde las prácticas de predecir del futuro, hasta la brújula china primitiva que servía para la navegación y orientación, seguido el estudio de la electricidad desde Michael Faraday (1791-1867) en su libro *Experimental Researches in Electricity* (*en este paradigma científico los experimentos de la electricidad y el magnetismos son los mismo fenómenos llamado electromagnetismo)* y posteriormente la matematización del

comportamiento del electromagnetismo en los trabajos de James Clerk Maxwell (1831-1879) en su libro *A Treatise on Electricity and Magnetism* conociendo hoy en día las cuatro leyes del electromagnetismo

2.2.2. QUE SON LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

La forma de definición de las ondas electromagnéticas son perturbaciones del campo electromagnético que se fundamenta en el comportamiento de las ondas mecánicas en algunas propiedades, en caso de las ondas electromagnéticas estas viajan por el vacío esto significa que no necesita materia en estado sólido, liquido o gas, para su trasporte su descripción está por la ley de James Clerk Maxwell como la ley de Gauss, las del magnetismo, ley de Faraday y ley de ampere.

2.2.3. PROPIEDADES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Las ondas electromagnéticas tienes unas propiedades que vamos a describir a continuación:

Estructura de onda Electromagnética plana al tener un de las propiedades que tiene las ondas es su descripción matemática que describe su campo vectorial a partir de las leyes de maxwell

Ecuación 4

Ecuación de onda plana en forma de ecuación diferencial de segundo orden

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \ \wedge \ \frac{\partial^2 B}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2 B}{\partial t^2}$$

y su solución de la ecuación de onda es de la forma:

Ecuación 5

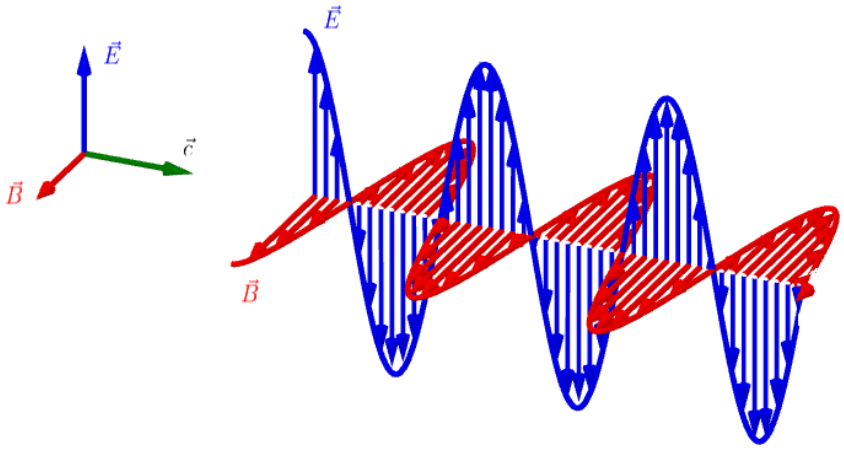
Solución de la EDO de segundo grado de una onda electromagnética

$$E = E_{max}\cos(kx - \omega t) \ \wedge \ B = B_{max}\cos(kx - \omega t)$$

Una de las propiedades que la perturbación del campo y su trasporte en el espacio es que son perpendicular entre sí del entre el campo eléctrico de color azul y el campo magnético de color rojo, y la dirección es donde se desplaza a la velocidad de la luz o vector poynting de color verde Por lo que al observar la ecuación 5. Tiene una función trigonométrica como lo es el coseno y su representación la podemos apreciar en la Figura 16.

Figura 16

Representación gráfica de una onda electromagnética en el espacio.



Nota: los colores no representan a un campo determinado ya que se usaron para que se pudiera distinguir la diferencia entre el campo eléctrico y magnético en un sistema de coordenadas

VELOCIDAD DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Su velocidad, la magnitud física del cambio de la posición en el tiempo está dada por la ecuación 6.

Ecuación 6

Ecuación que describe teóricamente la velocidad de propagación de una onda electromagnética

a partir de las constantes de permitividad eléctrica del vacío y la Permeabilidad magnética del vacío

$$\boldsymbol{c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}}$$

Donde:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$$

$$\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12}$$

Al reemplazar

Ecuación 7

Solución de la velocidad de propagación de la onda reemplazando su contantes por su medida numérica

$$c = \frac{1}{\sqrt{(4\pi \times 10^{-7})(8.854187817 \times 10^{-12})}} = 299792458 \approx 3 \times 10^{8}\ m/s$$

La velocidad de la luz es una de las constantes en física, que tiene varias conexiones entre ramas de las ciencias físicas desde el electromagnetismo, la relatividad especial, apartados de la mecánica cuántica.

FRECUENCIA Y LONGITUD DE ONDA

LA FRECUENCIA $(\boldsymbol{f})$ de una onda es la cantidad de ciclos que se genera en un segundo y su magnitud física es el hercio (Hz). Y el periodo es el tiempo que se tarda en realizar en un segundo y se simboliza como T.

Ecuación 8

Ecuación de relaciona la frecuencia son inversamente al periodo.

$$f = \frac{1}{T}$$

LONGITUD DE ONDA. (λ) es la distancia o longitud entre cresta a cresta o dos puntos que atraviesa una recta paralela al eje de desplazamiento en la función de onda, y se mide en metros (m) también podemos hacer una correlación entre la velocidad de la luz, la longitud de onda y la frecuencia como se muestra en la ecuación 9.

Ecuación 9

Relación entre la velocidad de la luz con la frecuencia y la longitud de onda

$$c = v = \lambda f$$

También hay propiedad de las ondas electromagnéticas y su interacción radiación materia en la cual se puede corresponder o asociar la energía de un fotón y gran cantidad de fotones constituidos en una onda electromagnética que se representa en la siguiente ecuación.

$$E = hf$$

Donde

$$h = 6.62606876 \times 10^{-34}\, Js$$

Es la constante de Planck nombra en honor al científico Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858- 1947) que solidifica las bases de la física cuántica por lo que se conoce como cuantos de energía

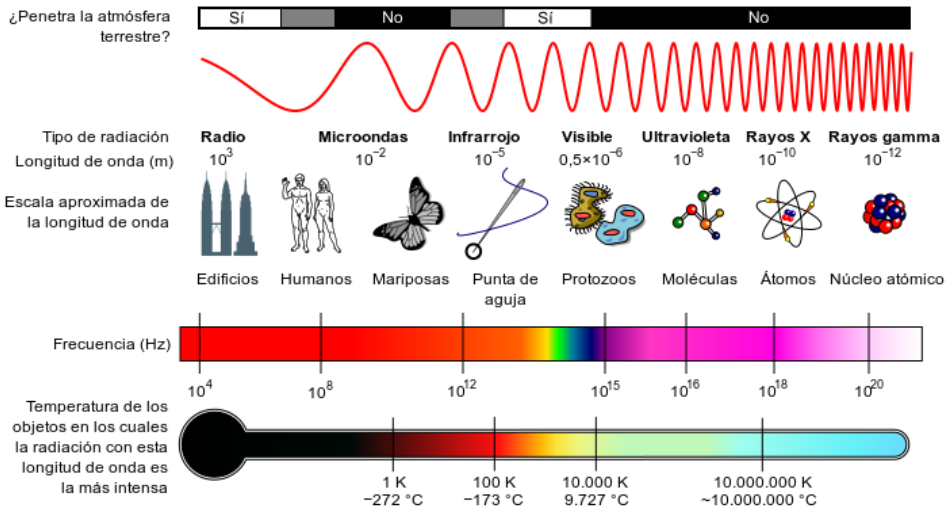
2.2.4. ESPECTRO ELECTROMEGNETICO

Teniendo en cuenta la relación entre la energía y la frecuencia podemos fragmentar o distinguir zona o delimitar el espectro electromagnético, teniendo varios subgrupos teniendo en cuenta su frecuencia, la energía o longitud de onda ya que están relacionado con la ecuación (9) en la energía de una determinado fragmento del espectro electromagnético lo que conocemos como

rayos X esta desde (0.1-20) kV de baja energía o blandos, (20-120) kV radiodiagnóstico (120-300)kV orto voltaje (300-1)MV de energía intermedia >1 Mv .mega voltaje (Franco, 2008.)

Figura 17

Espectro electromagnético desde la franja del radio hasta el rayo gamma



Nota. Tomado de Wikipedia del Espectro electromagnético https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Electromagnetic_spectrum.svg

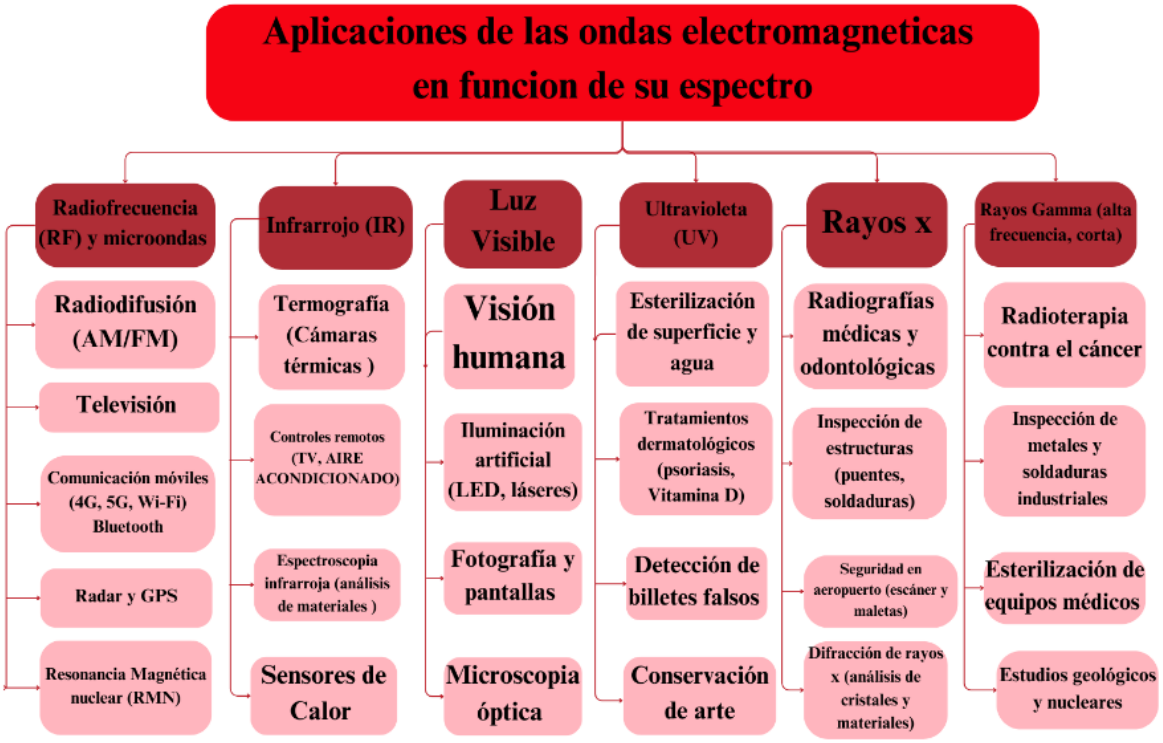
.

2.2.5. APLICACIONES DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

Como se menciona la introducción las aplicaciones de las ondas electromagnéticas son muy amplía en el desarrollo de la tecnología y el avance y apoyo de la humanidad, por lo que se menciona muy brevemente las aplicaciones a diferentes ciencias desde cada franja como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Mapa conceptual de las aplicaciones de las ondas electromagnéticas en todo es su espectro.



2.3. APROXIMACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFODE RAYOS X

INTRODUCCIÓN

En presente capitulo abordaremos todos los fenómenos físicos que están relacionados con la interacción radiación-materia enfocados en de los rayos X y sus propiedades, los rayos X están el rango del espectro electromagnético $0.1\ Kv - 1Mv$, y la forma que se descubrió los rayos X fue de manera accidental por el físico Wilhelm Conrad Roentgen (1845- 1923) al experimentar con los rayos catódicos en la cual había una pantalla fluorescente del dispositivo cerca, descubrió que al encender dicho tubo se encendía la pantalla como una emisión de algún tipo de radiación que

no se había registrado, el capítulo se describirá con más detalle desde el tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Partiendo desde el efecto termoiónico, la aceleración de electrones, la interacción material del blanco, y el mecanismo de emisión de rayos X desde la radiación de frenado entre otro se encontrará en este apartado. La producción de rayos X, se da en la naturaleza en condiciones de física extrema como en la dinámica estelar, como pulsares, super novas, agujeros negros en astronomía por eso que la nasa (National Aeronautics and Space Administration) tiene satélites en el espacio alrededor de la tierra llamado como chandra para observa a nuestro alrededor en el universo, su nombre fue en honor al físico Subrahmanyan Chandrasekhar (1910-1995) que detecta el firmamento en el espectro de rayos X.

También en la naturaleza se genera de manera natural como en fenómeno de elementos químicos que no son estables como los elementos radiactivos donde se emite diferentes partículas entre ella radiación en rayos X como el uranio o el torio.

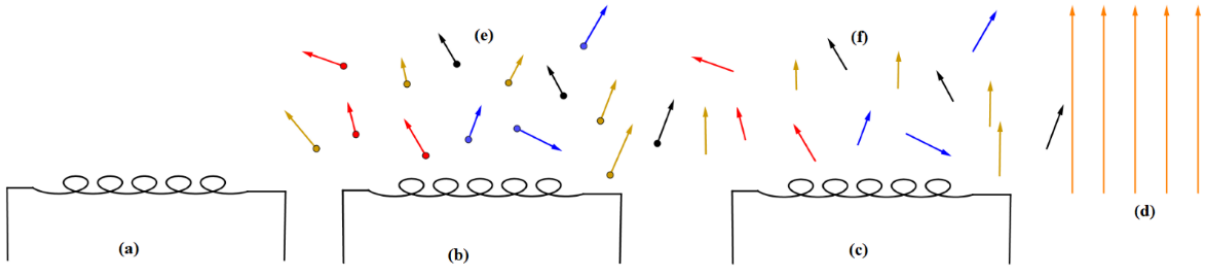
2.3.1. **EFECTO TERMOIÓNICO**

El efecto termoiónico o efecto de Edison, es un proceso físico en la cual por un filamento de un material característico y condiciones específicas como su gran punto de fusión se mantiene al vacío, se hace circular una corriente eléctrica por lo que se calienta por su resistencia propiedad que tienen algunos elementos al pasar una corriente sobre ella, adquiriendo energía cinética en los electrones y haciendo el proceso de ionización por lo que adquieren energía cinética y pueden vencen la función de trabajo o barrera de potencial y otros factores electromagnético por lo que el electrón queda libre, o fuera del metal o del filamento como se muestra en la figura 19.

Creando una nube de electrones por lo que no solamente se genera partículas libres del metal, sino que también vemos fotones desde el rango visible porque podemos ver de color blanco, amarillo en diferentes direcciones como se muestra en la figura 19.

Figura 19

Mecanismo del efecto termoiónico al pasar una diferencia de potencial eléctrico por el filamento en diferentes procesos.



Nota: los colores de vector velocidad y de las partículas no están racionados como parte del espectro electromagnético, sino que busca distinguir los diferentes tipos de partículas que se emiten en el efecto termoiónico.

El mecanismo termoiónico teniendo en cuenta la figura19. La parte *(a)* el filamento no le está pasando ninguna corriente por el metal que lo contiene, *(b)* se hace pasar una corriente eléctrica por el filamento de un metal característico haciendo que los electrones y otras partículas se desprenden del filamento al ser calentado y tienen velocidad y dirección de manera aleatoria y también creando una nube de partículas *(c)* y *(d)* es el mismo sistema que se le aplica una diferencia de potencial eléctrico *(d)* en la cual al interactuar con los electrones esto empiezan a acelerar teniendo en cuenta la dirección el campo electromagnético.

2.3.2. ADQUISICION DE ENERGIA CINETICA DE LOS ELECTRONES LIBRES

Después de la descripción del mecanismo anterior del efecto *termoiónico* el proceso físico de adquisición de energía cinética de los electrones libres consiste, que los electrones están libres del potencial de barrera o función de trabajo por lo cual adquiere la energía suficiente para escapar de la superficie del metal y están afuera del metal, por lo que se tiene un sistema externo, que crea una gran diferencia de potencial haciendo que los electrones interactúen con este campo electromagnético, haciendo que aceleren como se muestra en la figura 19. En la parte *(d)* por lo que se muestra un flujo de electrones que van acelerando o incrementando la velocidad, recordemos que el teorema de la conservación de la energía, la energía cinética tiene una relación con la velocidad y como la energía cinética la podemos relacionar con la diferencia de potencial, y la podemos representar por la ecuación 10.

Ecuación 10

Relación entre el potencial eléctrico y la energía cinética que adquiere los electrones

$$E_m = eU = \frac{1}{2}mev^2$$

2.3.3. MATERIAL DE IMPACTO DE LOS ELECTRONES

Al tener los electrones con suficientes energías cinéticas estos chocan con el material de impacto al interaccionar los electrones con los átomos del material recalquemos que el material de impacto tiene que ser unos metales específicos para producción fotones del rango de rayos X, o muy energéticos, en los cuales son como el molibdeno, oro, wolframio, hierro y cobre como se observa en la figura 20.

Figura 20

Tubos de rayos X del tomógrafo donde se encuentra de los siguientes materiales de izquierda a derecha: Molibdeno, Oro, Wolframio, Cobre y Hierro.



Por lo que cada tubo de rayos X, tiene una característica para la imagen y emisión de rayos X, por lo que se generó radiografía de cada tipo de tubo de rayos X con las diferentes variaciones, como el ***amperaje (mA)*** de la corriente que pasa por el filamento y el ***campo electromagnético (KeV)*** que genera la aceleración de los electrones.

2.3.4. ESTUDIO DE LOS DIFERENTES TUBOS DE RAYOS X EN RADIOGRAFÍAS CON VARIACIÓN DE LA CORRIENTE Y EL CAMPO ELECTROMAGNÉTICO

En esta recopilación de radiografía de cada tuvo de rayos X se varió corriente del filamento y la diferencia de potencial que acelera los electrones por lo que se buscó un material del kit de materiales idóneo para la experimentación, por lo que se utilizó el roedor # 22 ver capítulo 4.4

Figura 21

Radiografía del roedor con el tubo de Molibdeno con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9, 0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha

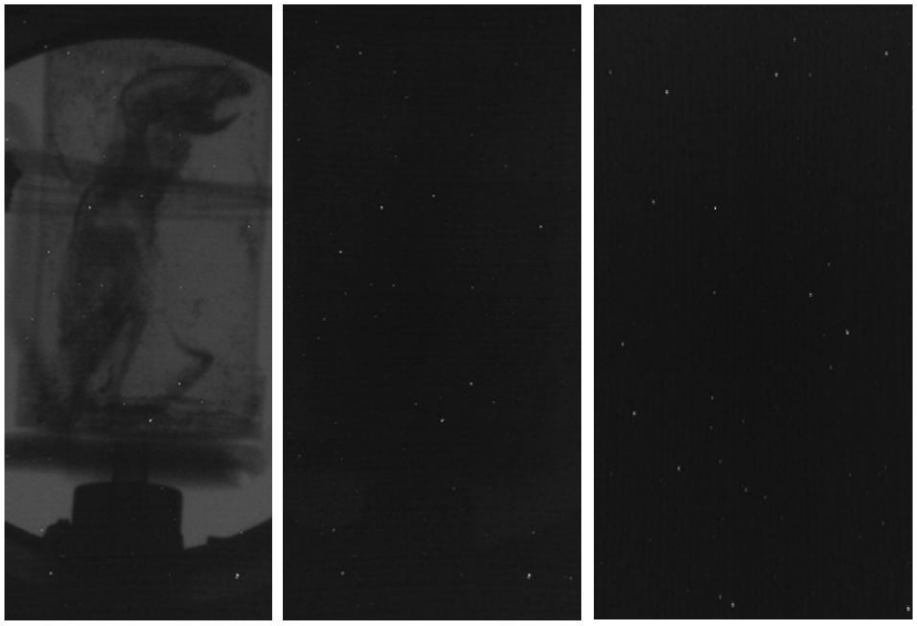


Figura 22

Radiografía del roedor con el tubo de Molibdeno con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha

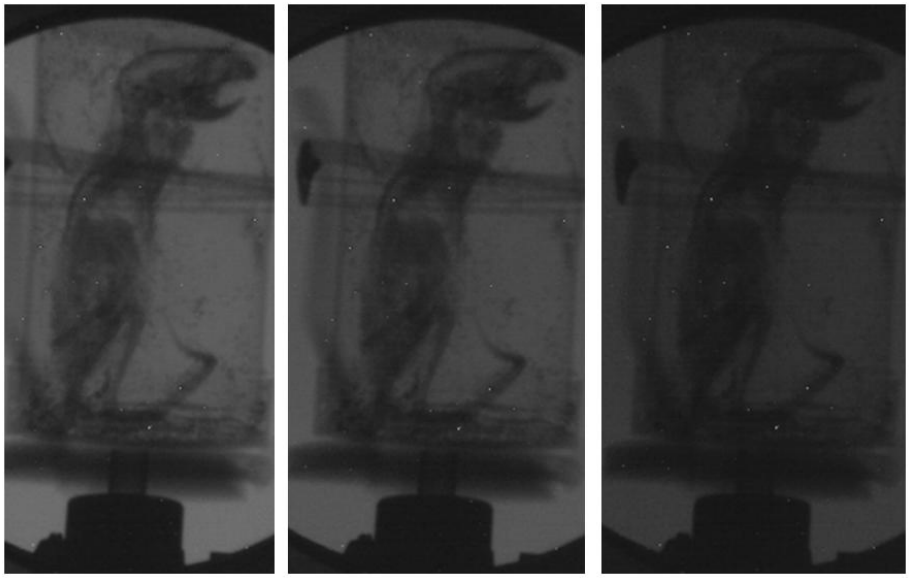


Figura 23

Radiografia del roedor con el tubo de Oro (Au) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha.

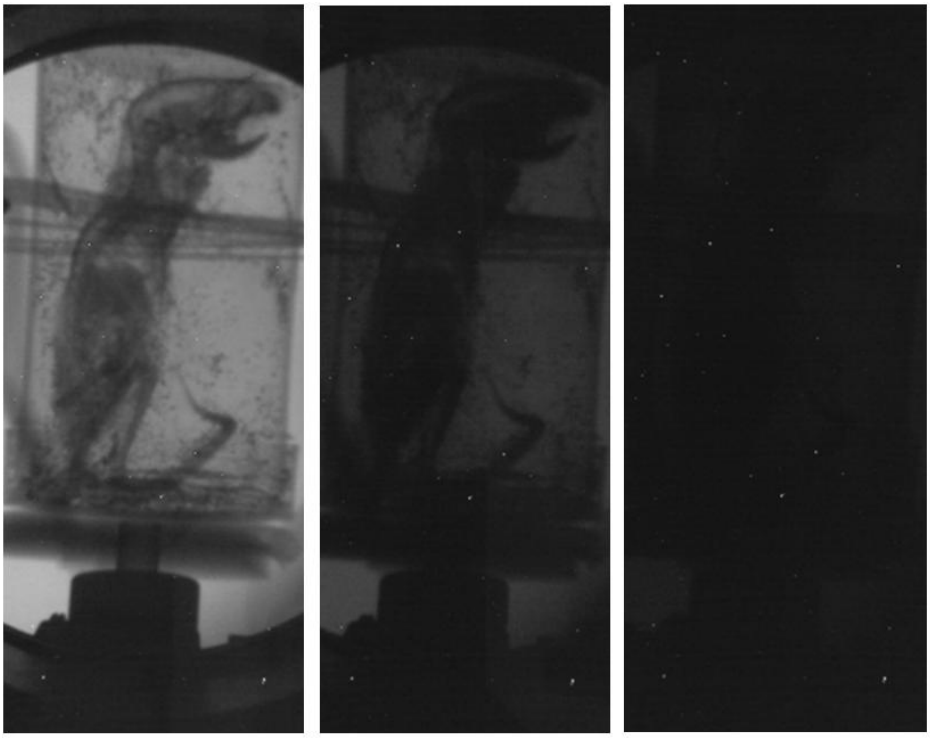
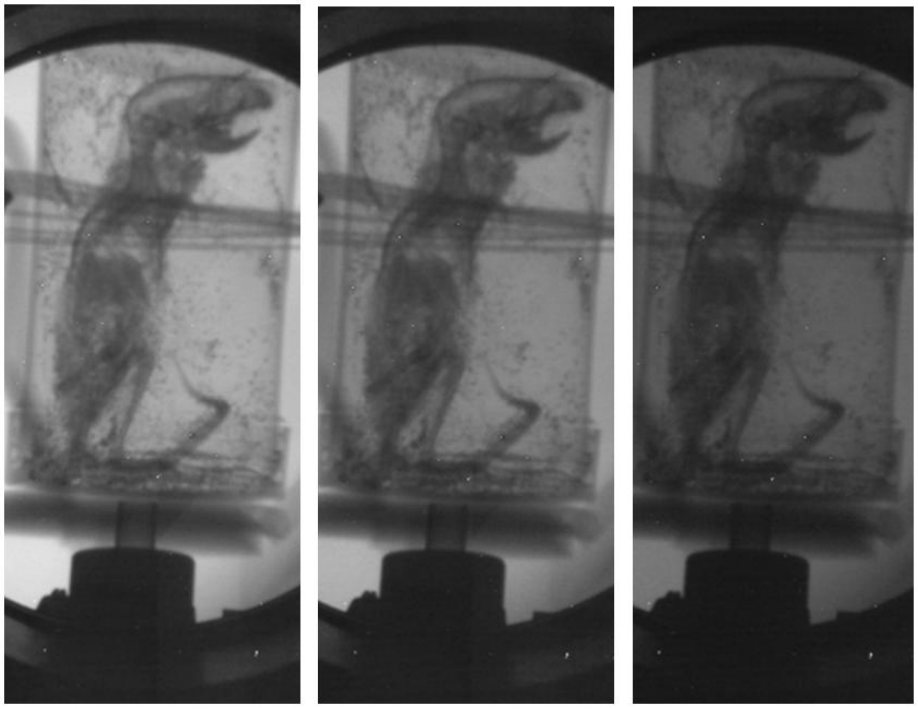


Figura 24

Radiografía del roedor con el tubo de Oro (Au) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha.

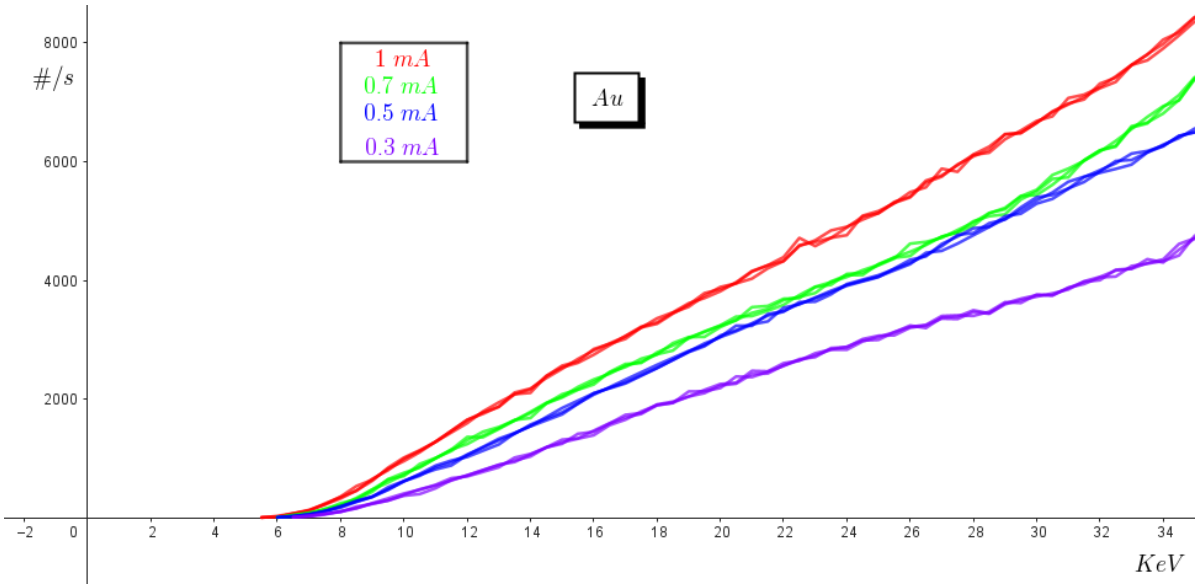


Con el tubo de rayos X de Oro también se realizó pruebas con el detector Geiger en la cual se tomó como constante la corriente del filamentos y se varió la diferencia de potencial para poder observar si había algún tipo relación, entre la detección por parte del Geiger para medir partículas detectadas por segundo $(\#/s)$ dentro de la caja de experimentación, en el orificio donde pasa los rayos X , se agrega un colimado de 1 milímetro en el goniómetro se sostiene el detector Geiger a una distancia de 10 cm, con otro colimador de 1 milímetros el ángulo es un ángulo constante ya que se varió para que el detector recibiera la mayor cantidad de partículas por

segundo, recordemos que es promedio de la cantidad de partículas que se detecta por medio de un pulso eléctrico que se cuenta en un lapso de 1 segundo como se muestra en la figura 25.

Figura 25

Relación que se encontró en el tubo de rayos X de Oro (Au) con la detección de partículas por segundo con el Geiger en función de la diferencia de potencial para diferente amperaje



De la gráfica de la figura 24, se le aplicó herramientas matemáticas generar una correlación entre el número de partículas por segundo en función de la diferencia de potencial, por lo que se encontraron las ecuaciones 11.

Ecuación 11

Relación lineal entre la cantidad de partículas por segundo en función de la diferencia de potencial para cada amperaje del tubo de rayos X de oro (Au).

$$\#/s = 284.15KeV - 1821.21 \ \therefore \ 1mA$$

$$\#/s = 243.62KeV - 1664.29 \ \therefore \ 0.7\,mA$$

$$\#/s = 232.32\,KeV - 1648.23 \ \therefore \ 0.5\,mA$$

$$\#/s = 166.18\,KeV - 1182.93 \ \therefore \ 0.3\,mA$$

Figura 26

Radiografía del roedor con el tubo de Wolframio (W) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha.

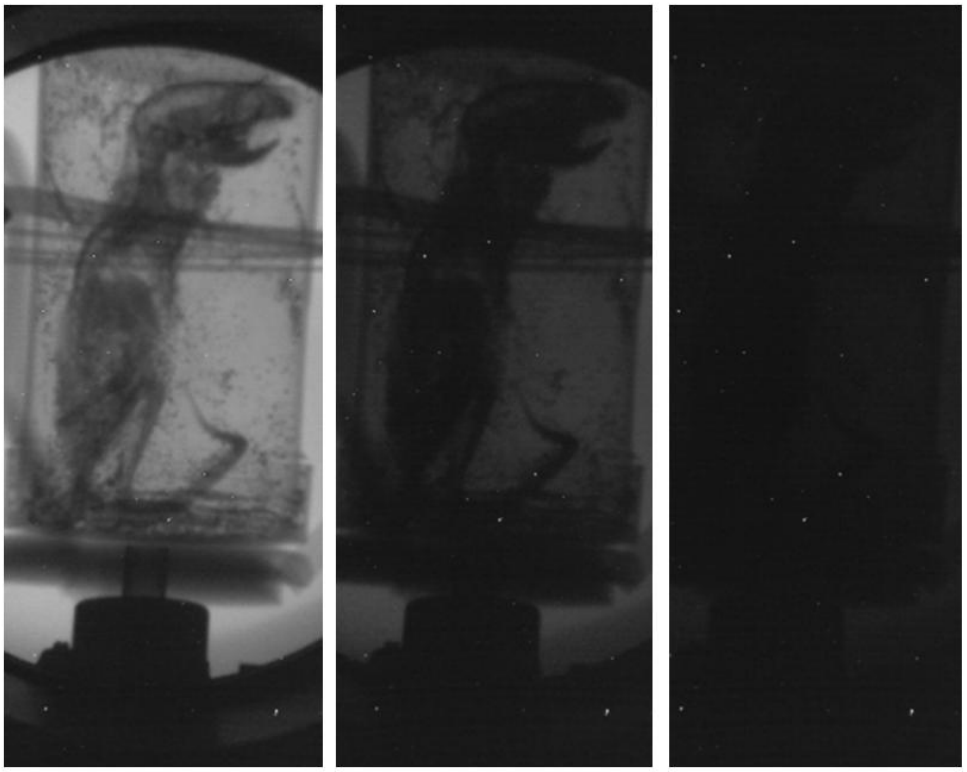
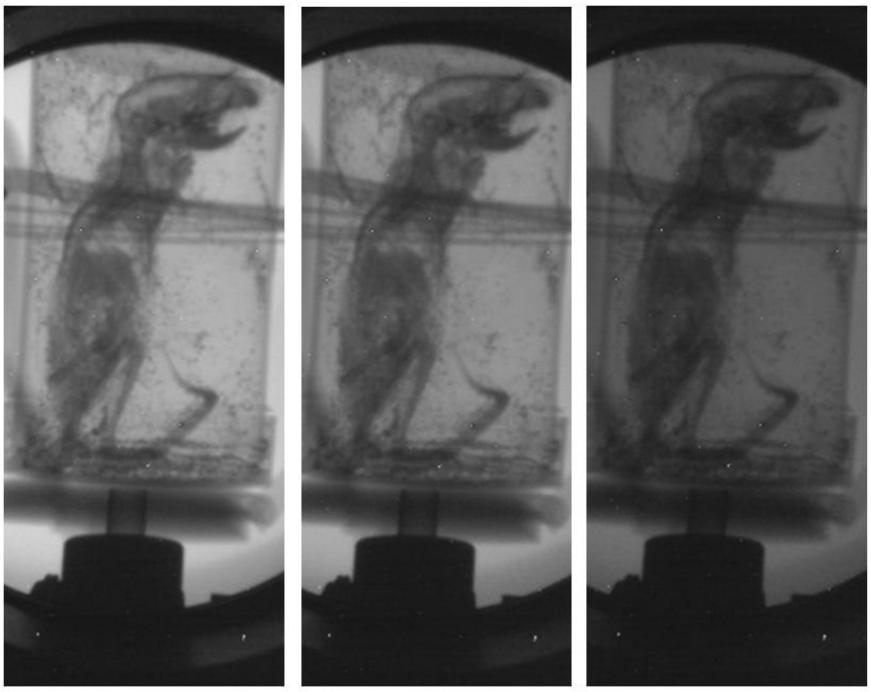


Figura 27

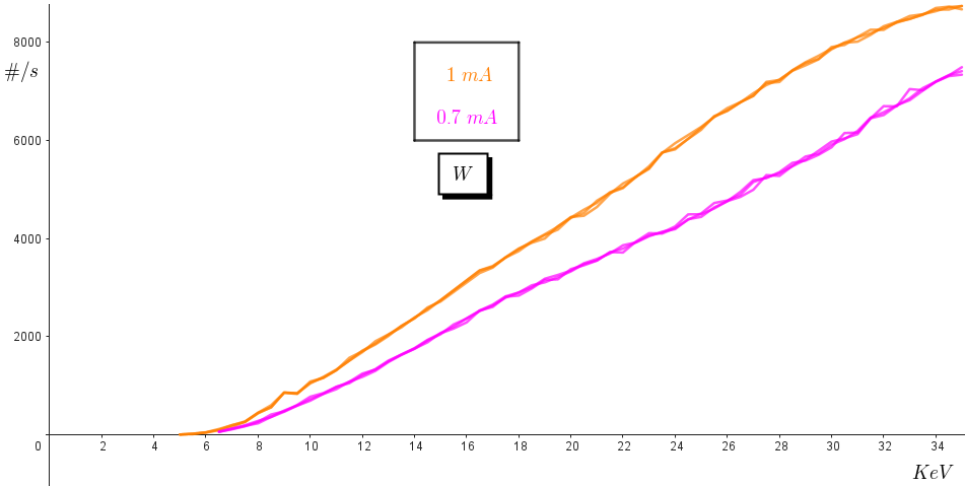
Radiografía del roedor con el tubo de Wolframio (W) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha



También se realizó estudio al tubo de Wolframio (W) con el detector Geiger mencionados en el tubo de oro. Pero para este caso la relación que se encontró se puede ver en la figura 28.

Figura 28

Relación entre la cantidad de partículas detectado por segundo en función de la diferencia de potencial para cada amperaje de 1 y 0.7 m A para un tubo de Wolframio.



Y su relación lineal se encontró para cada función lineal en la ecuación 12.

Ecuación 11

Relación de la función lineal entre la cantidad de partículas por segundo con relación de la diferencia de potencial del tubo de rayos X de wolframio.

$$\#/s = 324.54\, keV\ -\ 2056.68\ \therefore\ 1\, mA$$

$$\#/s = 260.79\, keV\ -\ 1864.17\ \therefore\ 0.7\, mA$$

Figura 29

Radiografía del roedor con el tubo de Cobre (Cu) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9, 0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha.

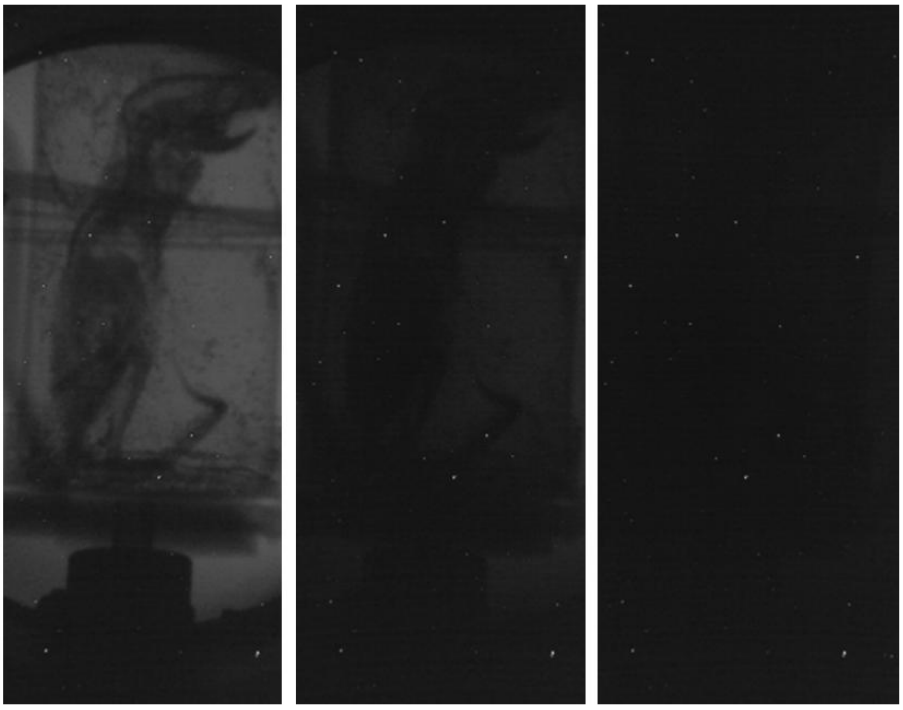


Figura 30

Radiografía del roedor con el tubo de Cobre (Cu) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30,20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha

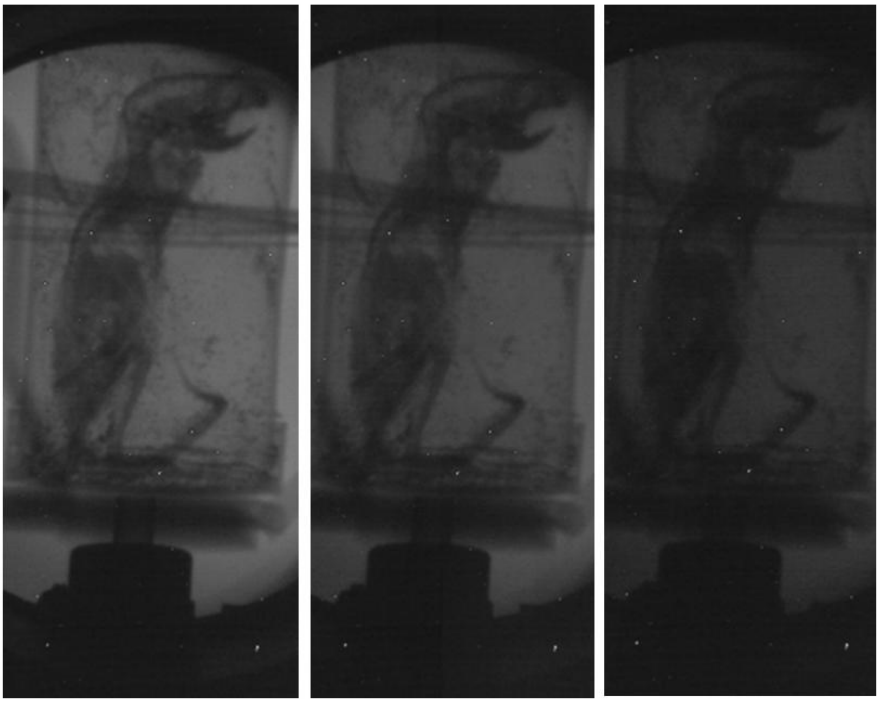


Figura 31

Radiografía del roedor con el tubo de Hierro (Fe) con una diferencia de potencial eléctrico de 35 KeV constante y una variación de 0.9,0,6 y 0.3 mA de la imagen de izquierda a derecha.

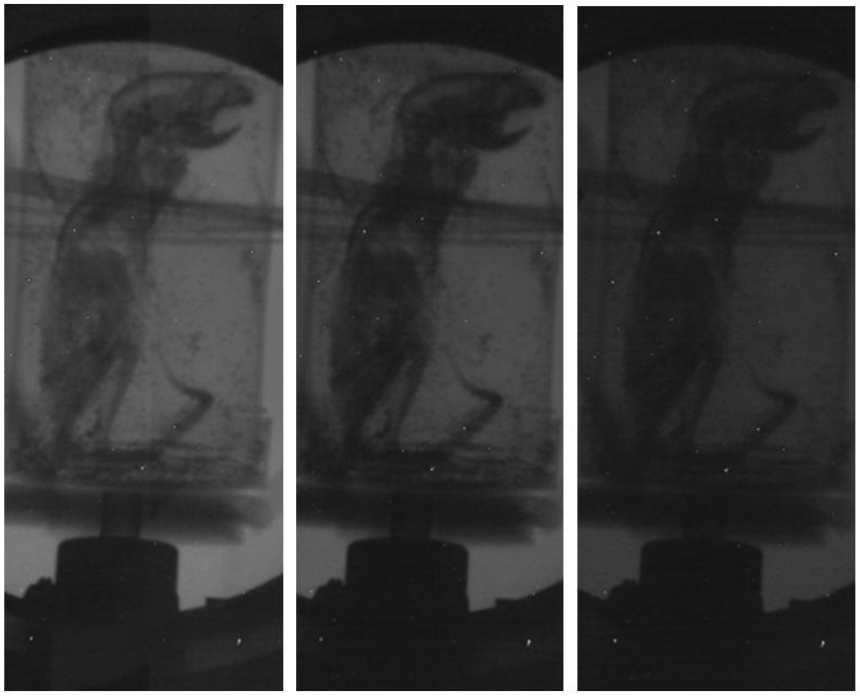
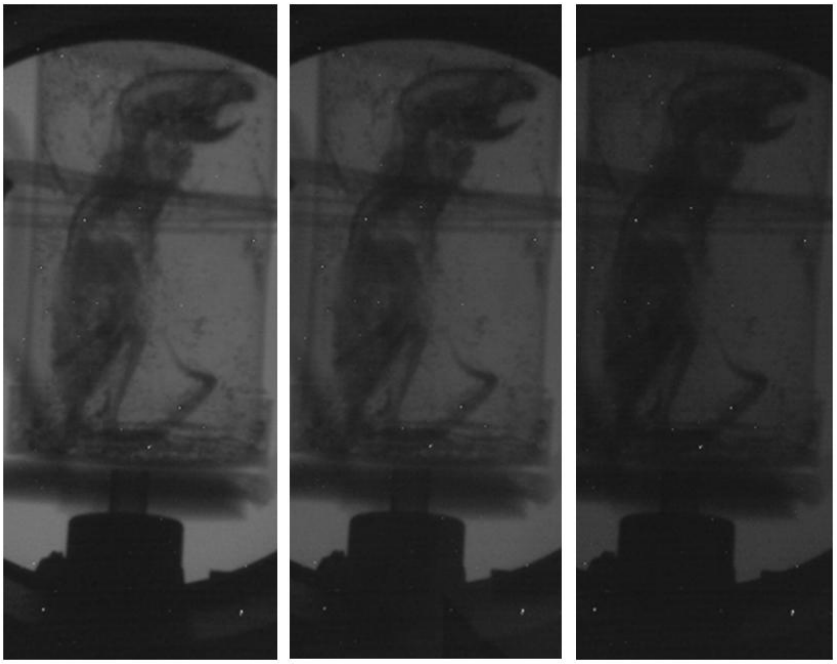


Figura 32

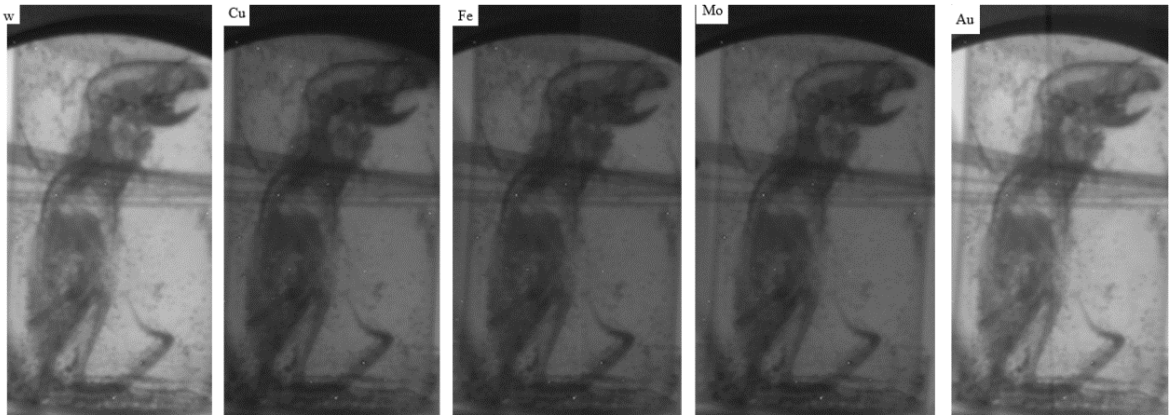
Radiografía del roedor con el tubo de Hierro (Fe) con una corriente eléctrica del filamento de 1 mA constante y una variación de 30, 20 y 15 KeV de la diferencia de potencial eléctrico de la imagen de izquierda a derecha.



Al experimentar con cada tubo de rayos X que se encuentra disponibles en el tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS y aplicarle una radiografía con cada tubo con los parámetros constantes de diferencia de potencial en 35 KeV y la corriente en el ánodo de 1 mA podemos ver en la figura 33.

Figura 33

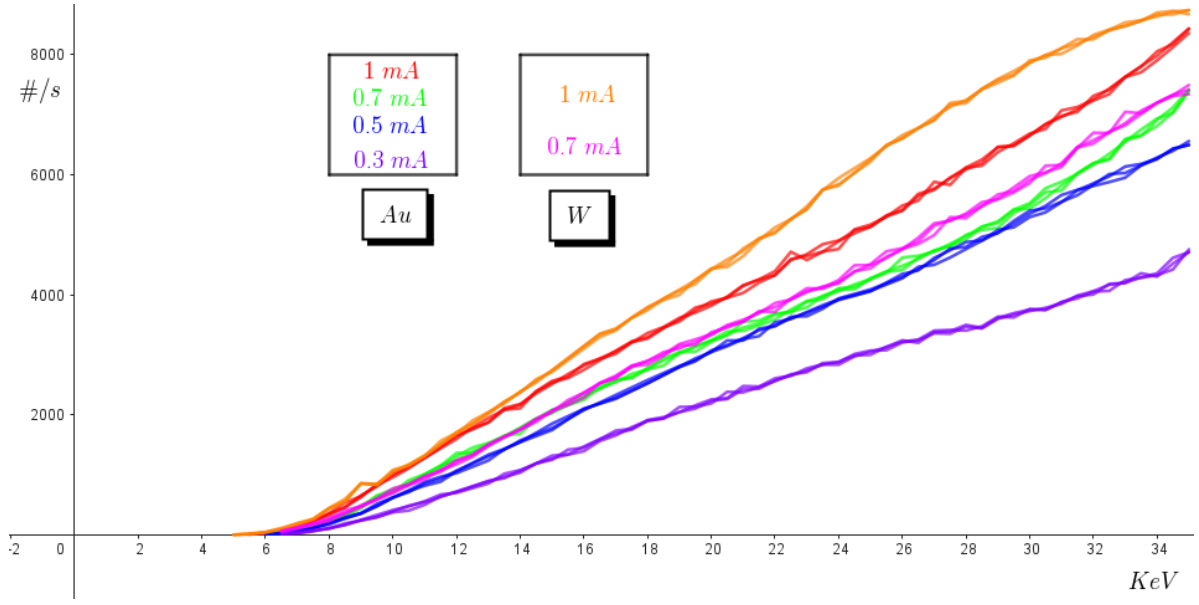
Radiografía del roedor con cada tubo de rayos X detallando las diferencias entre cada imagen.



Teniendo en cuenta los datos obtenidos del detector Geiger superponen los datos de los dos tubos el de Oro (Au) y Wolframio (W) como se muestra en la figura 34.

Figura 34

Superposición de los datos obtenidos del tubo de Oro y Wolframio observando la gran cantidad de partículas detectadas por el Geiger en función de la diferencia de potencial.



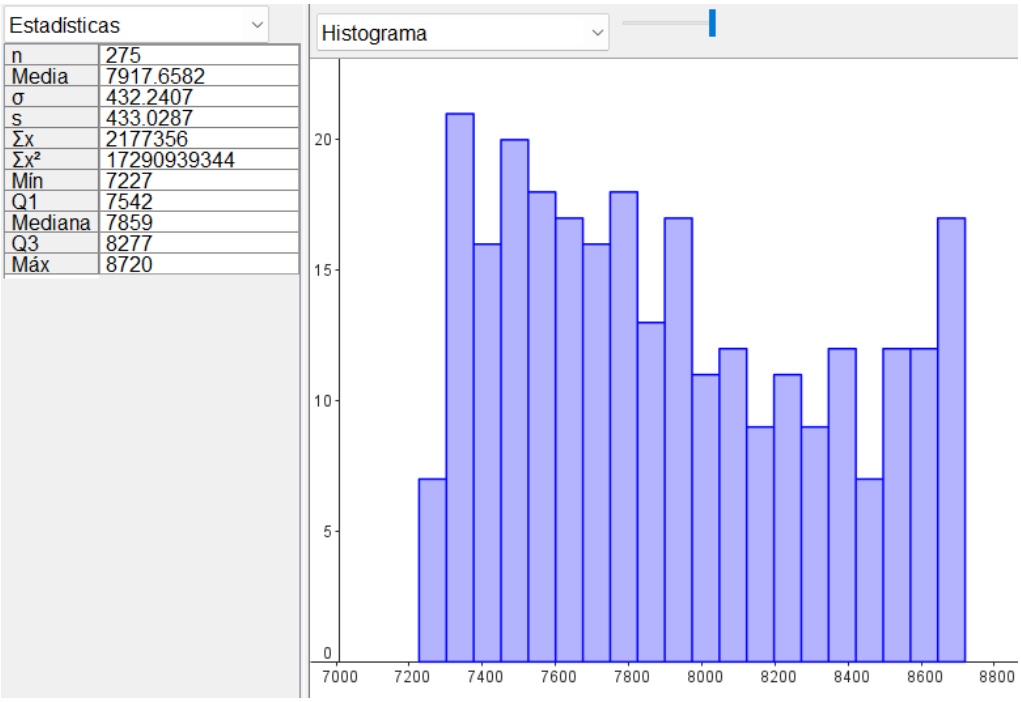
Nota: el objetivo principal era adquirir la relación entre la detección Geiger y la diferencia de potencial de cada uno de los tubos, pero, también hay que conservarlos ya que cada tubo de rayos X, tiene un tiempo de uso y todo esto genera que se desgastes por lo que se usó solo dos tubos el de Oro y Wolframio.

DETECCION DE RADIACION DEL TUBO DE ORO (AU) CONSTANTE EN EL TIEMPO

En el siguiente experimento se utilizó el tubo de rayos X. de Oro con los Parámetros constantes de la diferencia de potencial eléctrico de 35 keV y una corriente eléctrica de 1 m A con un colimador de 1 milímetros en el orificio entre la cámara de rayos X y la de experimentación a una distancia de 10 cm del goniómetro que se encontraba el detector Geiger en la cual también se le integro otro filtro de 1 mm, se encendido el tubo de rayos X por una duración de cinco minutos aproximadamente de 300 segundos y se estudios los datos se muestra en la Figura 35 en forma de histogramas y estadística de los datos adquiridos del detector Geiger.

Figura 35

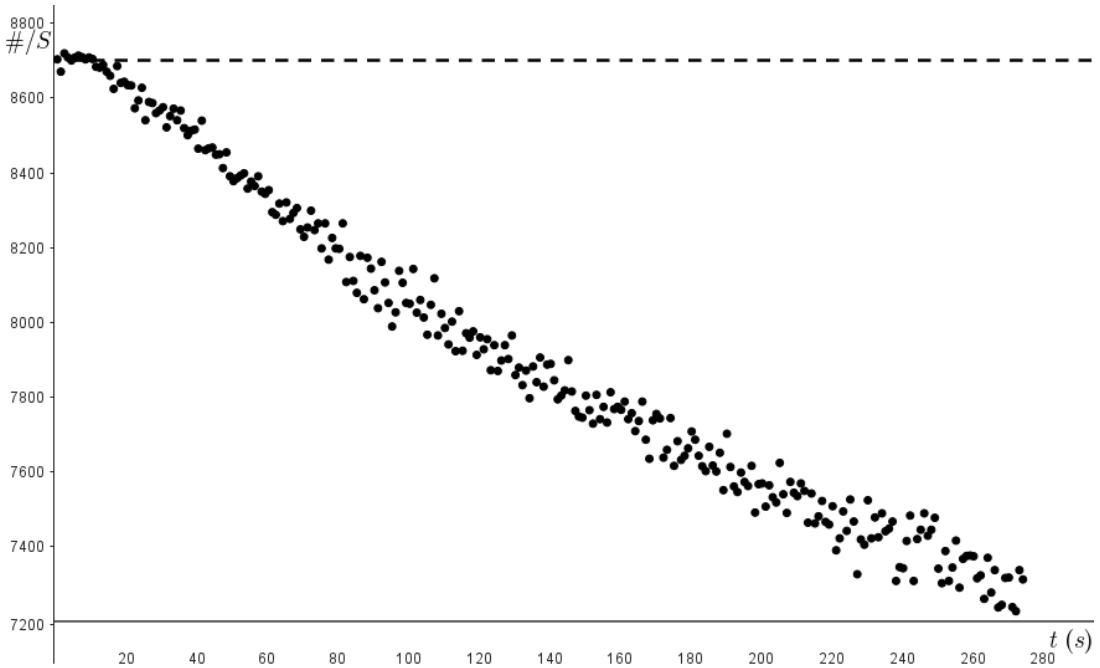
Manejo de los datos de partículas por segundo estudiando por histograma y estadística del tubo de rayos X de oro (Au).



Una de las observaciones del histograma que se encuentra en la figura 35. Se encuentra que no hay una constante entre la variación de la cantidad de partículas y que su mínimo esta cercano a 7200 y su máximo es 8600 por lo que su diferencia es muy significativa, por lo que no se puede genera una relación de tipo curva gaussiana y también en la frecuencia no son constantes de cada uno de los valores registrado por lo que se estudió en función del tiempo por lo que se en la teoría uno esperaría un resultado que varie muy poco en el tiempo ya que las demás variables de encontraban constante pero observamos una tendencia totalmente diferente como se muestra en la figura 36.

Figura 36

Adquisición de partículas por segundos detectadas del Geiger en función del tiempo del tubo de rayos X de Oro (Au).



Por lo que uno esperaría que la variación se mantendría sobre la recta punteada alrededor de 8700 partículas por segundo, pero no es así observando que tiene una tendencia decreciente se pudo buscar una tendencia lineal que se representa en la ecuación 13.

Ecuación 12

Tendencia decreciente de la adquisición de datos de las partículas por segundo de rayos X del tubo de rayos X del oro (Au) en función del tiempo

$$^{\#}/_{s} = -5.3763t + 8659.5886$$

Por lo que podemos concluir que cuando el tiempo sea cero $t_0 = 1610.7$ segundo aproximadamente 26.86 minutos por lo que se puede decir que a este tiempo la emisión de rayos X llegue a cero, los motivos pueden ser como protocolo de seguridad del tomógrafo para no desgastar los tubos de rayos X, sino cuidarlos, también hay otra conclusión y es que el detector tenga problemas en la adquisición continua con datos con la misma cantidad que recibe se podría saturar o algo relacionado con el detector.

2.3.5. PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X

Abordaremos la emisión de los rayos X en la interacción de un electrón con el átomo y su núcleo, hay dos mecanismos de emisión uno de estos es el fenómeno físico que los conocemos como radiación de frenado o ***Bremsstrahlung*** viene de la palabra del alemán de *bremss* frenar y *strahlung* radiación.

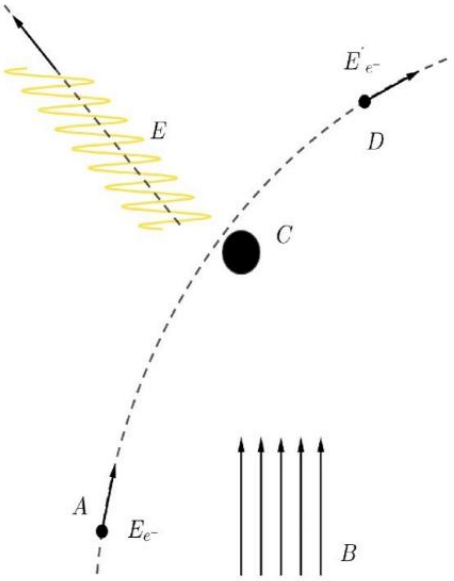
Y otra forma de producción de rayos X es por el método de un electrón libre que interacciona con un electrón ligado al átomo del blanco y lo ioniza y otros electrones ocupan su lugar de mayor orbital haciendo que se emita unos determinados fotones, por lo que este método se conoce como ***fotones característicos*** se distingue por que al estudia su espectro se tiene unos picos característicos en la cual hay unos fotones con una determinada energía por la interacción mencionada.

2.3.6. PRODUCCIÓN DE RAYOS X POR RADIACIÓN DE FRENADO BREMSSTRAHLUNG (ELECTRÓN-NÚCLEO)

El método de producción del tubo de rayos X, por radiación de frenado consiste en que un electrón con una velocidad obtenida inicialmente a consecuencia de haber sido acelerados por campos electromagnéticos que supera los miles de voltios (*Mev mega-electronvoltios*) en nuestro caso el tomógrafo su energía máxima es de 35 KeV e interacciona con un blanco, o un material característico en nuestro estudio son los tubos de generación de rayos X como el de molibdeno (*Mo*), oro (*Ag*), hierro (*Fe*) entre otros como se muestra en la figura 20. En especial con el núcleo de un átomo teniendo en cuenta que el electrón tiene carga negativa y el núcleo está compuesto por partículas como el neutrón de carga neutra y el protón de carga positiva, pero en este caso lo definimos como núcleo (hay una convención de cuál es la carga negativa lo define el electrón y carga positiva el protón), por la ley de campos electromagnéticos, la carga del mismo signo de repeler y de signo contrario se atraen esto genera que el electrón al pasar muy cerca del núcleo cambie aceleración recordemos que es una magnitud física de carácter vectorial porque al cambiar su magnitud o dirección cambiaria su aceleración o cambio de la velocidad por unidad de tiempo conforme se muestra en la Figura 37.

Figura 37

Mecanismo de producción de rayos X por medio de la radiación de frenado "Bremsstrahlung"



En la cuanto la Figura 37. Explicando el proceso de la radiación de frenado, en las condiciones (*A)* el electrón está sometido a diferencia de potencial lo cual está acelerando por el campo electromagnético *B* y cuando está en las condiciones de *(C)* el electrón interacciona con el núcleo del átomo dicha interacción esta dado por campos electromagnéticos producidos entre el electrón y el núcleo haciendo que su aceleración varie y en este fenómeno las magnitudes físicas de la energía de conservan por lo cual se genera *(E)* un fotón que se emite del espectro electromagnéticos donde se encuentran los rayos X, también se puede visualizar desde las ecuaciones de diagrama de la conservación de la energía con la ecuación (14).

Ecuación 13

Diagrama energético del mecanismo de la producción de rayos X por medio de la radiación de frenado.

$$E_{e^-} + Z \rightarrow Z + E'_{e_} + E$$

Donde $E_{e_}$ Es la energía del electrón en la condición de *(A)* mencionada en la figura 37. Z Es la carga del núcleo, $\rightarrow$ es el símbolo que significa la interacción del después de un proceso en

nuestro caso es la interacción del electrón con el núcleo, $E_e^{'}$ – Es la energía del electrón después de interaccionar con el núcleo cambiando su energía cinética E Es la energía del fotón producido por Bremsstrahlung

También podemos definir la energía del fotón mediante la conservación de la energía por la ecuación de la energía inicial menos la energía final.

Ecuación 14

Ecuación de la energía del fotón resultante después de la interacción con el átomo

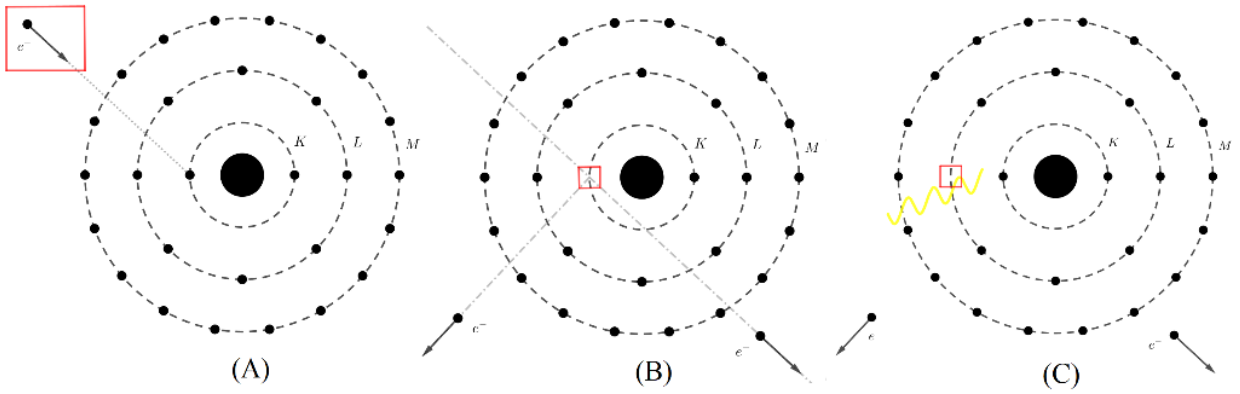
$$E = E_{e^-} - E_{e^-}^{'}$$

2.3.7. PRODUCCIÓN DE RAYOS X POR MEDIO DE FOTONES CARACTERÍSTICO

Al tener un pequeño preámbulo de las nociones del átomo de Bohr y lo esencial de los orbitales y la distribución de electrones y los saltos de los electrones de un orbital a otro absorbiendo o emitiendo fotones dependiendo el caso, seguiremos describiendo uno de los procesos de producción de rayos X, como se observa en la figura 38.

Figura 38

Ilustración de la descripción de la producción de los rayos X de los fotones característicos donde A) el electrón se aproxima a interaccionar con el átomo, B) el electrón ioniza el átomo y los dos electrones sale de la interacción del átomo, c) el átomo busca su mínimo estado energético lo que un electro de los orbitales más alejado del núcleo, hace el salto cuántico al primer orbital y emite un fotón característico relacionado a los rayos X.



El proceso de los fotones característicos es el siguiente en la parte (A) podemos observar un átomo y un electrón libre que van interaccionar entre sí, por lo que tiene gran cantidad de energía cinética por lo cual va a interaccionar con un electrón de la capa K, en la parte (B) observamos que la energía cinética del electrón fue suficiente que pudo ionizar el átomo "extraer el electrón del átomo ", otra forma de decirlo que al átomo estar con las misma cargar o cantidad de electrones iguales a los protones y al ser "arrancado" o se extrajo el electrón ,la carga total del átomo es positiva en la cual el electrón libre y extraído salen de la interacción del núcleo y quedan los dos electrones libres, y en los fenómenos físicos siempre se buscan el equilibrio del estado más bajo de energía, por lo que los fenómenos de la conservación de la energía y proceso termodinámicos dónde la entropía juega un papel importante el estado más bajo de energía genera que en la parte (C) un electrón de la capa exteriores ocupe el lugar en el orbital de la capa K.

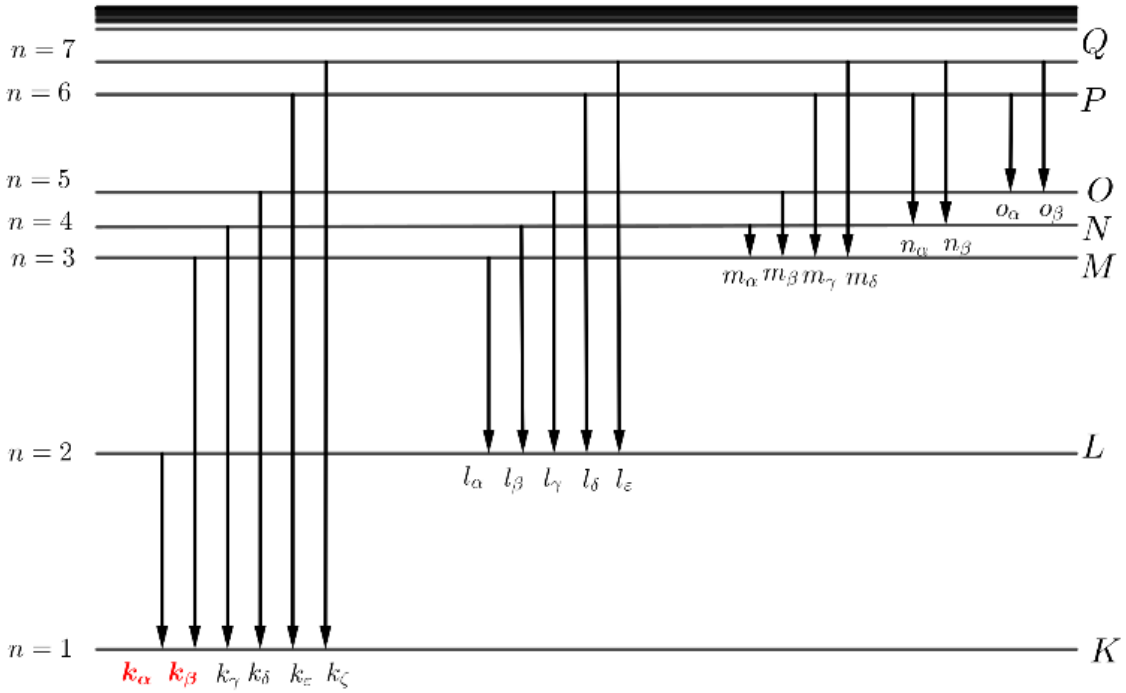
Otra forma herramienta para la enseñanza para poder entender los saltos cuánticos y la producción de los rayos X es por medio de representar las capa, corteza u orbitales del átomo es por medio de líneas que representa las capas donde se distribuye los electrones, lo cual hay siete líneas (*K=1, 2=L, 3=M, 4=N, 5=O, 6=P, 7=Q.)*

Y al tener en cuenta el tercer postulado de Bohr en la cual explica que los electrones al pasar de un orbital a otro son por medio de un fotón con un determinado cuanto de energía se le agrega o extrae del sistema y cuando el átomo busca su estado fundamental de mínima energía,

En la figura 39. Podemos observar de una forma distinta los cuantos de energía que se efectúan por saltar de un orbital a otro

Figura 39

Cuantización de energía desde cada orbital



Retomando la idea de la producción de rayos X, en la cual al interacciona de un electrón con un electrón de la capa u orbital en este caso de la capa *(K)* hay una ionización el electrón de la capa (L) "salta" a capa K por lo que se produce un salto cuántico y se genera un fotón característico de energía en el caso mencionado se llama K Alpha o k_α y en caso de saltar de la capa M al K este fotón se llama K Beta k_β y así sucesivamente con los saltos cuántico y sus fotones característicos para mayos información de estos temas puede buscar en la red o biblioteca en la

literatura científica el fenómeno de emisión de líneas espectrales de un gas como el hidrógeno en las que se encuentras las series de Lyman, Balmer, Paschen, Bracket, Pfund, Humphreys que en si son las emisiones de fotones característicos a un orbital a otro determinado.

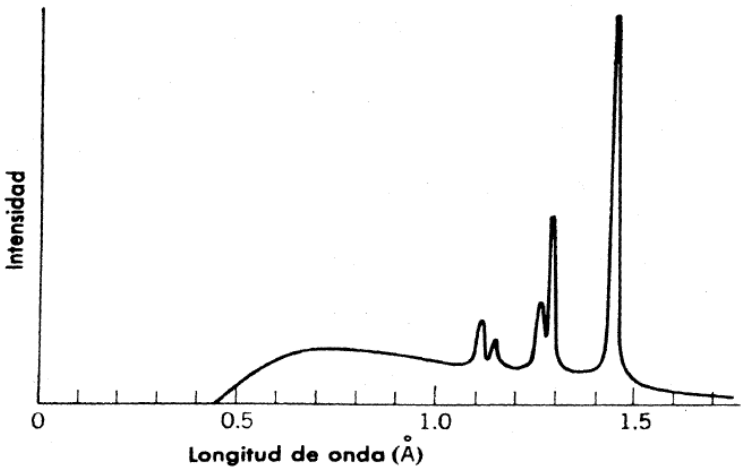
Este proceso de generación de rayos X por medio del proceso de frenado “bremsstrahlung” y el de los fotones característicos es muy deficiente en cuestiones termodinámico porque toda la energía una gran cantidad 99% se convierte en calor y otros procesos físicos ocurren y el 1 % en radiación electromagnética en los rangos de los rayos X (Alcaraz, 2019).

2.3.8. ESPECTRO DE LOS RAYOS X

En la producción de los rayos X hay dos formas de producirlo por medio de la radiación de frenado bremsstrahlung y los picos característicos de los fotones de los saltos cuánticos de los electrones en el átomo por lo k alfa k beta, teniendo en cuenta la Figura (39), es una generalización por así decirlo de la energía cinética de los electrones por la diferencia de potencial por lo que se define como la probabilidad de este flujo de electrones también al tener la interacción con el metal de impacto, no solo es predominante la interacción con el núcleo sino que con la los electrones de las diferentes capas del átomo por lo que a su vez se genera una gran cantidad de fotones con diferentes energía por lo que al tener un detector de la energía de los fotones y de conteo, o la intensidad podemos tener una representación visual del espectro electromagnéticos en el rango de los rayos X con la superposición entre la radiación de frenado y los fotones característicos por medio de los picos que se muestran el grafica 40.

Figura 40

Imagen que relaciona la intensidad del tubo de la producción de rayos X en función de la longitud de onda, recordemos que se puede relacionar con la energía de los fotones.



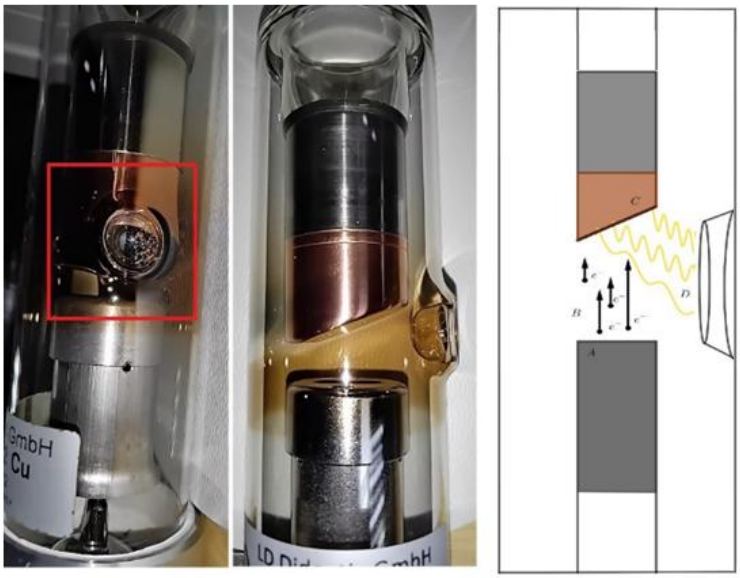
Nota. Eisberg, R. (2013). Física cuántica (p. 394). Limusa.

2.3.9. VENTANA DE LOS RAYOS X

El mecanismo de la generación de los rayos X está dentro un recipiente de vidrio especial y que está en el vació “tubo de rayos X” para que no se genere daños por proceso químicos como la reducción y oxidación de la superficie del metal, del blanco de impacto y el filamento donde se produce el efecto termoiónico hay que recalcar que hay una dispersión al rededor del tubo de rayos X, por lo que se observa con coloración oscura por la razón de la radiación de rayos X por lo que el tubo tiene un diseño donde hay como una superficie plana como ventana por lo que no hay una interacción considerable además de las superficie, otras de las razones es el grosor considerable y se utiliza como protección como se visualiza en la figura 40. En la parte (*E)*

Figura 41

Imágenes del tubo que permite la producción de rayos X, parte (a) se observa la ventana del tubo de vacío donde se emite los rayos X, (b) tubo de rayos X de perfil (c) representación del mecanismo de producción de rayos X.



La explicación de la figura de izquierda a derecha de la figura 41. Donde (1) el cuadro que está enmarcado de color rojo se encuentra la ventana de rayos X. (2) el tubo rayos X de perfil y (3) es una representación pictórica del funcionamiento del tubo de rayos X, empezando desde (*A*) se encuentra el filamento donde se genera la emisión de electrones, (*B*) hasta impactar en el material de impacto, (*C*) donde se genera el efecto de radiación de frenado y los fotones característicos y se emiten hacia la ventana (*D*), en cuanto al material de impacto se escogen estos metales por sus características especiales de su conductividad térmica y también por su temperatura de fusión (temperatura antes de derretirse, proceso de los metales al aumentar su temperatura y pasar de su estado de solido a liquido).

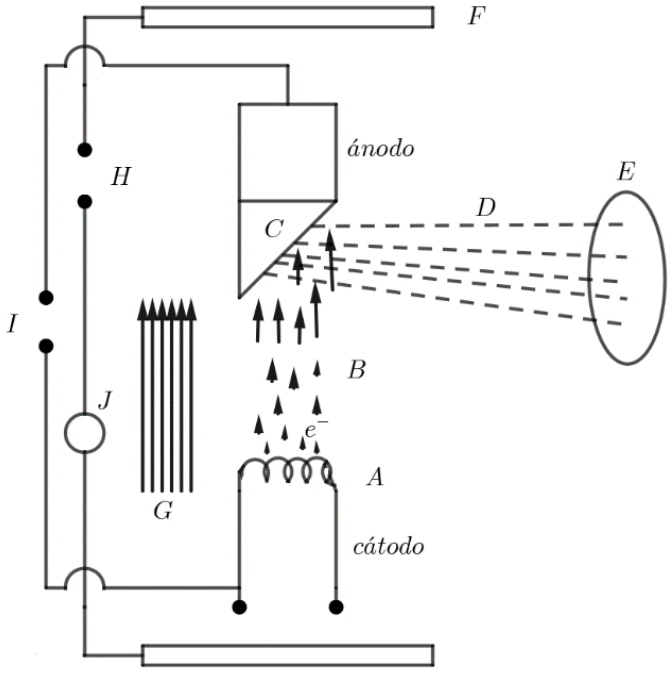
2.3.10. DESCRIPCIÓN BREVE DEL TOMOGRAFO, EL DISPOSITIVO DE GENERACIÓN DE RAYOS X

Los dispositivos que generan los rayos X, por lo general tienes la estructura mencionada a continuación, el motivo principal es conocer el proceso de fenómenos físicos que ocurren allí son de carácter informativos, y divulgativo la maqueta es muy simplificada ya que hay una gran

cantidad de proceso que no están mencionados sino lo más importante que ocurren en el proceso de producción de rayos X.

Figura 42

Estructura de los componentes de una máquina que genera rayos X y sus elementos más fundamentales y simplificado.



PARTE FUNDAMENTALES DE LA PRODUCCIÓN DE LOS RAYOS X

En la Figura 42. Hay unas partes como la *(H)*, *(I)* y *(J)* en cual abarca procesos en circuitos electrónicos como la variación la diferencia de potencial eléctrico de forma electrónica, así como la conversión de corriente alterna a la continua, también como la variación de la corriente que pasa por el filamento, entre otros procesos electrónicos internos, así como la modificación del goniómetro, entre otras funciones fundamental es que se pueda dar conocer las partes y funciones del dispositivo que hace la generación de los rayos X para el tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Donde (A) se encuentra el filamento donde se genera el efecto termoiónico y se crea la nube de electrones o electrones libres, (G) es el campo electromagnético que acelera los electrones libres, (B) es el flujo de electrones que se empiezan acelerar, (C) es el material donde se impactan y chocan e interactúan los electrones, como los metales de Molibdeno (Mo), Wolframio (W) entre otros, Su interacción genera radiación de frenado y fotones característicos emitiendo los rayos X , en dispersión parte (D) y (E) pasan por la ventana del tubo de rayos X, alguno tubos tiene esta ventana.

2.4. FENÓMENOS FÍSICOS EN LA INTERACCIÓN RADIACIÓN MATERIA A NIVEL CUÁNTICO

En este apartado vamos a describir los fenómenos físicos más importantes en el proceso de interacción radiación de los rayos X con la materia, teniendo en cuenta los conceptos de la sección eficaz, efecto Compton, efecto fotoeléctrico, creación de pares de partículas, dispersión coherente de Raleigh que encajan en fenómenos cuánticos, haciendo que la radiación tenga una atenuación y dispersión del proceso mencionado anteriormente.

LA SECCIÓN EFICAZ: Es un modelamiento en el cual consiste en correlacionar la interacción de una partícula con la materia por medio de la probabilidad y cuantificarla en cada fenómeno físico que se produce allí, verbigracia, efecto fotoeléctrico expresado en medida del área como el ***barn,*** u otra magnitud como el ***coeficiente de atenuación másico*** o ***sección eficaz másica*** (m^2/g) por lo que se investigó dichas variables a los tubos de rayos X , en función de la energía en *(kev)* en el programa XCOM del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) que tiene una gran cantidad de materiales que se pueden simular y se encuentra en el siguiente enlace: https://physics.nist.gov/PhysRefData/Xcom/Text/intro.html.

Figura 43

Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Plata (Ag) Número atómico 47, parte derecha Oro (Au) Número atómico 79.

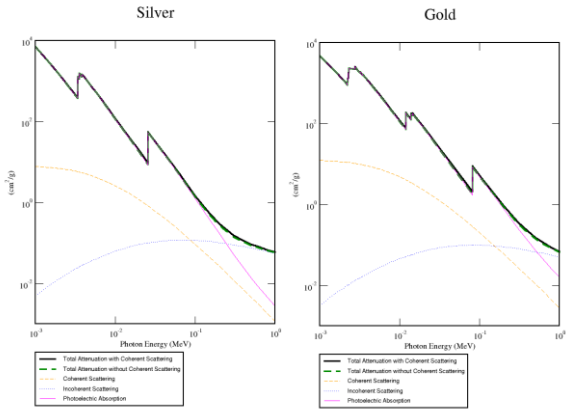


Figura 44

Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Hierro (Fe) Número atómico 26, parte derecha Tungsteno (W) Número atómico 74.

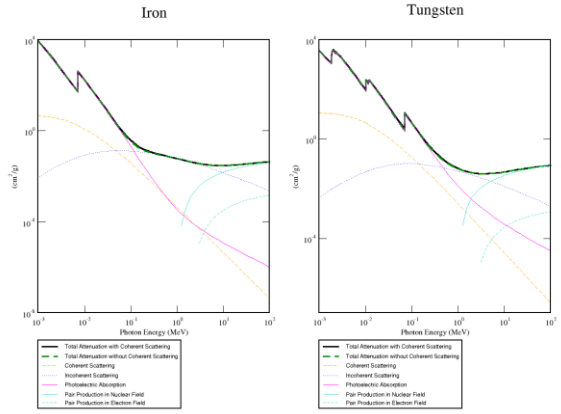
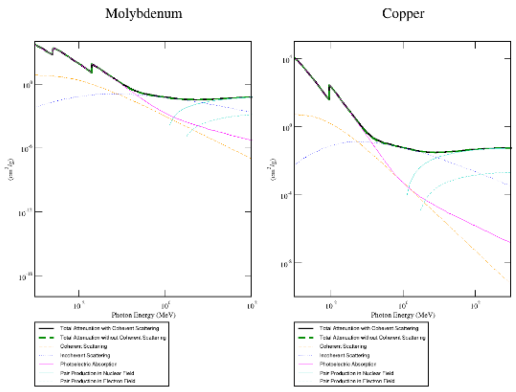


Figura 45

Sección eficaz de los materiales en función de la energía (MeV): la parte izquierda Molibdeno (Mo) Número atómico 42, parte derecha Cobre (Cu) Número atómico 29



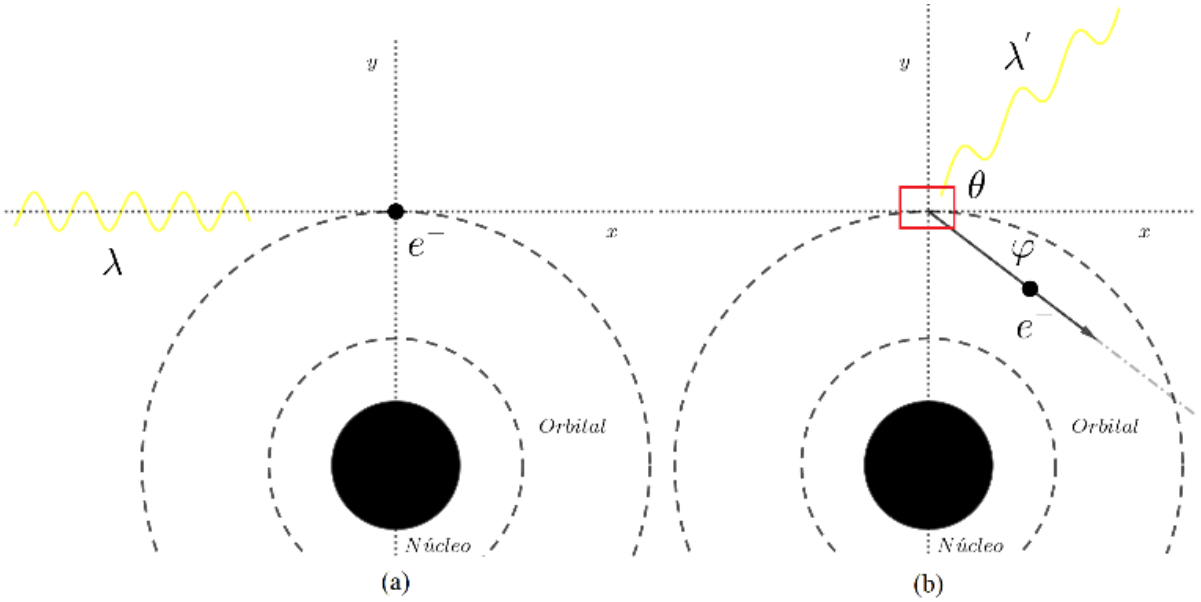
2.4.1. EFECTO COMPTON

El efecto nombrado es por el físico en su honor al estadunidense Arthur Holly Compton (1892- 1962) en la cual lo descubrió y le dio sentido desde una perspectiva más de la física cuántica en el desarrollo de cuantificación y conservación de la energía por Max Planck y Albert Einstein en su trabajo ***A Quantum Theory of the Scattering of X-rays by Light Elements*** que se puede ver en el siguiente enlace: https://journals.aps.org/pr/pdf/10.1103/PhysRev.21.483.

El fenómeno físico consiste en que un fotón interacciona con un electrón de las ultimas capas de los orbitales del átomo, simplificándolo en que se efectué como un electrón libre, el fotón interactúa con el electrón, después de su interacción el fotón cambia de dirección y su energía y el electrón adquiere energía cinética con un ángulo dado como se muestra en la figura 46.

Figura 46

En el efecto Compton, un fotón incidente interactúa con un electrón, desviándose con un cambio de energía y ángulo, mientras el electrón adquiere energía cinética y un nuevo ángulo



2.4.2. EFECTO FOTO ELECTRICO

Al estudiar el fenómeno físico de emitir radiación electromagnética en una placa o superficie metálica se observó que esta emitía una chispa de corriente, el primer científico que descubrió este fenómeno fue Robert Andrews Millikan (1868-1953) pero el sentido de la posible hipótesis del por qué pasa este fue el físico Albert Einstein (1879-1955) donde da una comprensión del fenómeno físico en su artículo *"**On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light**"* en 1905 y con anterioridad fue estudiada con más enfoque el físico alemán Philipp Eduard Anton von Lenard (1862-1947) en *The magnetic deflection of cathode rays* que se tomó una fuente de radiación electromagnética y se aplicó sobre una placa metálica la cual estaba sometida en una diferencia de potencial inicial y cuando se cambió la frecuencia de la radiación electromagnética esta a su vez aumentaba la diferencia de potencial, por lo cual se pensó que había un flujo de electrones provenientes de la placa, consecuente de la radiación, en este experimento se aumentó la intensidad de radiación teniendo en cuenta la diferencia de potencial y

la frecuencia constante y no aumento por lo que no dependía de la intensidad que se le aplicaba a las placas (Resnick, 2013.) como se muestra el instrumento en la figura 47.

Pero no vio cambios aparentes, por lo cual... "*Los experimentos sobre la emisión de electrones por superficie iluminadas con luz tampoco se pudieron entender sobre la base de las teorías clásicas* (krane,1991.)*" llegando* a uno de los cambios conceptuales en el entendimiento de la naturaleza de la luz es *"En lugar de distribuir su energía suavemente en su frente de onda, la energía se trasporta en paquetes concentrados de partículas; un paquete discreto (cuanto) de energía electromagnética que se conoce como fotón"*

La esencia y las conclusiones del efecto fotoeléctrico es que la radiación electromagnética interactúa con la materia por la frecuencia de los fotones que está relacionado con su energía y se puede relacionar con la ecuación 16.

Ecuación 15

Relación entre la energía que se podía detectar en función de la frecuencia de radiación monocromática y la función de trabajo del material de la placa.

$$K = hv - w$$

Donde:

K es la energía cinética que adquiere al interactuar con el fotón

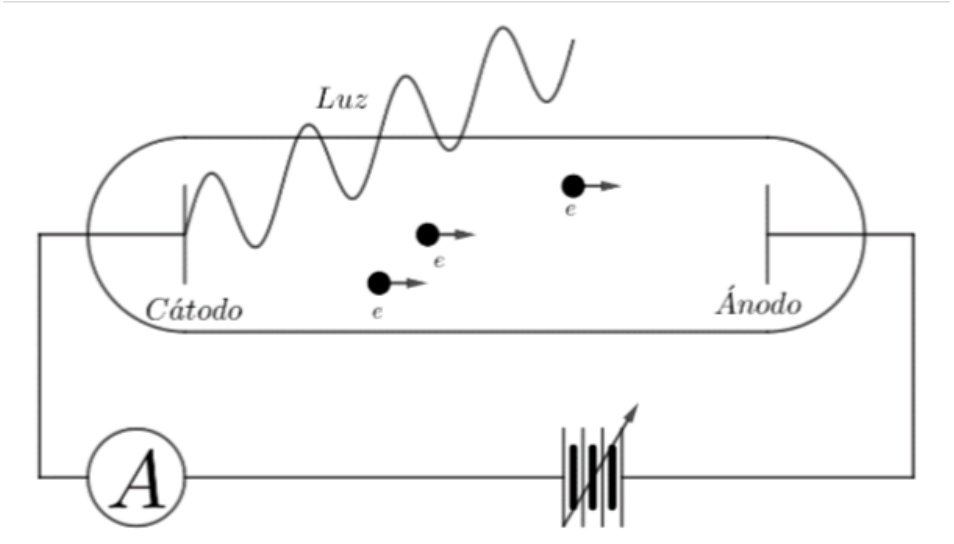
hv es la energía del fotón

w es la energía necesaria para extraer el electrón del átomo del metal conocida como función de trabajo

Al explicarlo por medio de que la radiación electromagnética está relacionado con los cuantos de energía, se le dio premio nobel a ALBERT EINTEIN y no a PHILIPP LENARD y el dispositivo para su experimentación consistía en un tubo al vacío con dos placas por lo cual se le aplicaba una diferencia de potencial, y se media por medio de instrumentos, después se le aplica una emisión de radiación monocromática (de una sola frecuencia) y se media su diferencia potencial que cambia, hacia el mismo procesamiento a otros tipo de frecuencia como se observa en la figura 47.

Figura 47

Experimento de la demostración del efecto fotoeléctrico, dentro de un tubo al vacío donde se le aplica un potencial y se sobrepone una radiación monocromática y se observa una corriente por el fenómeno cuántico.



Nota: Esquema de la experimentación del efecto fotoeléctrico tomado de Eisberg, R. (2013). Física cuántica (p. 48). Limusa.

2.4.3. CREACIÓN DE PARES DE PARTÍCULAS

El mecanismo de interacción de la creación de pares de partículas consiste en que el fotón interacciona con el núcleo y se emiten dos partículas un electrón y un positrón, con una determinada energía mayor a 1.022 MeV del fotón, que es la suma de la energía de las dos partículas que se pueden calcular por medio de la ecuación de Albert Einstein para partículas en reposo con masa como se muestra en la ecuación 17.

Ecuación 16

Ecuación que relaciona la energía de una partícula con su masa cuando está en reposo o ecuación de Albert Einstein, aunque tiene varias ecuaciones

$$E = mc^2$$

Por lo que se mencionó anteriormente se necesita un fotón con una energía mínima para crear el fenómeno, y se emitiera con un ángulo de 180° y con poca velocidad o energía cinética, si tiene más energía el fotón puede que tengan más energía cinética y varie sus ángulos como se muestra en la figura 48.

Figura 48

La producción de pares ocurre de partículas cuando un fotón con energía superior a la masa de un electrón y un positrón, según la ecuación de Einstein, que interactúa con un núcleo como resultado dos partículas.

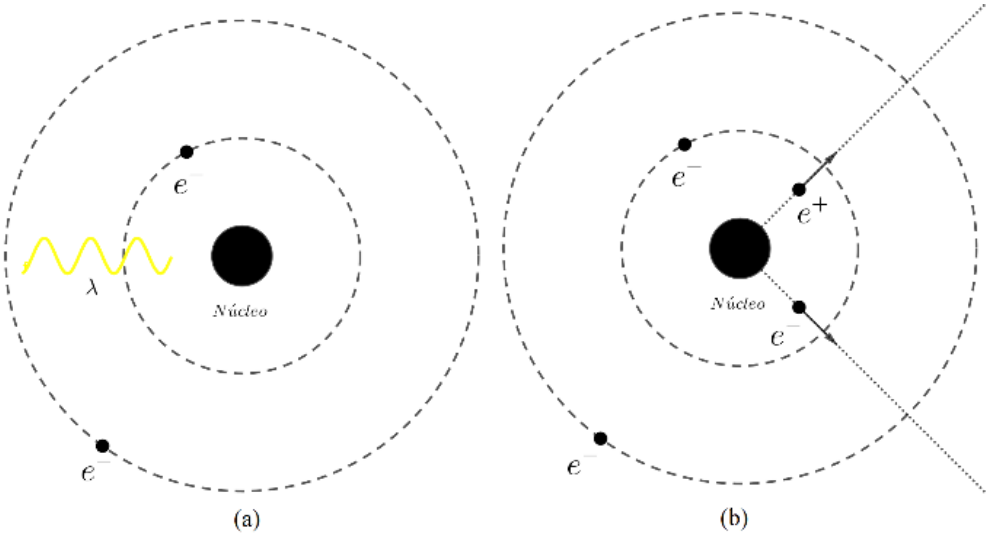
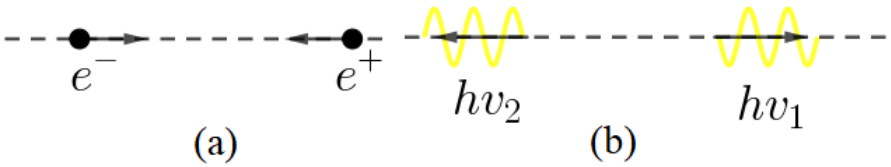


Figura 49

Parte izquierda dos partículas un electrón y positrón que van a interaccionar, la parte derecha dos fotones con una dirección entre un ángulo de 180°

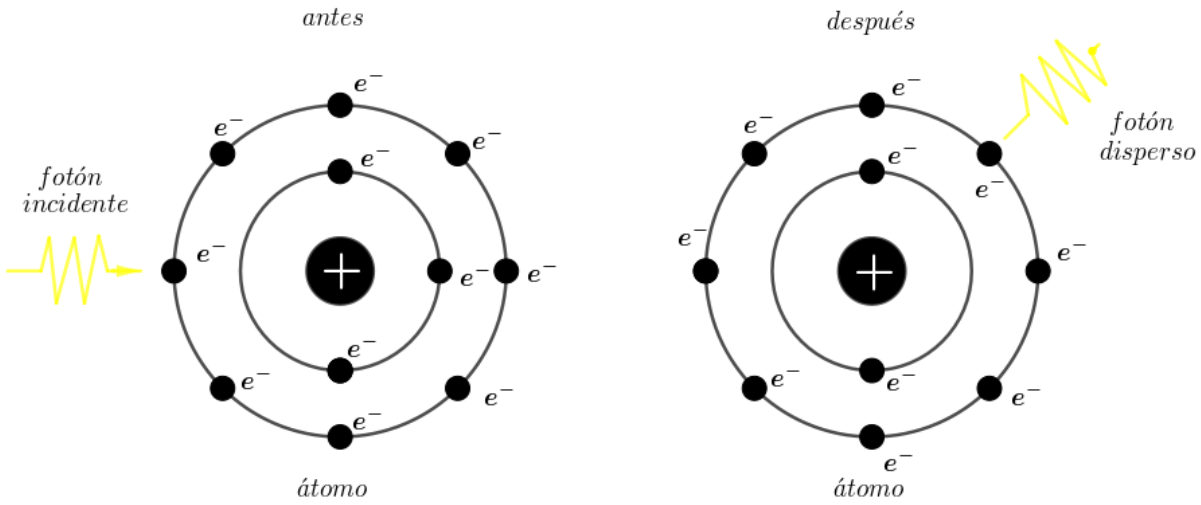


2.4.4. DISPERSION COHERENTE DE RAYLEIGH

El fenómeno se produce cuando el fotón interacciona con el átomo de manera elástica haciendo su momento y su energía se conserve y solo cambie su dirección como se muestra en la figura 50, así como otras dispersiones como la de Thompson que su interacción también es elástica, pero su interacción es con el electrón del átomo.

Figura 50

Interacción del fotón y el átomo antes y después de la Dispersión coherente Rayleigh



2.5. INTERACCIÓN RADIACION MATERIA A NIVEL MACROSCOPICO

En los ítems anteriores se explicó los fenómenos cuánticos que se presenta en la interacción radiación materia, haciendo que la radiación de rayos X al penetrar la materia, tuviera una dispersión con los fenómenos como Dispersión coherente Rayleigh, Thompson al cambiar su ángulo de trayectoria y los que perdía energía en su proceso como el efecto fotoeléctrico, creación de pares de partículas, o ambos procesos como el efecto Compton.

En el presente capitulo vamos a comprender el proceso y modelamiento de lo que sucede cuando una fuente de rayos X se sitúa un material en la mitad, y se estudia su variación de intensidad y que magnitudes físicas están relacionada, por lo que el modelo físico que utilizamos en el proceso es la ley o ecuación de Beer-Lambert que se muestra en la Figura 18.

Ecuación 17

Ecuación que relaciona Intensidad de los rayos X, al interaccionar con un objeto con condiciones iniciales como el coeficiente de atenuación y su grosor o distancia paralela a la penetración de los rayos X e intensidad inicial.

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

Por lo que la constante μ se conoce como la ***contante de atenuación*** y es una propiedad intrínseca de cada elemento químico, que se le conoce por distinguir que elementos son traslucidos a los rayos X a otros muy opaco como por ejemplo al tener dos objetos uno de madera y el otro de metal con la misma distancia al aplicarle radiación de rayos X la madera es más traslucida que el metal, ya que la constante también depende de parámetros como se muestra en la ecuación 19.

Ecuación 18

Ecuación que relaciona el coeficiente de atenuación a otras variables físicas.

$$\mu = \frac{\rho N_A}{A}\sigma_{tot}$$

Donde

ρ Es la densidad del material, es un coeficiente de la división de la masa y el volumen

N_A Es constante del número de Avogadro

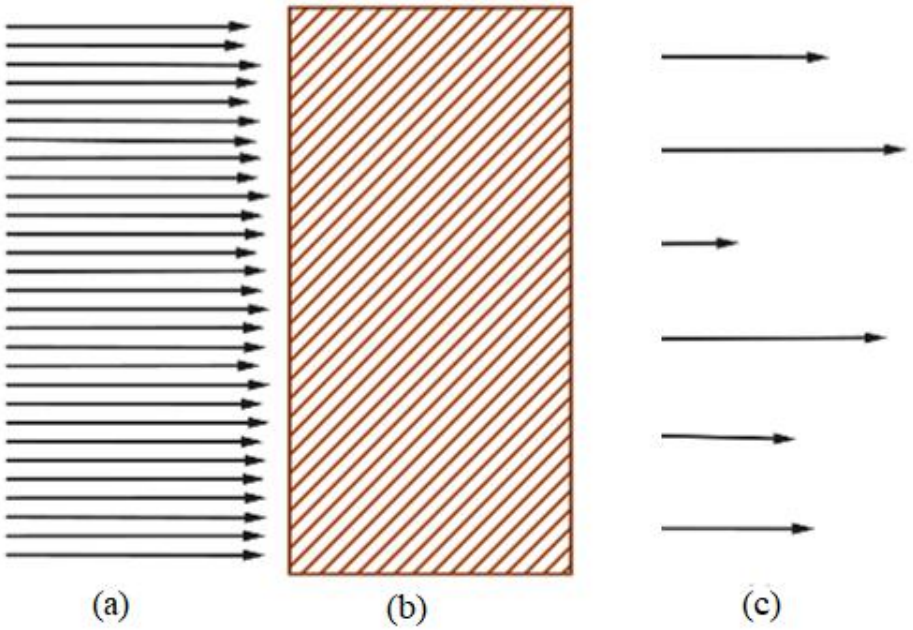
A Es la masa atómica

σ_{tot} Sección transversal total (Absorción y dispersión)

Considerando la ecuación (19). Lo que nos quiere dar a entender es que la intensidad de los fotones muy energéticos del rango de los rayos X al interactuar "atravesando" o penetrando el objeto hay una disminución de la intensidad inicial por los procesos físicos de absorción y dispersión que describió en la sección anterior como se muestra en la figura 51.

Figura 51

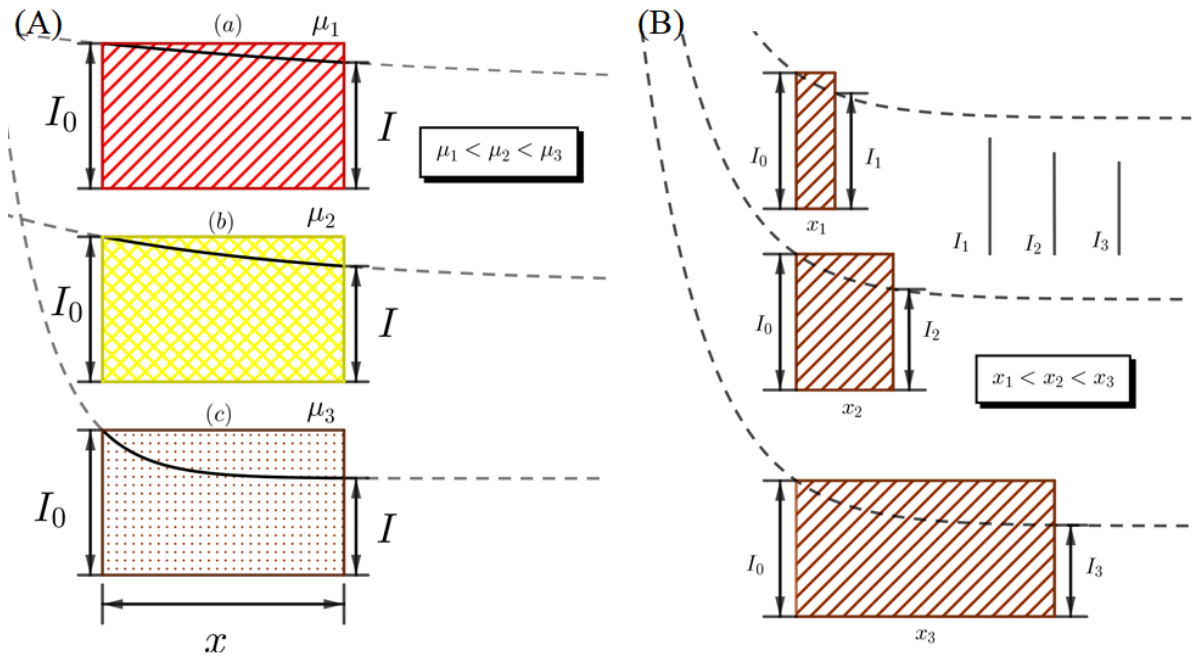
Representación de la interacción de los rayos X con un objeto y la atenuación de su intensidad donde (a) se representa la intensidad de los rayos X, (b) es el objeto que va a interaccionar con los rayos X al penetrarlo en su interior y (c) intensidad



Por lo que la atenuación representada en la ecuación 18. Depende de la distancia que atraviesan los rayos X y el coeficiente de atenuación, que son dos variables que está relacionada con la intensidad incidente de los rayos X como lo observamos en la figura 52.

Figura 52

Variables en la ecuación de Beer-Lambert: (a) distintos coeficientes de atenuación (μ) e igual longitud de penetración, y (b) diferentes distancias de penetración con mismo coeficiente (μ)

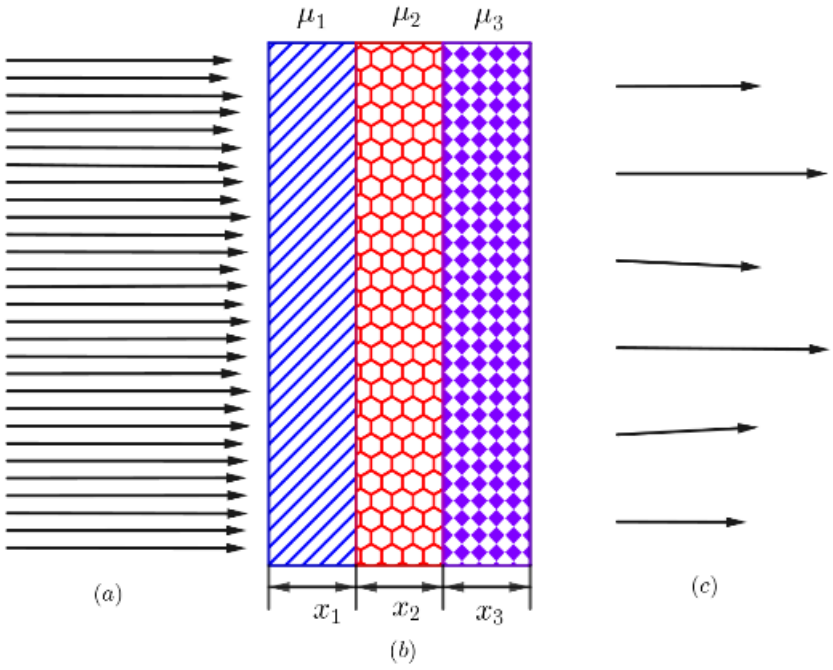


2.5.1. MATERIALES CON COEFICIENTE DE ATENUACIÓN(μ) VARIABLE

Es importante considerar que, en algunos materiales, el coeficiente de atenuación no es constante a lo largo de la trayectoria de los rayos X, especialmente cuando atraviesan materiales no uniformes. Esto se debe a que los objetos están compuestos por diferentes materiales internos que pueden alterar la intensidad de la radiación proyectada, lo que da lugar a variaciones en la absorción de los rayos X. Este fenómeno se puede observar en la figura 53.

Figura 53

Interacción de la intensidad de rayos X, que interactúa con la materia con diferentes coeficientes de atenuación $(\mu_1), (\mu_2) y (\mu_3)$ *y con sus respectivas distancias* $(x_1), (x_2)$ *y* (x_3)



Por lo que la ecuación (18) tiene una modificación en la cual se debe tener los diferentes coeficientes de atenuación que interacciona la intensidad de radiación de los rayos X, como se muestra en la ecuación 21.

Ecuación 21
Ecuación de berr-lambert modificada para un objeto con diferentes coeficientes de atenuación en su interior.

$$I = I_0 e^{-\mu_\Sigma x}$$

$$\mu_\Sigma = \mu_1 + \mu_2 + \cdots \mu_n$$

$$I = I_0 e^{-(\mu_1+\mu_2+\mu_3)x}$$

Por lo que la ecuación de la atenuación de la intensidad de los rayos X o ecuación de Beer-Lambert es modificado, por el momento no se describirá más propiedades ya que en el apartado de tomografía recalcamos su utilización en solucionar la sobreposición de los materiales y se enfoca en los materiales con coeficiente de atenuación (μ) variable.

2.5.2. SIMULACIÓN DEL MODELO SIMPLIFICADO DEL TRASPORTE Y TRAYECTORIA DE FOTONES AL PENETRAR LA MATERIA Y LA ECUACIÓN DE LEY DE BEER-LAMBERT

INTRODUCCIÓN

El modelo mencionado a continuación es muy simplificado y didáctico lo que busca es comprender de una forma abreviada la trayectoria de un fotón en el interior de la materia y como se puede representar por medio de una gráfica, la atenuación de la intensidad por medio de la ecuación de Ley de Beer-Lambert, en caso de una simulación más avanzada y precisa se encuentra los software con un alto nivel de simulación en fenómenos físico como es el caso de geant 4, Penelope (Penetration and ENErgy LOss of Positrons and Electrons) y su derivado como Py Penélope.

Figura 54

Simulación del espectro de los rayos X (a), (b) por medio de PENOLPE, (c) modelo de simulación en GEANT 4

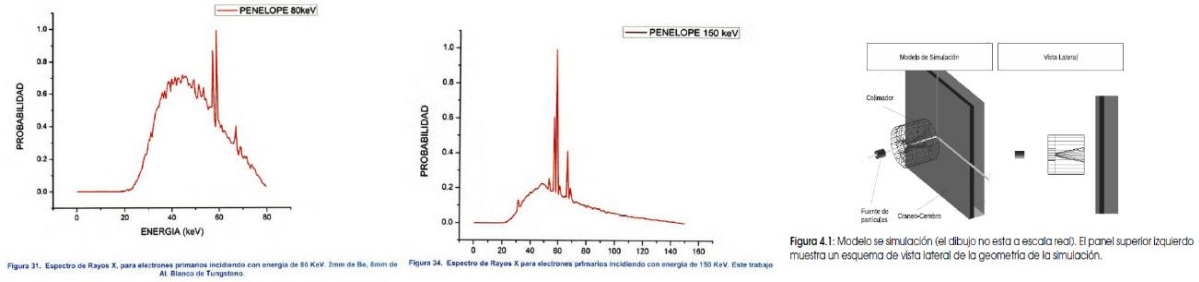


Figura 31. Espectro de Rayos X, para electrones primarios incidiendo con energía de 80 KeV. 2mm de Be, 8mm de Al. Blanco de Tungsteno.

Figura 34. Espectro de Rayos X para electrones primarios incidiendo con energía de 150 KeV. Este trabajo

Figura 4.1: Modelo se simulación (el dibujo no esta a escala real). El panel superior izquierdo muestra un esquema de vista lateral de la geometría de la simulación.

Nota. Niño, A. (2011). generación de espectros de rayos X de baja energía por simulación monte carlo (p. 83 y 86).

Nota. Garcia et al., (2020). Radiación-Materia: Geant4 Hands On! (p. 82). Editorial UD.

La simulación en física es muy importante porque lo que busca es tratar de comparar resultados con la experimentación y tratar de predecir antes de la experimentación por lo que es hay una gran comunidad en el desarrollo en apoyo de la tecnología y las teorías, que ayuda a mejorar los modelos.

CONJUNTO DE NUMEROS ALEATORIOS UNIFORME

Se genera un conjunto de números aleatorios de manera uniforme con un máximo (b) y un mínimo (a) , siendo que $a \leq x \leq b$ y se puede describir con la ecuación (19)

Ecuación 19

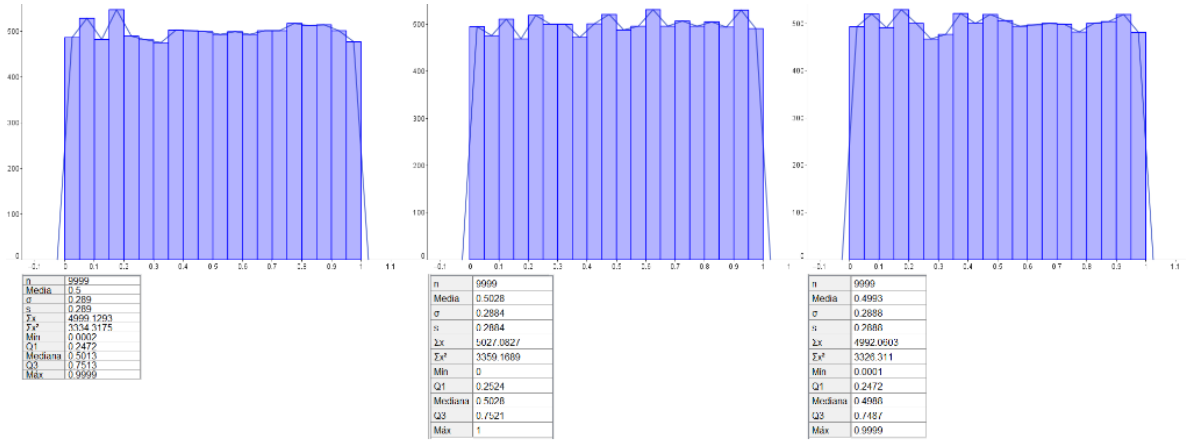
Ecuación de un conjunto delimitado de números aleatorios

$$p(x \mid a < x < b)$$

Al generar una gráfica de frecuencias de cada número, en lo ideal es que sea uniforme en cuanto a las frecuencias, pero no hay una uniformidad sino pequeñas variaciones cuando se genera las simulaciones, defecto del conjunto ya que no son aleatorios uniformes, sino que se genera a partir de semillas de números pseudoaleatorias por lo que se muestra en la figura 55.

Figura 55

Tres simulaciones de un conjunto de 9999 que se genera un numero aleatorio de o a 1 con pequeñas variaciones en su uniformidad y su respetiva estadística en la parte inferior.

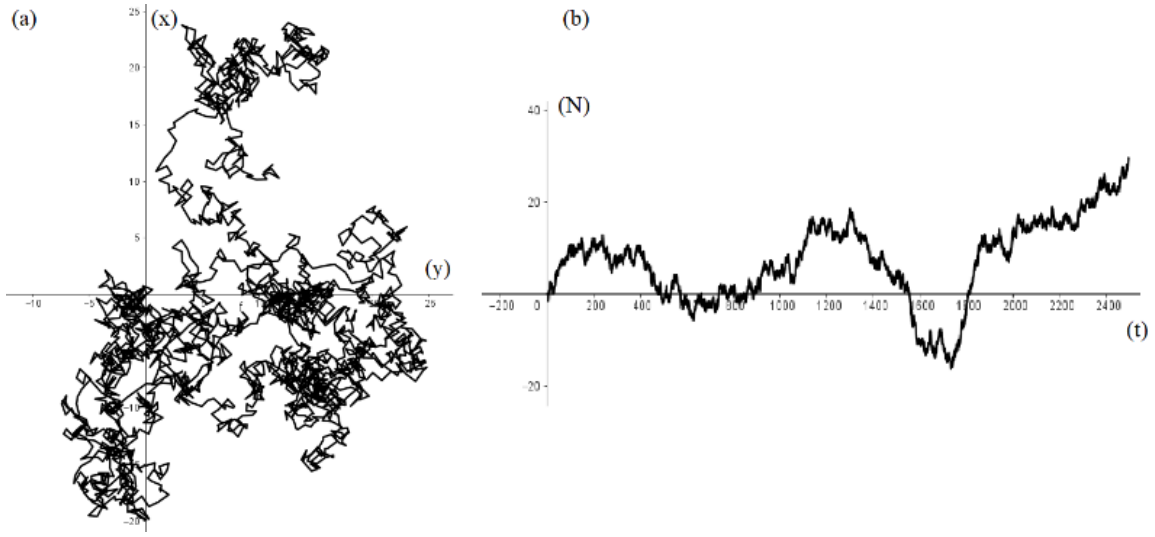


MOVIMIENTO BROWNIANO SIMULANDO LA TRAYECTORIA DE UN FOTÓN EN LA MATERIA.

El movimiento y la trayectoria de uno objeto de forma aleatoria se conoce por el nombre del médico, cirujano y botánico Robert Brown (1773-1858) que estudio y describió el fenómeno al ver que el polen tenía este comportamiento cuando se introducía en un líquido encontrando la trayectoria que se muestra en la figura (56).

Figura 56

La parte (a) simulación del movimiento browniano en 2D, (b) simulación en 1D en función del tiempo

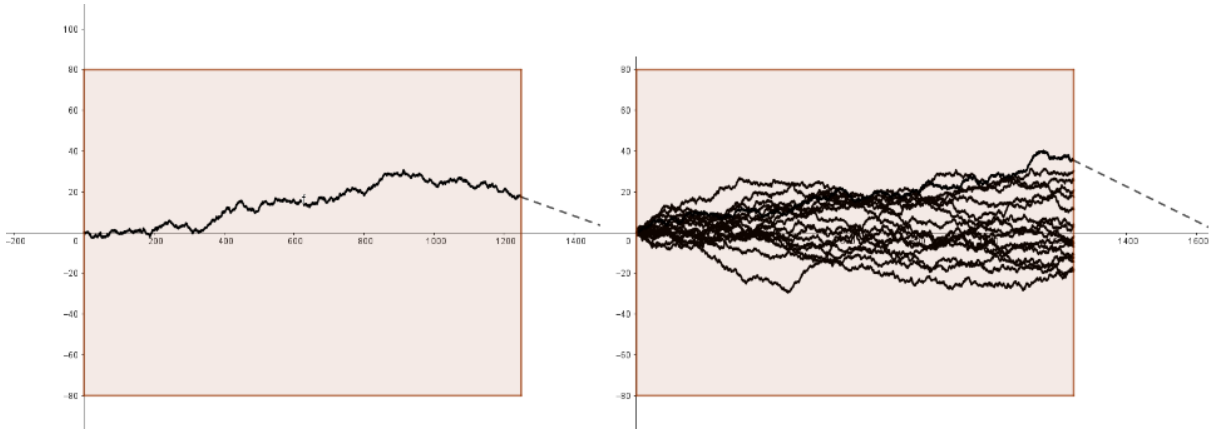


La simulación consiste en empezar la secuencia partiendo de parámetros iniciales en este caso que empiece de punto de origen, después se toma un valor o número del conjunto de valores aleatorios uniforme y se suma con el anterior valor, en este caso sería en colocar los parámetros iniciales, después el siguiente paso es obtener otro valor del conjunto aleatorio, y sumar el anterior, así sucesivamente y se puede generar una trayectoria de características aleatorias, para dos variables que se puede simular como se observa en la figura 55 (a), y en una sola variable y la otra lineal o consecutiva como si fuera el tiempo la parte derecha de la figura 55.

Al aplicarle emisión de partículas en un bloque de materia se parte desde el inicio del eje *x*, hasta 1200 de distancia podemos observar la simulación de una trayectoria de un fotón de rayos X atravesando el material al generar varias trayectorias que podemos ver en la figura 57.

Figura 57

Simulación simplificada de una trayectoria de un fotón dentro de un material parte (a) una sola simulación, parte (b) varias simulaciones de las trayectorias.

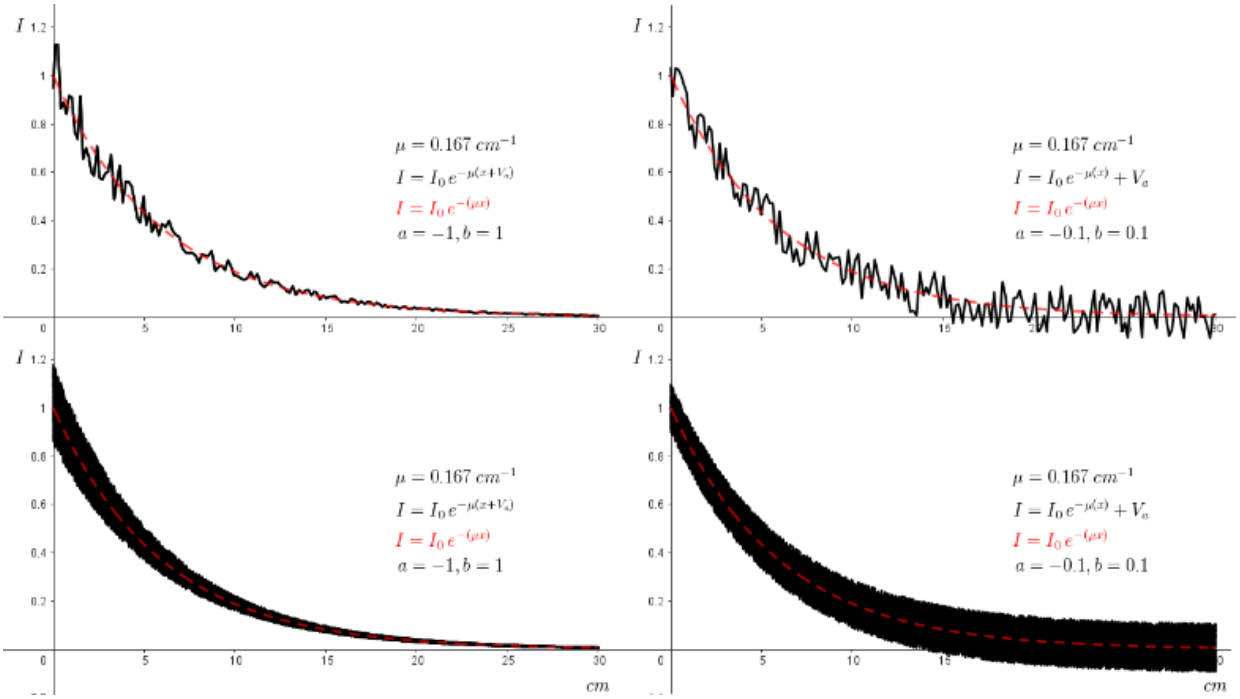


SIMULACIÓN DE LA ECUACIÓN DE LEY DE BEER-LAMBERT CON VARIABLES ALEATORIA

En la simulación de la interacción radiación materia de los rayos X, se emplea la ecuación (18) donde el coeficiente de atenuación μ del agua a 100 keV es de 0.167 *https://www.radiation-dosimetry.org/es/que-es-el-coeficiente-de-atenuacion-lineal-y-masiva-rayos-x-definicion/* se realiza dos simulaciones al agregarle números de valores aleatorios uniformes V_a en la primera parte se introdujo dentro de la función, y las segunda afuera de la función y en suma como se observa en la Figura 58.

Figura 58

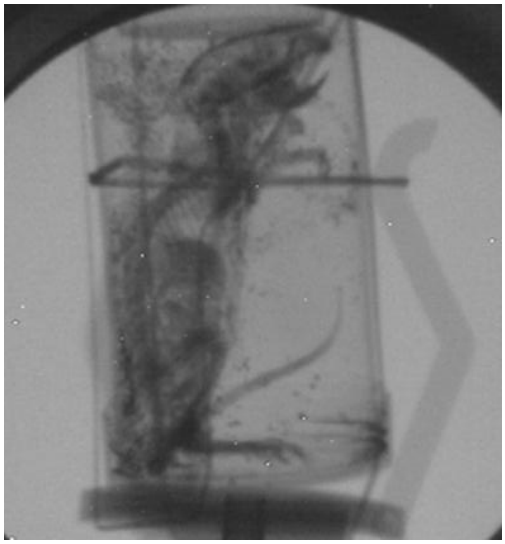
Simulación de la ecuación de atenuación de Ley de Beer-Lambert con variable aleatorias en la parte izquierda se introdujo en el interior de la función exponencial y la parte derecha se agregó en forma se suma afuera del exponencial y en la parte de abajo varias simulaciones.



2.6.RADIOGRAFÍA

Figura 59

Radiografía de un roedor anexado a la caja del kit de materiales didácticos para la enseñanza.



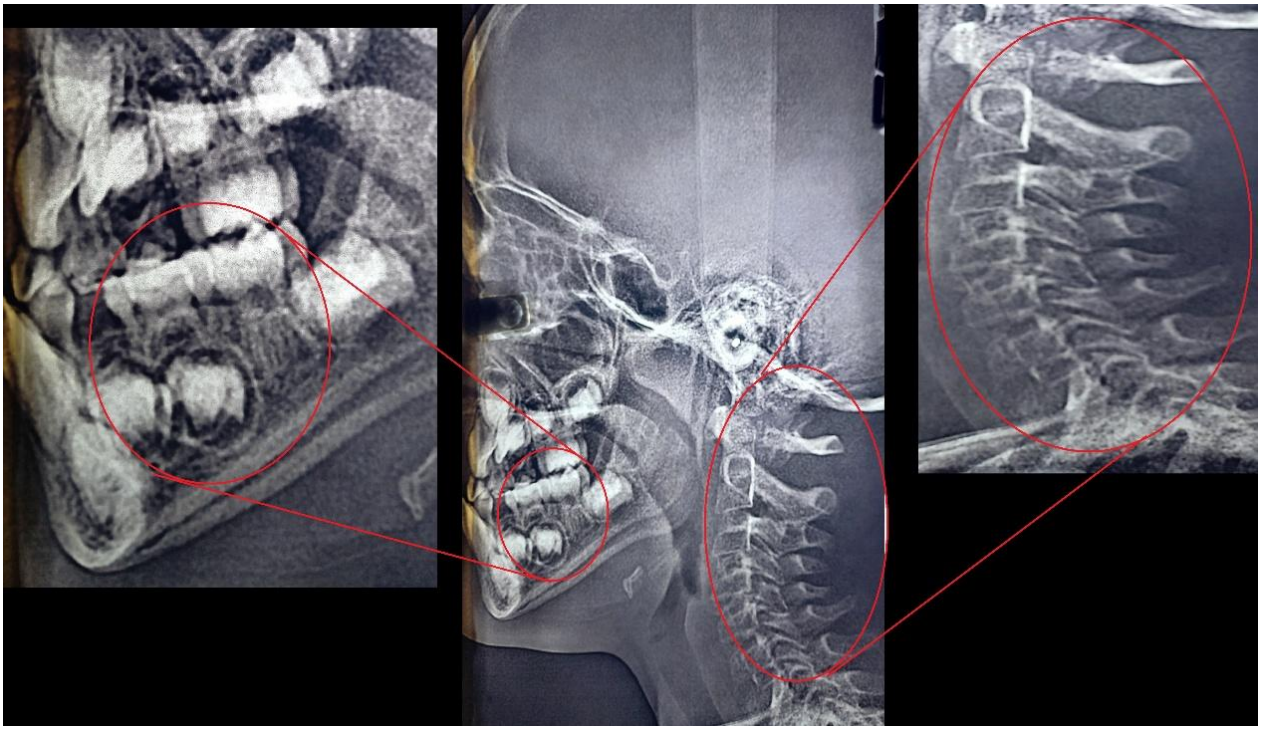
Las radiografías son imágenes obtenidas mediante el uso de rayos X, para estudiar el interior de un objeto. Su proceso consiste en tener en cuenta una fuente de radiación ionizante, que puede ser una sustancia radiactiva emisora de rayos X o un dispositivo capaz de generarlos. Entre esta fuente y un sensor o placa de adquisición de imágenes se coloca el cuerpo a examinar. Al atravesarlo, los rayos X interactúan con los diferentes tejidos según sus coeficientes de atenuación, lo que permite plasmar la información en placas radiográfica generando las imágenes. Estas diferencias en la atenuación generan variaciones en la tonalidad en el brillo de la imagen, que pueden analizarse utilizando la escala de Hounsfield, la cual se explicará más adelante.

Las radiografías fueron descubiertas por Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) mientras experimentaba con un tubo de rayos catódicos y observaba su interacción con una pantalla fluorescente cercana. Este hallazgo revolucionó la ciencia y la medicina, brindando un valioso apoyo a la humanidad. Su principal aplicación es en el estudio del cuerpo humano para diagnósticos médicos, ya que permite obtener imágenes internas sin necesidad de procedimientos invasivos.

La radiografía es un apoyo importante para el estudio del interior de un cuerpo, por lo que en la recolección de material didáctico se construyó una lámpara para visualización de radiografías convencionales y varias radiografías para su uso y estudio como se muestra en la siguiente radiografía en la figura 60.

Figura 60

Radiografía convencional lateral de cráneo de un infante



Por lo que se puede observar en la radiografía en la parte izquierda la estructura y organización de los dientes y muelas de un infante, mientras que la parte derecha las vértebras cervicales del cuello por lo que se logra apreciar su forma y se puede clasificar y conocer cada una como se muestra en la figura 61.

Figura 61

Vertebra cervicales con sus términos científicos de la anatomía de izquierda a derecha de (a), Cuerpos vertebrales de C2-C4 Corpora vertebrarum C2-C4 (b) Procesos transversos de las vértebras C2-C7 Processus transversi vertebrarum C2-C7 y (c) Procesos espinosos de las vértebras C2-C5 Processus spinosi vertebrarum C2-C5 (Navarro, 2023)

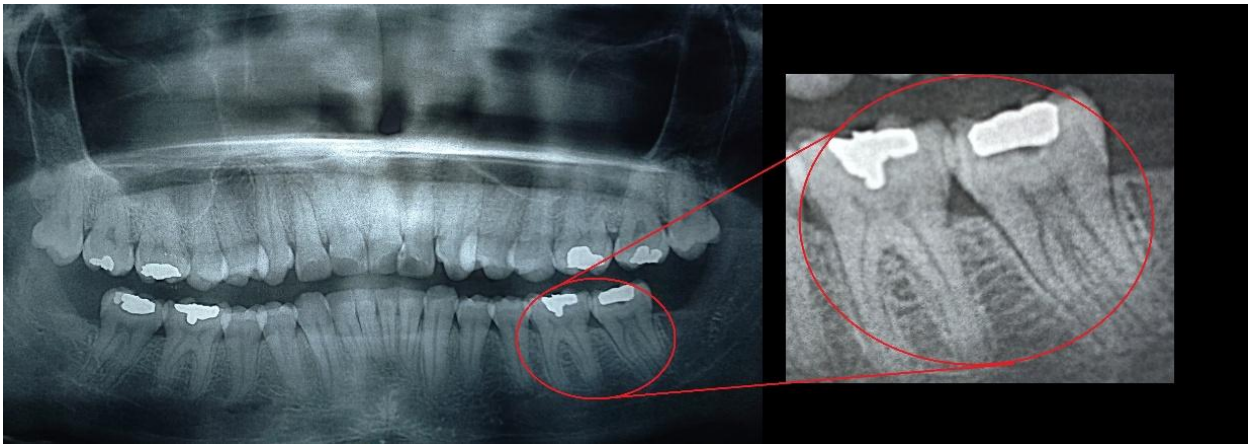


Nota. Navarro, B. (2023). [Vértebras cervicales] [Imagen]. Kenhub. https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/vertebras-cervicales

Otro material que se encuentra en el kit de materiales es una radiografía panorámica dental que se puede ver en la figura 62.

Figura 62

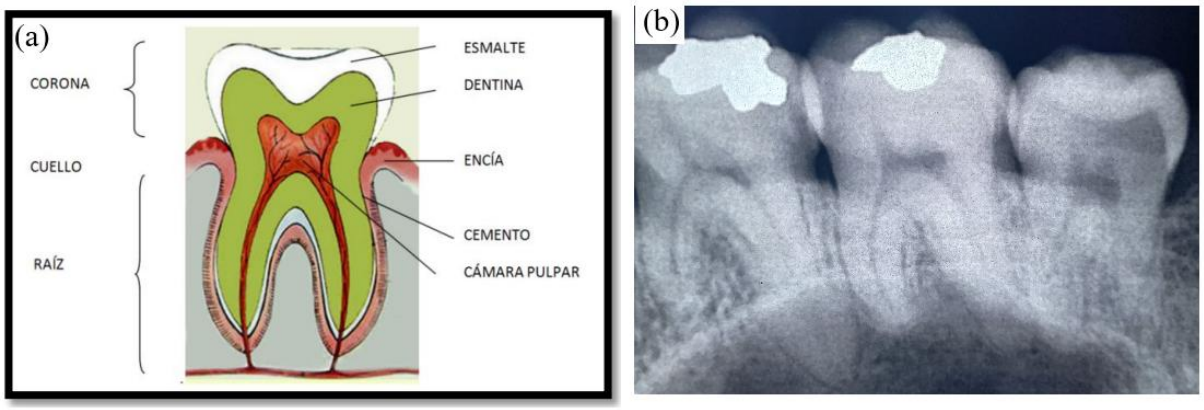
Radiografía panorámica dental que se puede apreciar la estructura del diente en la parte derecha.



Por lo que se puede conocer las partes del diente, además que se puede apreciar el empaste que tiene la muela

Figura 63

En la parte (a) se encuentra la estructura del diente y (b) Radiografía periapicales en la cual se puede distinguir cuál es el empaste dental, raíz, cavidad pulpar

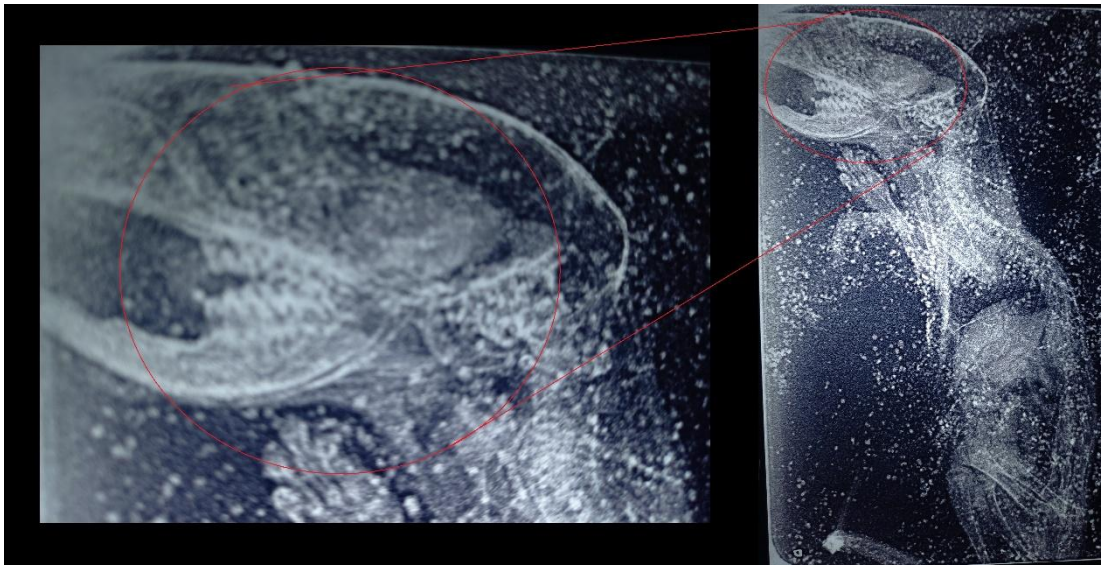


Nota. Gomá, M. (2013). el conocimiento de las poblaciones del pasado a través de los restos óseos: introducción a la morfología dental y confección de una clave dicotómica para la clasificación de piezas aisladas (p. 5).

Otro recurso que se encuentra en el kit de materiales es el Roedor que se ha mencionado anteriormente, se le ha aplicado a una radiografía convencional como se observa en la figura 64.

Figura 64

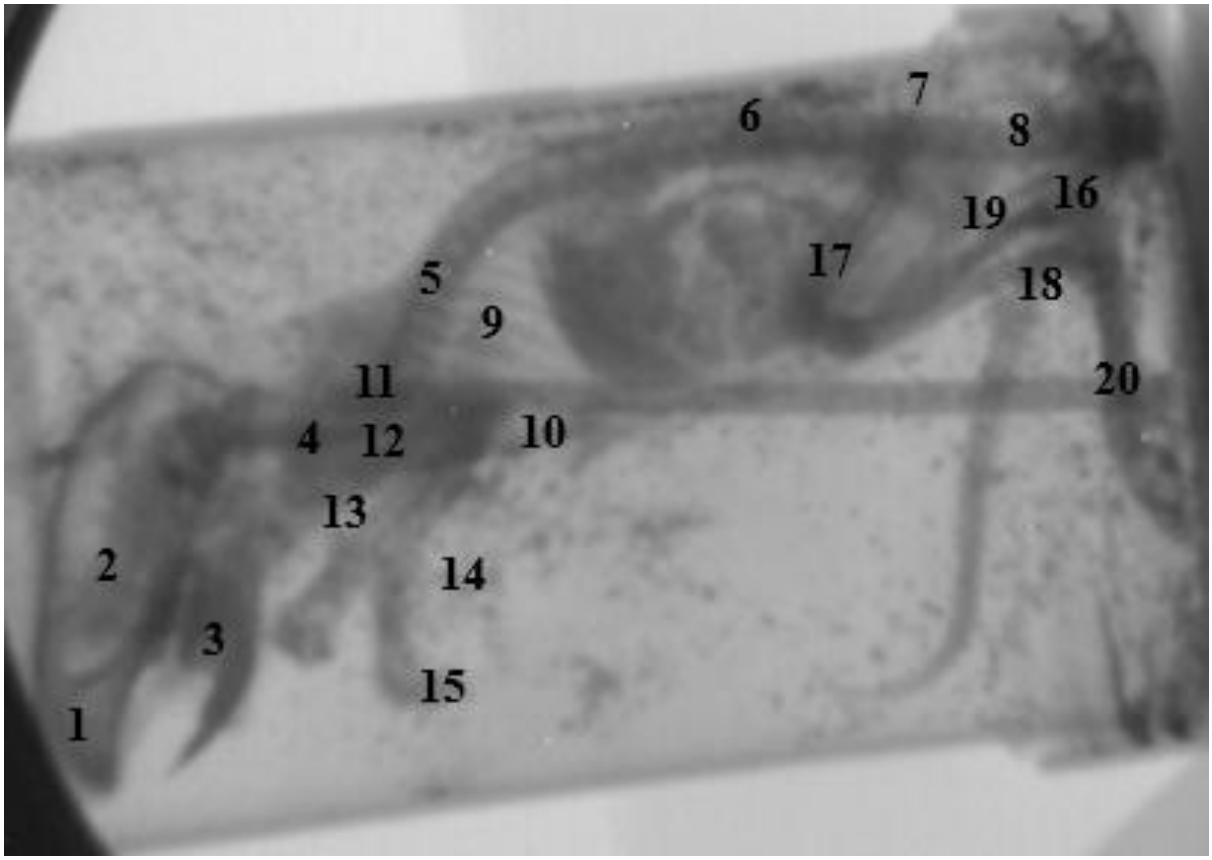
radiografía convencional aplicado al roedor perteneciente al kit de materiales, detallando Morfología y estructura de los dientes.



A partir del tomógrafo de UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS se puede generar radiografía, pero de forma digital por lo que se puede observar en la figura 65.

Figura 65

Radiografía digital del roedor conociendo su estructura ósea mencionada a continuación: (1) cara, (2) cráneo, (3) mandíbula, (4) vértebras cervicales, (5) vertebras torácicas, (6) vertebra lumbares, (7) sacro, (8) vertebras caudales, (9) costillas, (10) esternón, (11) escápula, (12) húmero, (13) radio, (14) cúbito, (15) pata delantera, (16) hueso de la cadera, (17) fémur, (18) tibia, (19) peroné, (20) pata trasera.



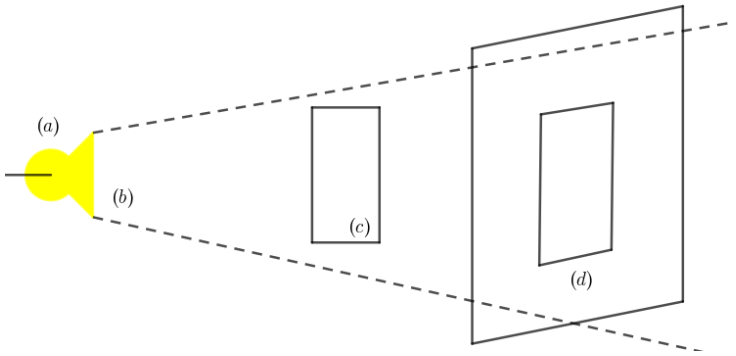
Nota. conceptos tomados de Carretero Et al., (2021). X- Ray annotation mause atlas (p.2)

La estructura para generar una radiografía, en nuestro caso digital en el tomógrafo es de la siguiente forma, primero se sitúa la fuente de emisión de rayos X de allí se parte una recta perpendicular, y se coloca el sensor o pantalla fluorescente y en la mitad se coloca el objeto como se observa en la figura 66.

Nota. El propósito de mostrar la radiografía mencionada anteriormente se hace con el propósito de divulgación y enseñanza de la interacción con los rayos X con la materia en una placa radiografía, mas no intérpretes de ella ya que se necesita las capacidades académicas para emitir un concepto o análisis de ella por lo cual no estoy capacitado por ello

Figura 66

Se observa la estructura convencional de cómo se genera una radiografía



Donde:

(a) Es la fuente de la radiación de rayos X.

(b) La emisión y trayectoria de los rayos X

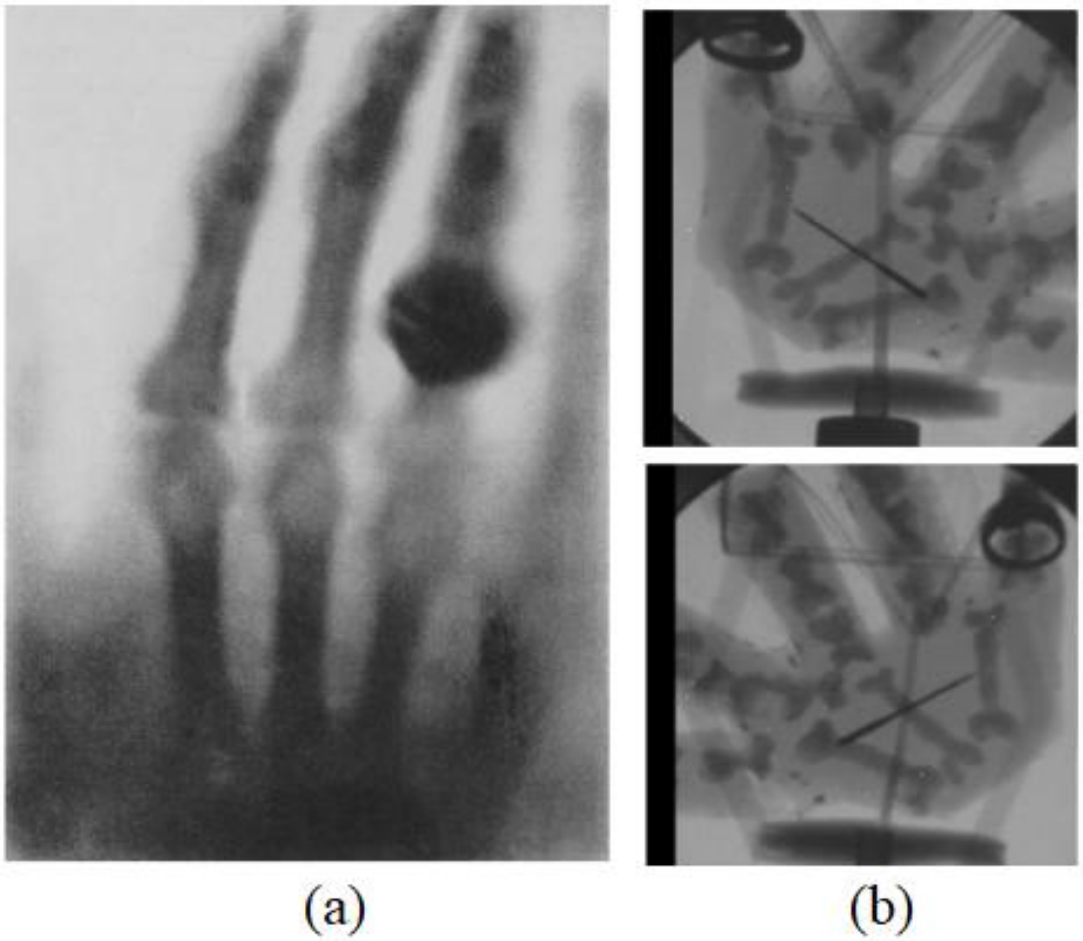
(c) Es el cuerpo por estudiar y que interacciona con la radiación

(d) Es la placa que genera imagen de sombras y nos da información del cuerpo o una pantalla fluorescente

En la utilización de la técnica de la radiografía está enfocado en la física medica que ayudo en una gran manera a realizar diagnósticos y estudios internos del cuerpo humano, ya que antes eran por medio de la cirugía, con la radiografía se podría ver o estudiar el caso de alguna fractura antes de un procedimiento quirúrgico, pero hay otras ciencias que la utilizan como en la figura 67.

Figura 67

Se observa la imagen en la parte (a) la mano de Anna Roentgen y (b) la mano didáctica para el uso del tomógrafo realizado en este proyecto actual



Nota. Garcia, B. (2005). Anna Bertha roentgen (1833-1919): la mujer detrás del hombre (p.180). Revista Chilena de Radiología.

TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

En este apartado veremos todos temas relacionados con la tomografía, desde la escala de cuantificación de unidad Hounsfield (UH), y como se produjo la tomografía computacional y su proceso en el tiempo, haciendo mejoras hasta la cuarta generación del sistema de tomografía computacional

ESCALA DE HOUNSFIELD

Es una unidad Hounsfield (UH) es una medida tomográfica que permite definir cuantitativamente la densidad radiológica de los materiales. Otorga valores particulares de acuerdo a coeficientes de atenuación de diferente orden en diversos tejidos y sustancias. La escala se fundamenta en la atenuación del agua (0 UH), el aire (-1000 UH) y el hueso denso (+1000 UH). Esta referencia permite diferenciar estructuras anatómicas y materiales con gran precisión, facilitando el diagnóstico médico y la planificación de tratamientos por lo que se busca destiguir cinco densidades prioritarias en la física médica como el aire, grasa, agua, calcio y metal.

$$UH = k\frac{\mu_t - \mu_{(h_2o)}}{\mu_{(h_20)}}$$

Donde

μ_t es el coeficiente de atenuación del tejido o cuerpo estudiado

$\mu_{(h_2o)}$ es el coeficiente de atenuación del agua a condiciones controladas

k es una constante de escala

Ya que, en la tomografía, una imagen diagnostica se representa en escalas de grises en la cual se le asocia una tonalidad del brillo o escala de grises

La función principal de la tomografía computacional es la construcción de objetos en 3D a partir de la adquisición de imágenes, por la producción de una fuente de rayos X entre el objeto y el detector. es una técnica de investigación muy predominante en la física médica, pero sus aplicaciones también están en otras ramas de la ciencia en la que también se utilizan ya que se puede estudiar su interior sin destruir el cuerpo, es un proceso no invasivo, pero en el ser humano

tiene consecuencias ya que una de las propiedades de los rayos X es que son radiaciones ionizantes. es decir, energía capaz de extraer electrones o partículas de moléculas por lo que se genera mutaciones en el *ADN* y quemaduras entre otras enfermedades que son un potencial peligro a la vida del individuo que se expone a ella.

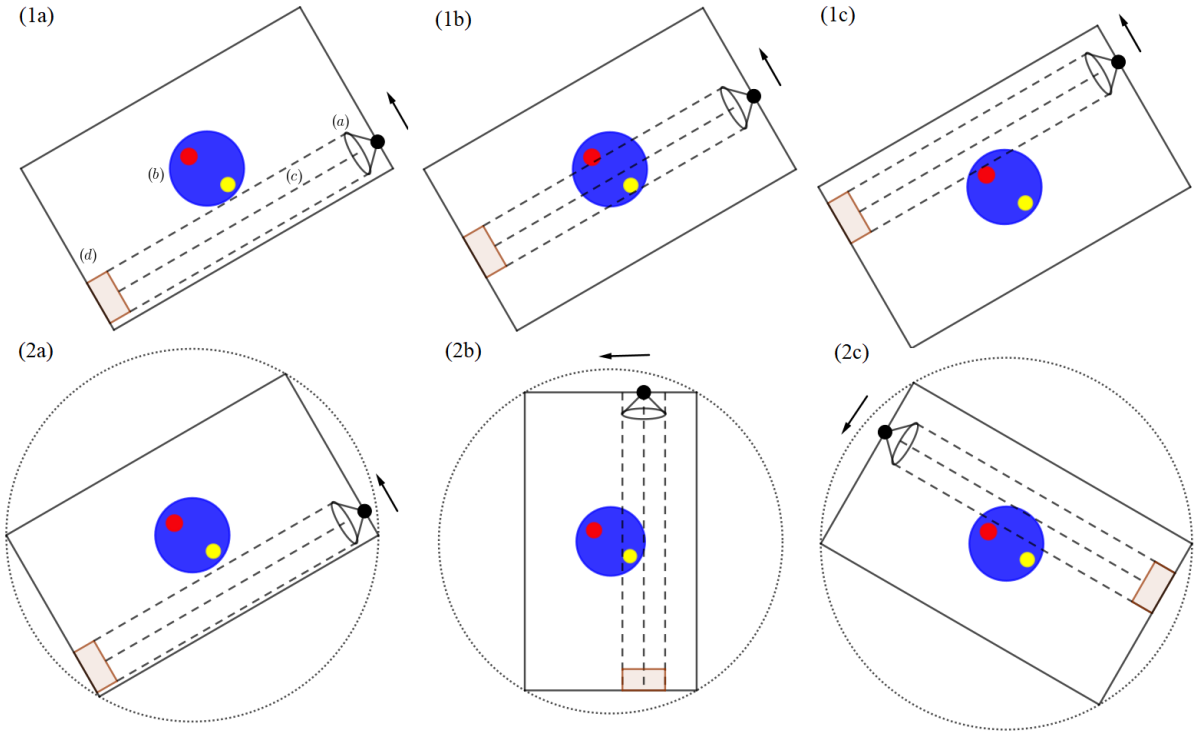
La primera construcción de un tomógrafo computarizado fue realizada por Godfrey Newbold Hounsfield (1919-2004), físico e ingeniero de EMI Ltd., en colaboración con Alan M. Cormack (1924-1998). El funcionamiento de este dispositivo se basa en la detección de la intensidad de la radiación emitida por el tubo de rayos X, la cual es capturada por una pantalla fluorescente o por detectores en función de la atenuación de la radiación. A partir de esta información, se genera una imagen basada en los cambios que ocurren en la rotación del objeto o del sistema fuente-detector durante las proyecciones. En el caso de la tomografía, esta información es detectada por la cámara.

PRIMERA GENERACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

La primera generación de tomógrafos computacionales está caracterizada por una forma de estructura y funcionamiento, su haz de rayos X, esta de forma de lápiz, que su geometría de emisión era muy delgada por eso su nombre, se traslada junto con el detector cubriendo el objeto, cuando terminaba rotaba una a 1° grado generando un perfil o una proyección del paciente u objeto, el sistema de EMI necesitaba 180 traslaciones para generar una imagen como se muestra en la figura 68.

Figura 68

Primera generación de tomógrafos sistema traslacion-rotacion, haz de lápiz " beam pencil" Donde la imagen (a1) tiene las siguientes partes (a) la fuente de rayos X, (b) el cuerpo a estudiar o el paciente, (c) la forma de trayectoria de la emisión de rayos X, y (d) es el detector que recibe la información de las atenuaciones del objeto al ser trasladado y 1b y 1c es el traslado de la adquisición de la información y (2a), (2b) y (2c) son las pequeñas rotaciones que se hace al rededor del cuerpo.

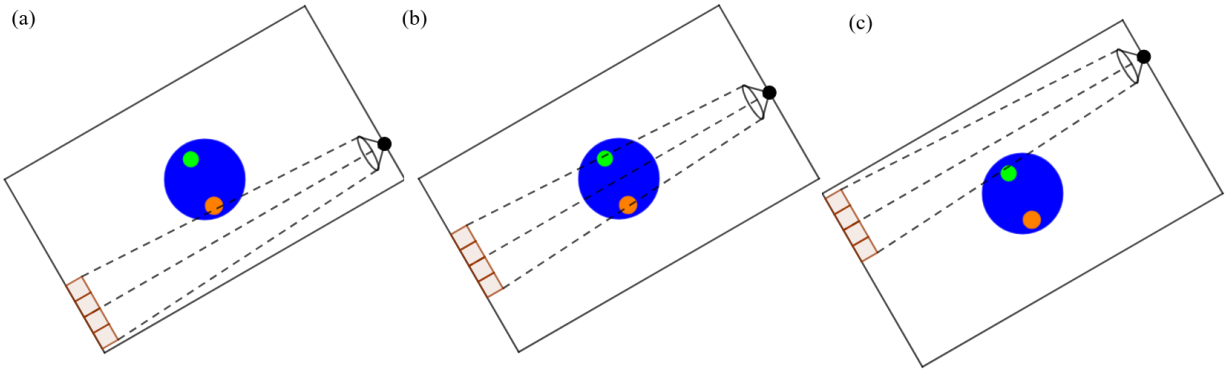


LA SEGUNDA GENERACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

La segunda generación consiste en la diferencia del haz tipo lápiz se cambia a tipo abanico y aumento de cinco a treinta detectores con un tiempo estimado de 30 seg para generar una imagen

Figura 69

Segunda generación del tomógrafo computacional con una diferencia de haz de lápiz a abanico y su detector ya que se cambió de uno a treinta detectores, en la parte (a), (b) y (b) se muestra la traslación que hace el haz de rayos X después de terminar se rota con un ángulo de 10° grados, al tener un haz de forma de abanico se obtiene errores en cuanto a los detectores por la forma del haz por lo que se crearon filtros para corregir este error.

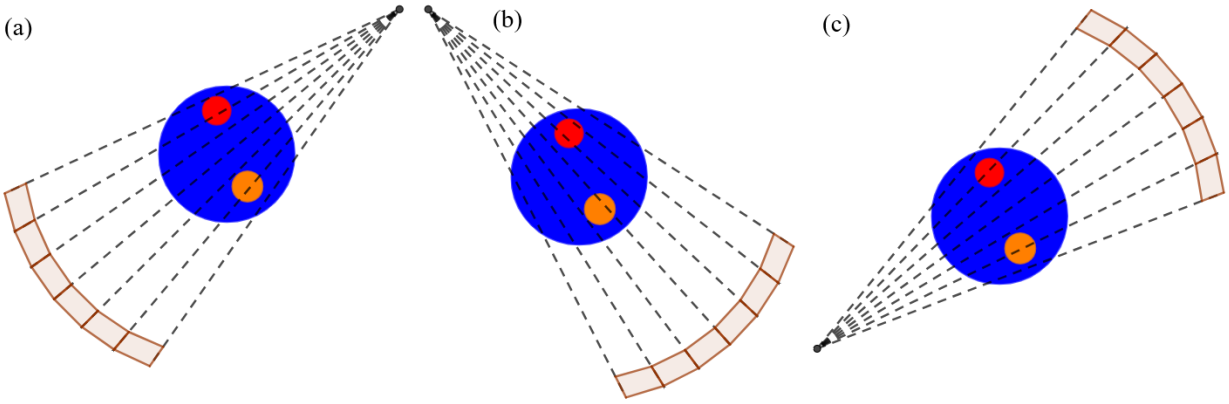


LA TERCERA GENERACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

Los tomógrafos computacionales de tercera generación tuvieron cambios significativos porque sus detectores están de forma curva cubriendo un segmento de circunferencia de un ángulo de 30° a 60° y rotan en conjunto fuente de emisión de rayos X y los detectores con un tiempo de generar una imagen en 100 ms.

Figura 70

Tercera generación de tomografía computacional rotación-haz de abanico, (a), (b) y (c) la rotación del sistema haz de rayos X y el detector

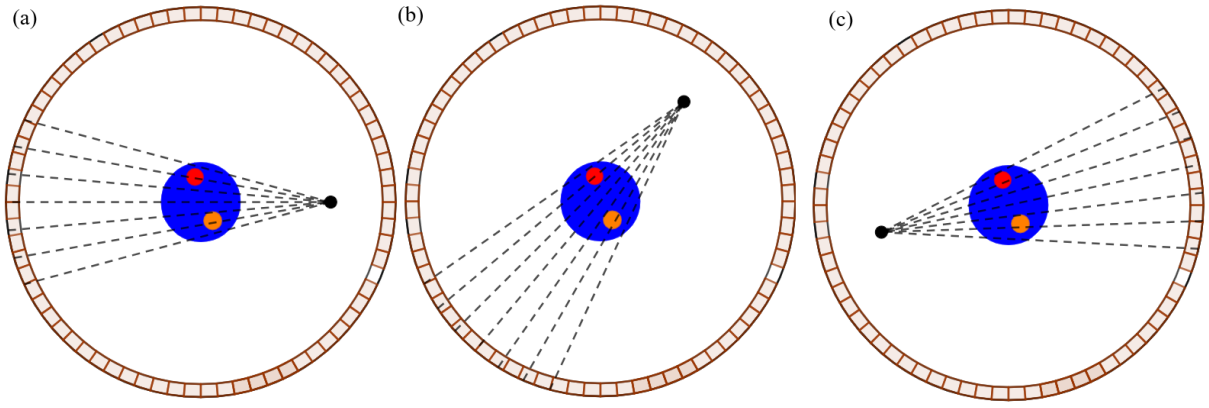


LA CUARTA GENERACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

La cuarta generación de la tomografía computacional consiste en un anillo de detectores estáticos y la fuente de emisión de rayos X rota alrededor del objeto o cuerpo, como se muestra en la figura 71.

Figura 71

Cuarta generación Sistema de rotación de haz tipo abanico con anillo o matriz de detectores circular estáticos (a), (b) y (c) secuencia de rotación del haz del rayo X, alrededor del objeto

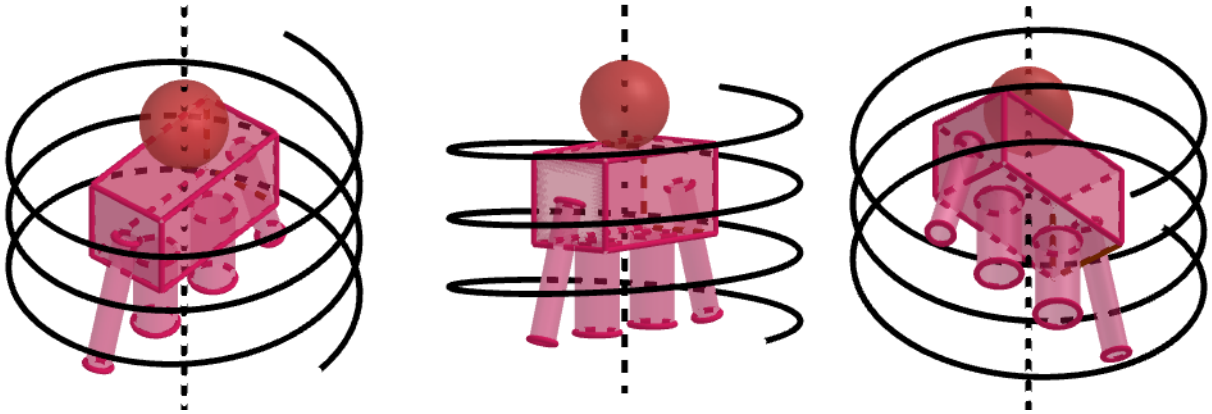


TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL HELICOIDAL MULTICORTE

El método mencionado consiste en la generación de tomografía computacional con la tecnología de la cuarta generación y la camilla que se traslada perpendicular al plano de la emisión de rotación de la fuente de rayos X.

Figura 72

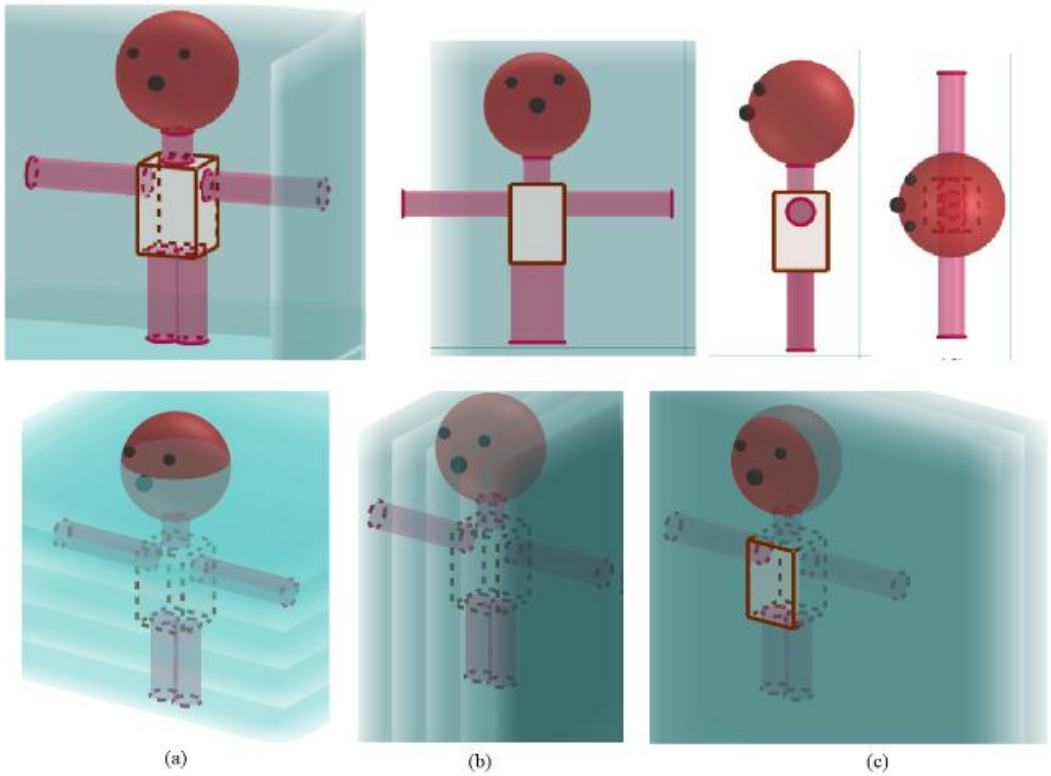
Haz de rotación espiral, objeto o paciente simulado en el muñeco de color rojo



El último método es que se utiliza en la actualidad por su rapidez y disminución de tiempo ya que recibiría menos radiación y perjudicaría su salud los cortes dentro del objeto se maneja por medio de los cortes como el axial, sagital y coronal en su procesamiento de imagen como se señala en la figura 73 (Bushong, 2017).

Figura 73

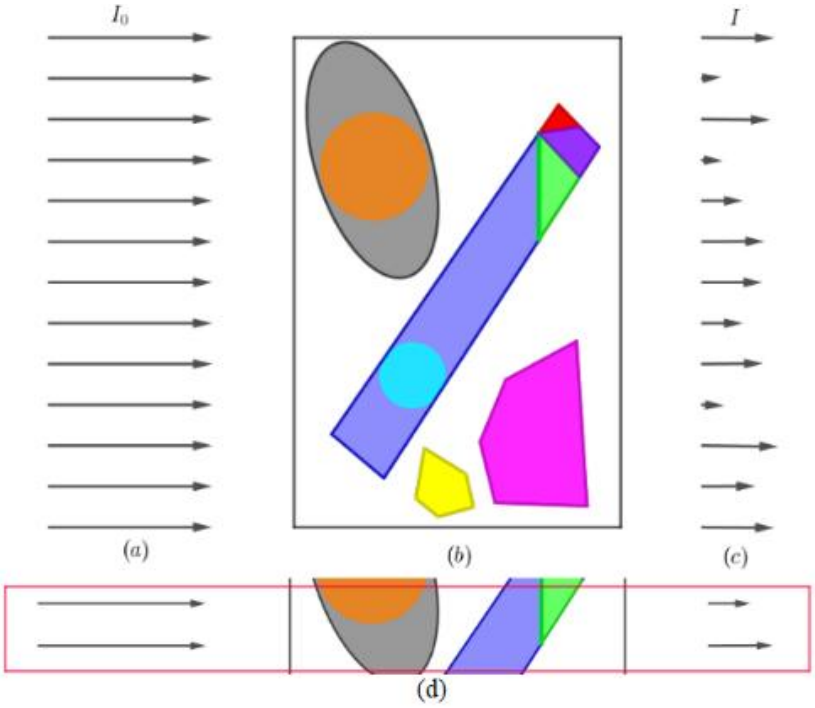
Se muestra un maniquí en la cual se muestran los cortes en tomografía computacional, en la parte superior solo hay diferentes perspectivas y la parte interior desde izquierda hacia derecha (a) se encuentra el corte Axial plano (xy), (b) el corte sagital y (c) corte coronal



Considerando que la atenuación de un haz de rayos X al atravesar la materia con diferentes materiales u objetos con su respectiva masa atómica, densidad y grosor, como observamos en la Figura 73. Lo que observamos es que al detector o cámara nos llega la sumatoria de todos los coeficientes de atenuación (μ_{Σ}) de la Ecuación de beer-lambert modificada para un objeto con diferentes coeficientes de atenuación en su interior como se muestra en la figura 74.

Figura 74

Interacción de rayos X con un cuerpo con diferentes objetos en su interior donde (a) es la fuente de emisión de los rayos X (b) cuerpo a estudiar con diferentes materiales u objetos en su interior y (c) es la interacción resultante de rayos X y (d) es el Zoom de objeto para ver con más detalle

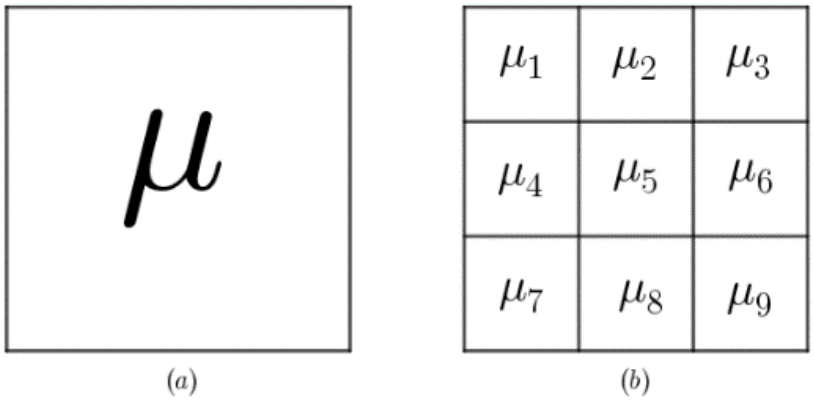


Teniendo en cuenta que los objetos no son uniformen en el coeficiente de atenuación, vamos a generar una serie de pasos para entender todo el proceso en la tomografía computacional, y vamos a hacer el estudio respectivo a dos cuerpos con dos cualidades diferente, uno como se observa en la Figura 75. En la parte *(a)* con el coeficiente de atenuación constante (μ) y *(b)* un objeto con diferentes coeficientes de atenuación como μ_1, μ_2, μ_3 ...

Figura 75

(a) un objeto con coeficiente de atenuación constante (b) objeto constituido por diferentes materiales con diferentes coeficientes de atenuación $\mu_n \neq \mu_m \therefore m, n \in \mathbb{N}$

recordemos que el coeficiente de atenuación del agua tiene un valor cero bajos ciertas condiciones.

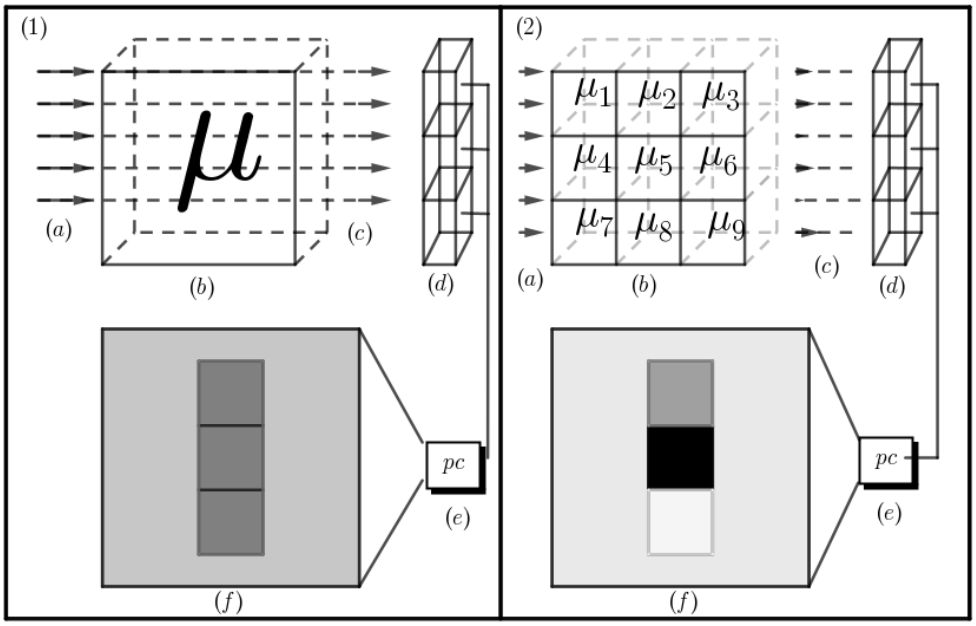


En la Figura 75. Observamos dos cuerpos en el cual la parte (a) su coeficiente de atenuación es constante y uniforme al ser penetrado por los rayos X, en la observación en la radiografía clásica o digital por medio de un detector o cámara, por lo t tanto, la información está relacionado con la imagen (estructura de información en dos dimensiones en la cual organiza la información en matrices) y el píxel (es la unidad fundamental de la imagen) en la cual lleva la información promedio del coeficiente de atenuación relacionado la escala de unidad de Hounsfield, en la escala de grises o brillo y vóxel (unidad fundamental de forma cubica con conocimiento en la atenuación importante en la tomografía computacional) generando la figura en 3D apartir de imágenes que se van uniendo, tenido en cuenta que sería de una sola tonalidad y por simetría teniendo cuenta un cuadrado y la fuente de emisión de los rayos X, veremos solo dos tonalidades en la escala de Hounsfield. Las dos tonalidades vendrían siendo la intensidad de los rayos X, inicial que no interactúan con ningún material a su trayectoria $I_0 = I_0$ y la intensidad que, si interactúa con el objeto al tener una simetría y un coeficiente de atenuación constante se tendría la visualización de dos tonalidades como se muestra en la figura (75 f)

Pero al observar la otra figura de la imagen (76b) lo que se observaría de cada cubo es la sumatoria el coeficiente de atenuación

Figura 76

Adquisición de información atreves de dos objetos (1) coeficiente de atenuación constante y (2) un objeto con diferente coeficiente de atenuación.



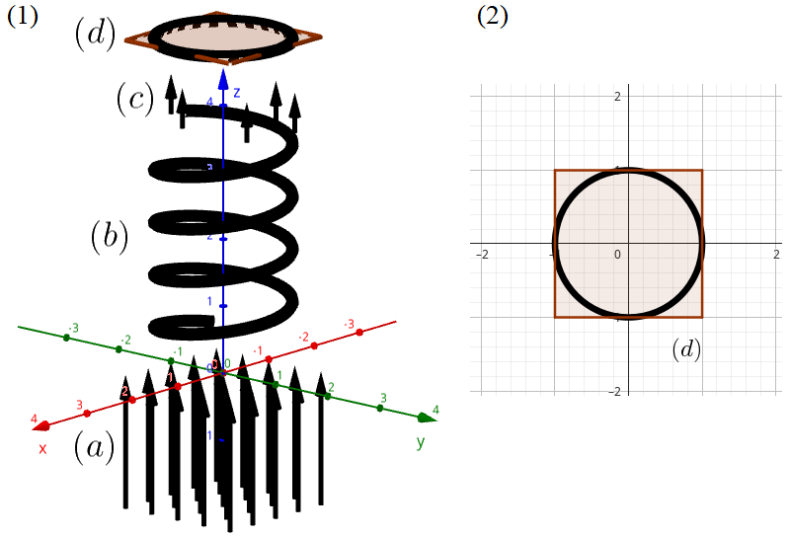
En la parte (2) de la figura76. tenemos un cuadrado seccionado con diferentes materiales con diferente coeficiente de atenuación, por lo tanto, vamos a describir cada secuencia del proceso de adquisición de datos. En la parte (a) la emisión de los rayos X, (b) es un objeto de estudio en la cual tienen diferentes coeficientes de atenuación, (c) es la intensidad de los rayos X iniciales (I_0) después de penetrar e interactúa en línea recta cada uno de los materiales, (d) es el detector o cámara que adquiere la información, (c) está el computador que recibe los datos del detector y (f) genera una imagen producto de la interacción radiación materia de los rayos X.

Abordando un poco más la configuración de la imagen (2). Los datos o información que el detector recibe después de la interacción de los rayos X con el material es la suma de cada coeficiente de atenuación como lo observamos en la ecuación (21).

Un ejemplo es si le enviamos la información a otra persona, solo los datos en la imagen como se observa en la figura (77b) tendrá información y su conclusión será que el objeto es circular tipo anillo, pero desde la perspectiva de la figura 77a, podemos detallar que el objeto tiene forma espiral de radio constante.

Figura 77

Radiografía, herramienta de diagnóstico que tiene deficiencia en cuanto a la información completa del objeto

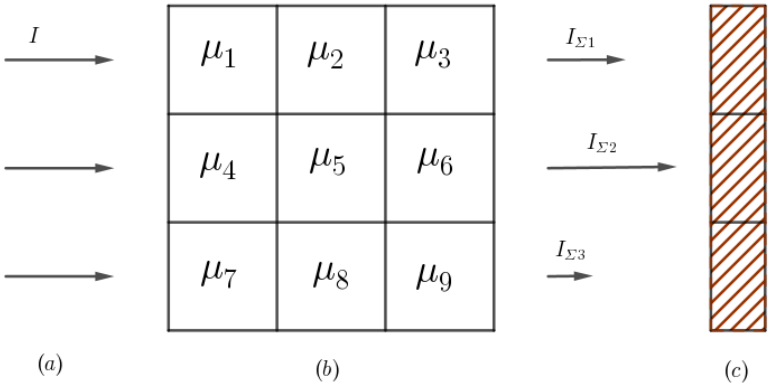


La otra persona para que mire la imagen (d) el ser humano va a concluir que es un objeto tiene una forma de anillo, porque le falta información, y esto está relacionado por lo que pasa en

la en la figura 76 a. Por lo que la intensidad de los rayos X se “desplazan” atravesando la materia en línea recta, por lo que al estudiar la intensidad después de la interacción, la información es recolectada por el detector (c) y pasa desapercibida información del objeto.

Figura 78

Interacción radiación materia antes y después y un detector de un objeto con coeficiente de atenuación variable



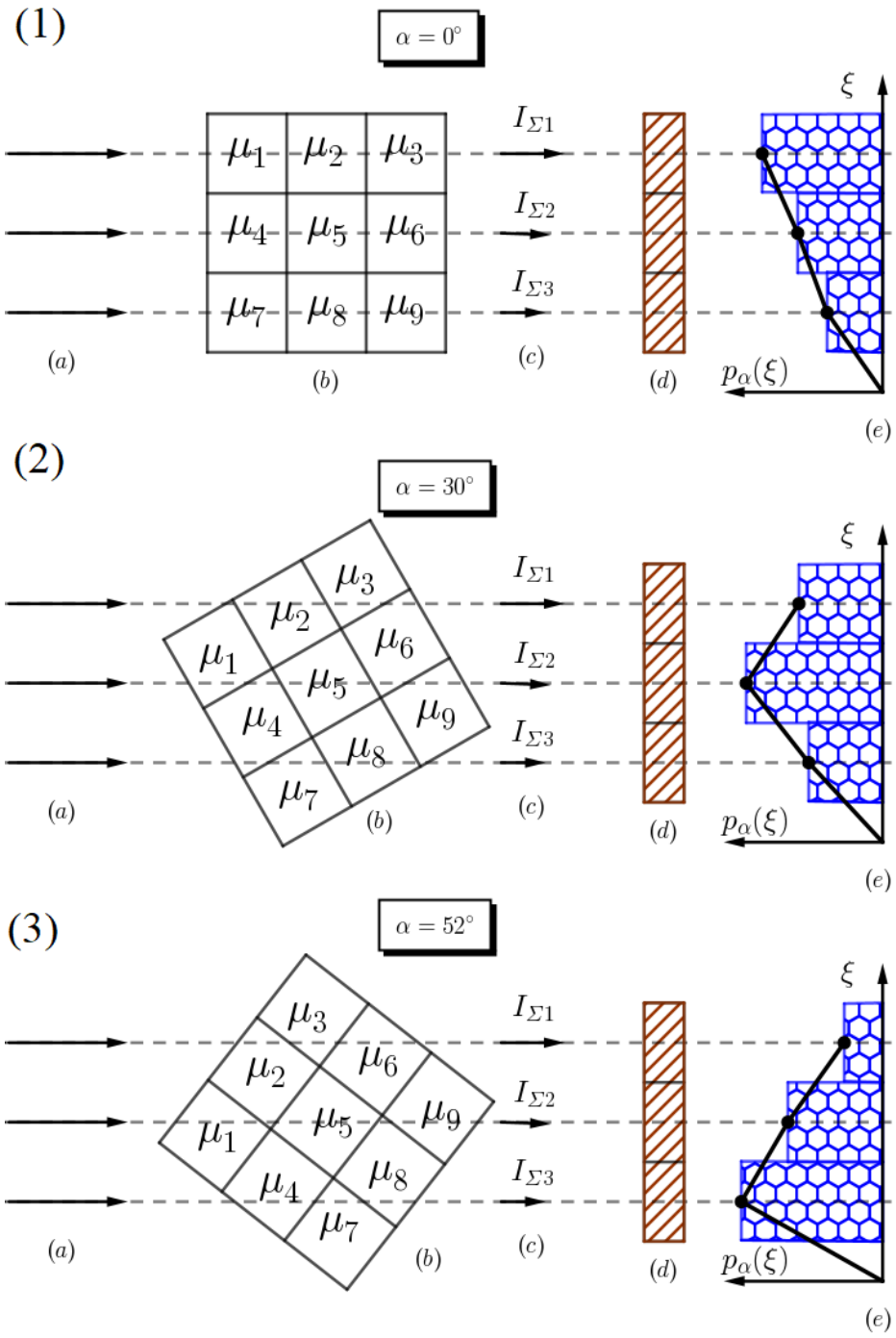
Por lo que conocemos es la suma de las constantes o promedios de las constantes en la ecuación 18 por lo que en la figura 78. El científico que le enviamos la imagen da su conclusión es que el objeto es tiene una forma anular, pero al observa la parte (76 b) de la figura antes mencionada nos damos cuenta de que tiene una de hélice cilíndrica (76 a), espiral por lo que no abordaremos la utilidad de la tomografía computacional.

Por lo que la tomografía realiza rotaciones del cuerpo mencionados en las generaciones de las maquina TC

Figura 79

Mecanismo de adquisiciones de proyecciones en rotación del objeto y el almacenamiento de información, descripción de la figura la parte (a) es la fuente de rayos X, (b) el objeto con

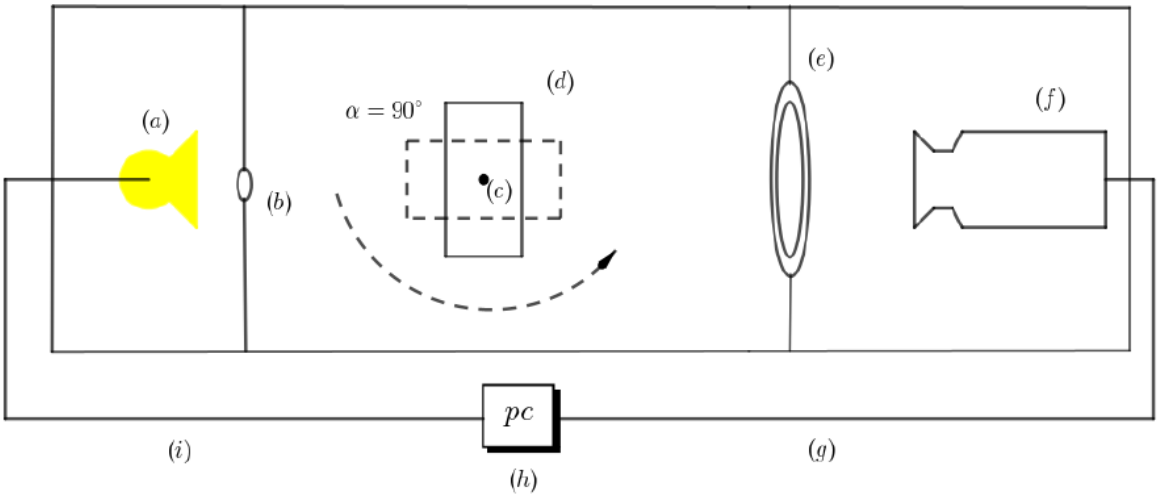
diferentes coeficientes de atenuación, (d) es el detector que recibe la atenuaciones de las radiaciones después de interactuar con el objeto, (e) es la información de las proyecciones a partir de un artefacto matemático incluido en la competición que guarda la intensidad y distancia paralela al detector que almacena la información y (1) y (2) es la secuencia de rotación de 0°, 30° y 52° grados.



El tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDA del laboratorio de física tiene las siguientes propiedades en cómo se observa en la Figura 80. Para más profundización está la sección del manual en la cual se aborda con más detalle.

Figura 80

Estructura del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad Distrital francisco José de caldas Donde la estructura y componentes se define como: (a) la fuente o emisión de rayos X, (b) es la abertura para controlar la dispersión de los rayos X con colimadores y filtros etc. (c) es el punto en la cual el cuerpo de estudio tiene una rotación sobre ese eje perpendicular al plano,(d) en la figura se muestra que el mismo cuerpo hizo una rotación de 90 el cuerpo que se estudia es para implementar la tomografía computacional y estudiar su estructura interna y propiedades,(e) Es una pantalla fluorescente en la cual al interactuar con los rayos X ya atenuados genera el fenómeno físico de la fluorescencia (es cuando un material interacciona con el fotón y después emite radiación a diferente frecuencia) por lo que se emite en el espectro visible, (f) es una cámara en la cual graba y genera las imágenes y videos que posteriormente el software lo procesa y lo convierte en radiografía y tomografías computacionales,(g) es un cable conectado de la cámara al pc computador en la cual recibe todos los datos para su respectivo proceso, (i) es otro cable en la cual controla el panel de control desde el pc y (h) el computador (pc)

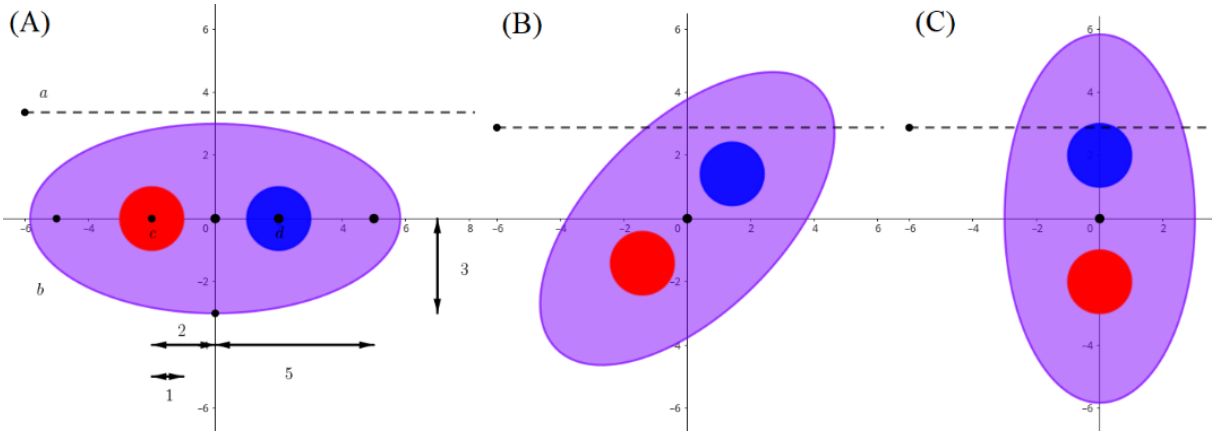


2.6.1. RECOSTRUCCION DE IMAGEN

En el acercamiento a la reconstrucción de imagen, primero vamos a plantear la interacción de los rayos X con un cuerpo geométrico por lo que se utilizará un elipsoide con dos circunferencias en su interior, que rota sobre un sistema de coordenada en su centro geométrico, con su coeficiente de atenuación ya definido y los rayos X atravesando horizontalmente como lo muestra la figura 81. Donde (A) están las distancias respectivas como el foco de 5, el eje menor con 3, las distancias de las circunferencias sobre el eje mayor desde el centro geométrico o del origen en el sistema de coordenadas de 2 y de radio 1, no se tiene una escala por la simplicidad, los tres objetos la elipse (morado) y las dos circunferencias (roja) y (azul) se le agregaron dichos colores para diferenciarlo y con coeficiente de atenuación en la tabla 1, la parte *(B)* y *(C)* el objeto en conjunto que rota sobre su centro geométrico 45° y 90°. La recta horizontal punteada (a) es la trayectoria de la intensidad de los rayos X que atraviesa al objeto y se traslada verticalmente sobre el eje y.

Figura 81

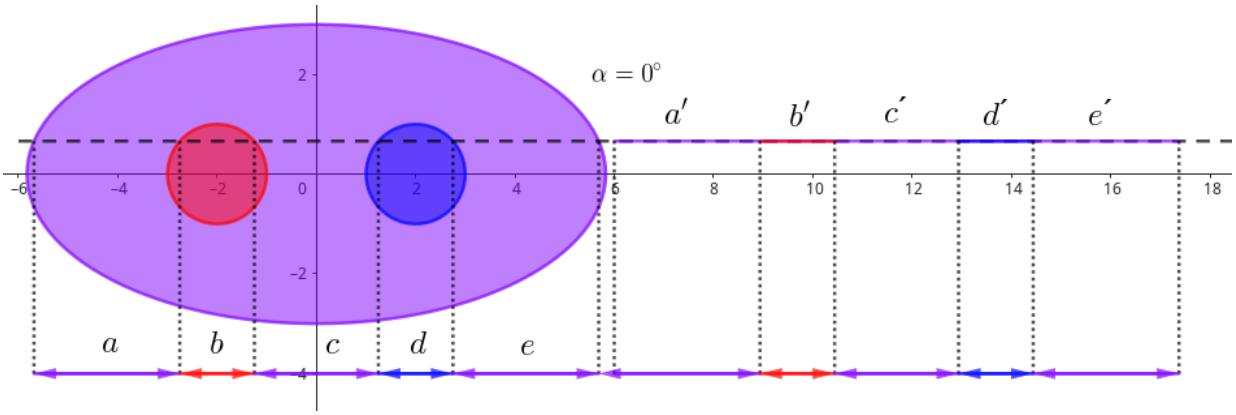
(A) estructura del objeto a estudiar una elipse (b) y dos circunferencias (c) y (d) en su interior con sus respectivas dimensiones, la parte (A) y (B) el objeto rotando a 45°



Al tener en cuenta que al atravesar los rayos X en el cuerpo tenemos en cuenta solo las distancias que cubre la trayectoria sobres los diferentes objetos en la elipses y las dos circunferencias y la trasladamos al dado haciendo un barrido tenemos este mapeo de las respectivas distancias de cada objeto con un determinado ángulo de rotación como lo podemos apreciar la Figura 82. Donde las distancias son equivalentes a=a', b=b´... e=e'

Figura 82

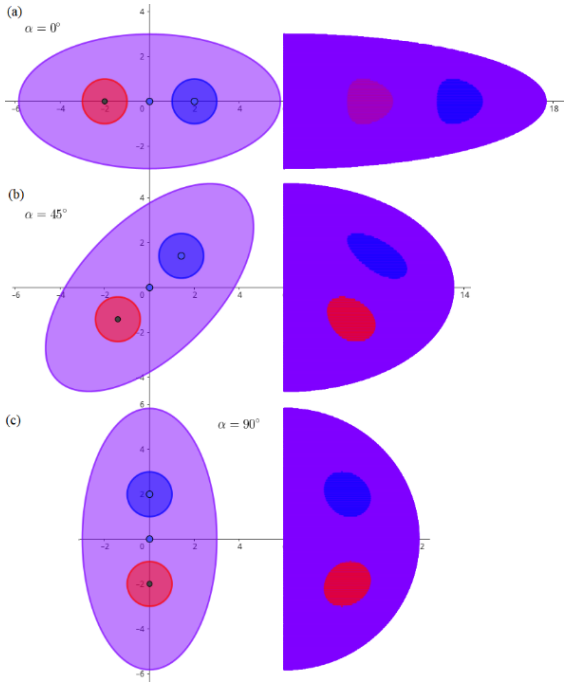
Traslado de las respectivas distancias que atraviesa los rayos X en los diferentes cuerpos en el interior del objeto de estudio



Al hacer un barrido de manera vertical o paralelo en la dirección y sentido de los rayos X podemos generar un mapeo de cada uno de los segmentos de los objetos en su interior teniendo estas interesantes figuras del cuerpo en rotación de 0°, 45° y 90° como se muestra en la figura 83.

Figura 83

Parte izquierda el objeto rotado en (a) a 0°, (b) a 45°, y (c) 90° y la parte derecha el mapeo de las distancias verticales del objeto y sus componentes en sus respectivos ángulos desde una recta paralela vertical



Teniendo en cuenta la ecuación de beer –Lambert por lo que nos la información de la atenuación de la intensidad de los rayos X al interactuar con un objeto que tiene diferentes materiales por lo que también tiene diferentes coeficientes de atenuación y con las distancias establecidas podemos encontrar la disminución total de la intensidad de los rayos X.

las medidas del objeto en estudio son mencionadas en la figura 81(a). Mientras los coeficientes de atenuación de los tres objetos lo podemos ver en la tabla 1.

Tabla 1

De los diferentes parámetros de objeto en la tomografía computacional como la intensidad inicial y los coeficientes de atenuación de la elipse y las dos circunferencias como μ_2 rojo

Información del Objeto
I_0 =30
μ_1 =0.3
μ_2 =0.7
μ_3 =0.5

Al tener en cuenta la ecuación de Ley de Beer-Lambert nos da la información de la atenuación de los rayos X en un cuerpo y al tener diferentes atenuaciones como la ecuación 25.

Ecuación 20

Ecuación de Beer- Lambert con integral de línea en función del coeficiente de atenuación y la distancia de penetración

$$I(l) = I_0 e^{\int_0^l -\mu(x)dx}$$

Donde

$I(l)$ es la intensidad que logra atravesar los rayos X, el objeto

$I(0)$ es la intensidad inicial que sale de la fuente de los rayos X

$-\int_0^l \mu(x)dx$ es la integral con limites desde cero y l la longitud que atraviesa los rayos X y $\mu(x)$ es la suma de todos los coeficientes de atenuación de los materiales que atraviesa los rayos X que son igual a $\mu(x) = \mu_1(x) + \mu_2(x) + \cdots \ldots + \mu_{n-1}(x) + \mu_n(x)$

al pasar a un lado al otro de la ecuación, la intensidad inicial la ecuación (20) es de la es de la forma (21).

Ecuación 21

Ecuación de beer-Lambert modificada parte 1

$$\frac{I(l)}{I_0} = e^{\int_0^l -\mu(x)dx}$$

Al aplicar una operación de logaritmo natural a ambos lados la ecuación es de la forma

Ecuación 22

Ecuación de beer-Lambert modificada parte 2

$$\ln\left(\frac{I(l)}{I_0}\right) = \ln\left(e^{\int_0^l -\mu(x)dx}\right)$$

vemos que como son operaciones que son contrarias en este caso con el logaritmo natural y función exponencial se puede observar la ecuación (23)

Ecuación 23

Ecuación de beer-Lambert modificada parte 3

$$\ln\left(\frac{I(l)}{I_0}\right) = \int_0^l -\mu(x)dx$$

Después pasamos el menos al otro termino y la ecuación de la forma y lo llamamos como p a veces este termino $p_\alpha\xi$ se pasa en signo negativo al otro lado y nos genera la ecuación 24.

Ecuación 24

Ecuación de beer-Lambert modificada integral parte 4

$$-\ln\left(\frac{I(l)}{I_0}\right) = \int_0^l \mu(x)dx = p$$

Donde la integral de la ecuación (24) se conoces como *trasformada de radón*

Ecuación 25

Ecuación de trasformada de radón parte 5

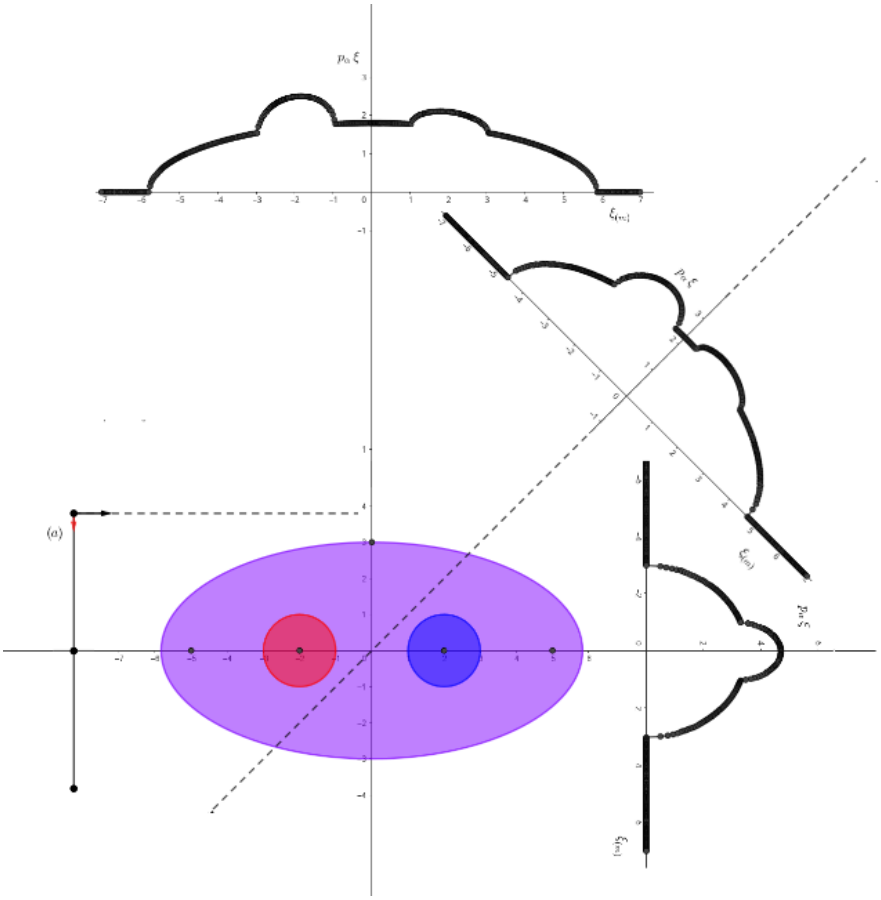
$$p = -\ln\left(\frac{I(l)}{I_0}\right)$$

Pero dicha integral no se puede conocer a priori sin antes conocer la estructura interna del objeto y su distancia y sus coeficientes respectivos por lo que se utiliza la ecuación (25), en la cual, si tenemos información como la intensidad de rayos X iniciales y los rayos X atenuados al atravesar los rayos X en el objeto, dentro de la función de logaritmos natural bajo el signo negativo

Al generar la simulación del objeto y crear p a diferentes rotaciones podemos observar en la figura 84.

Figura 84

Simulación de p_α ξ a de las proyecciones a diferentes ángulos α: 0°, 45° y 90°.

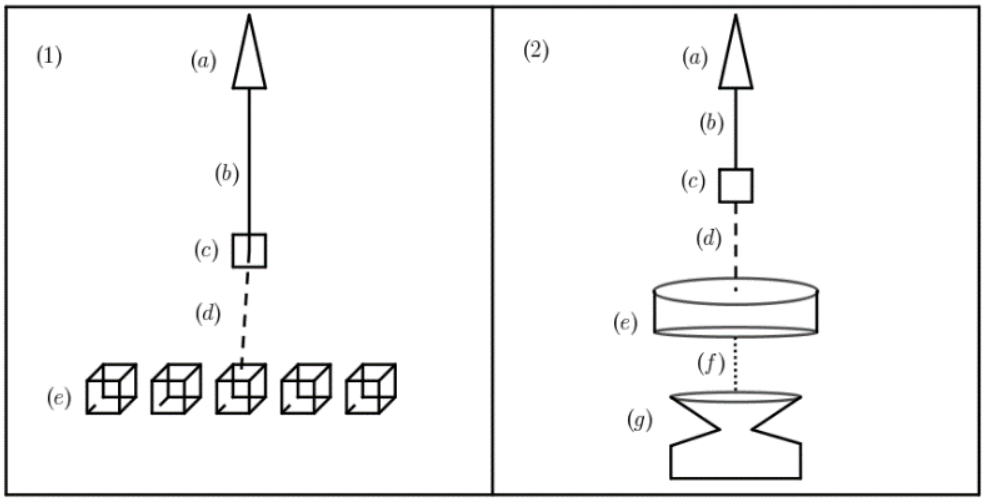


Sin abordar mucho en el tema el procesamiento de imágenes en la tomografía computacional se tienen diferentes procedimientos que conducen al mismo resultado a partir de la ecuación 25 como métodos algebraicos, por retroproyección filtrada entre otro y hay una gran cantidad de métodos, por lo tanto, En cuanto a la adquisición de datos de encuentra dos más importantes como se muestra en la figura 85. la parte izquierda *(1)* está el convencional donde muchos tomógrafos con un enfoque medico tiene estas características, en la parte de *(a)* está la fuente de rayos X en la parte *(b)* los rayos X *(c)* está el objeto de estudio, *(d)* los rayos X atenuados y *(e)* están los detectores donde hay varias formas de detección de rayos X como los centellador y semiconductores

En la parte derecha esta la estructura de nuestro tomógrafo de la *Universidad Distrital Francisco José de Caldas en el laboratorio de física,* que las partes del lado izquierdo son iguales como *(a), (b), (c), (d).* La parte (e) es un objeto circular que su funcionalidad es una pantalla fluorescente en la cual (el efecto fluorescente es cuando el objeto absorbe radiación de una determinada frecuencia y la emite a otra frecuencia o nivel de energía diferente en la cual disminuye su energía de los fotones en la parte (f) que los hace visibles, pero de una escala de grises como se observa en la figura 85, y los puede captar en la cámara (g)

Figura 85

Dos configuraciones de adquisición de datos Parte izquierda por centelladores, parte derecha adquisición de datos por cámara de video a través de una pantalla fluorescente.

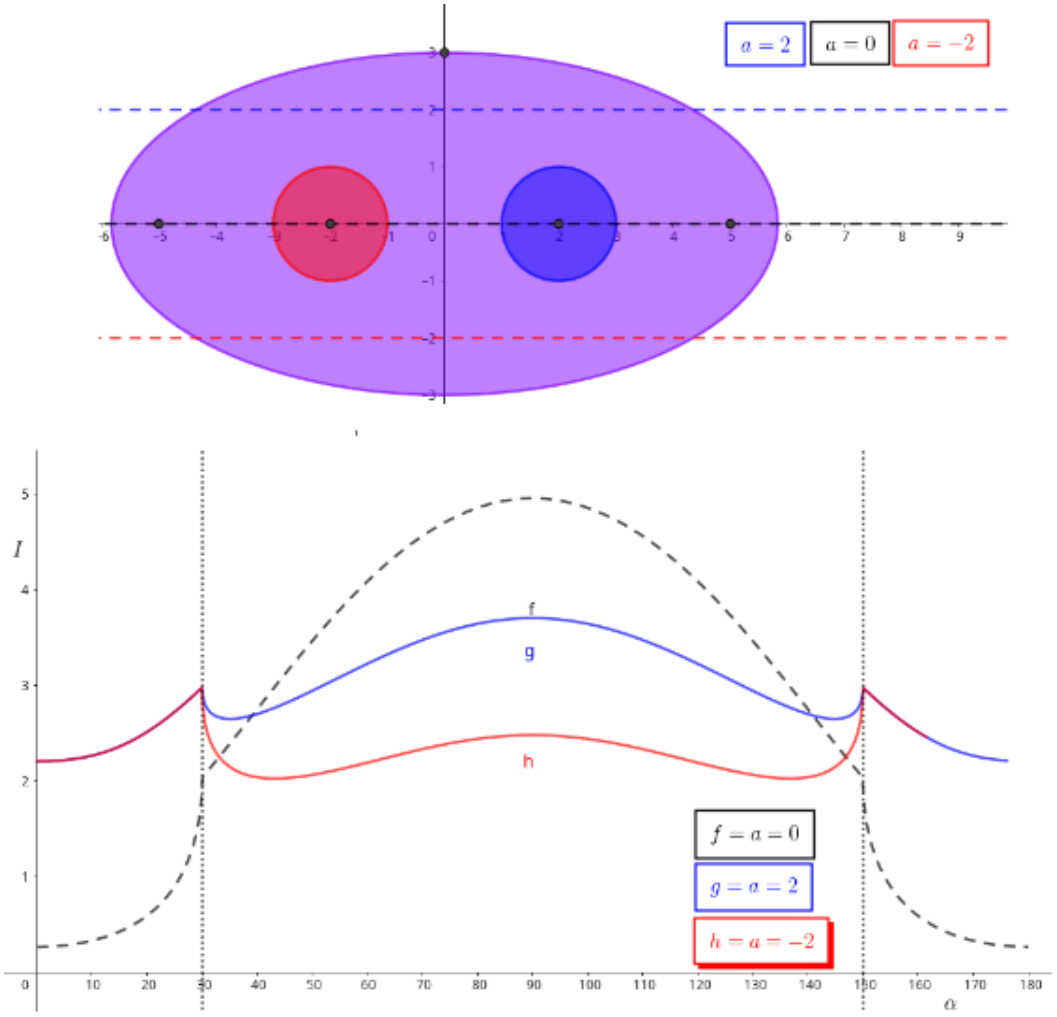


Al tener toda simulaciones de $p_\alpha \xi$ para cada Angulo de rotación podemos graficar por ejemplo la intensidad del rayos X en la distancia *a=2,0,-2* y se hace rotación de 180° sobre su centro geométrico obteniendo la siguiente figura (86).

Figura 86

En la parte superior está el objeto en estudio y las trayectorias de los rayos X en a y en la parte

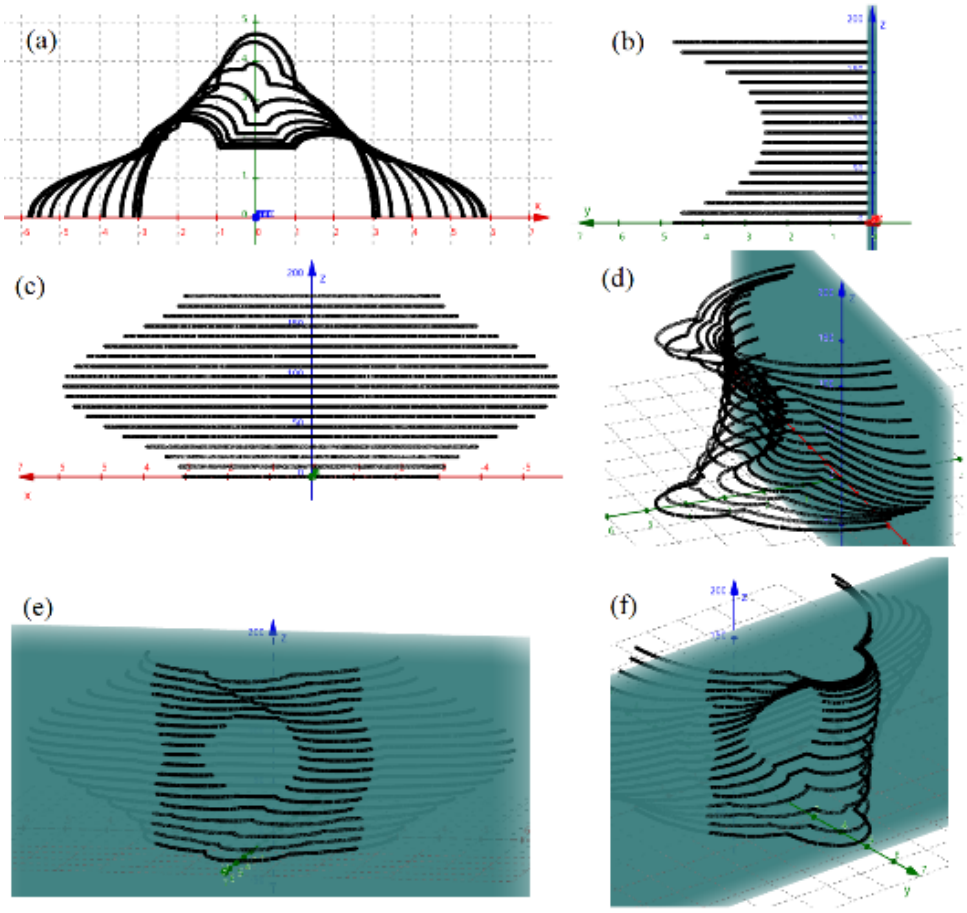
inferior la simulación de la intensidad de los rayos X atenuados en función del ángulo de rotación de 180°



Al tener las variables y organizarla en un sistema de coordenadas 3D donde en el eje z esta la información de los ángulos de rotación en el eje x la distancia tomada desde el rango $a = \xi$ paralelo al eje y de la figura 87. Parte superior y en el eje y $p_{\alpha}\xi$

Figura 87

En dos dimensiones en el eje y los datos de los ángulos y el eje x p_α ξ o las proyecciones, se conoce como sinograma porque al tener una rotación se genera una figura de forma senoidal, esto depende de la forma y estructura del objeto.

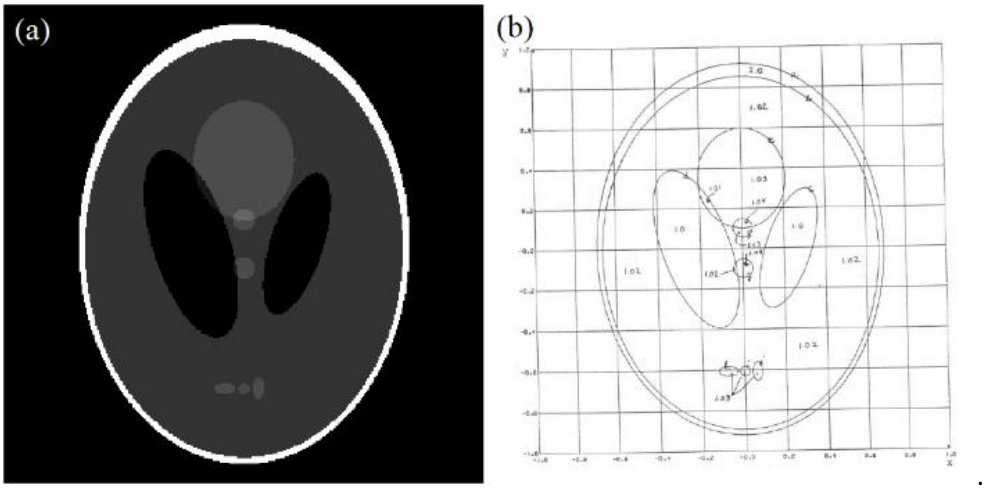


Temiendo un proceso de aprendizaje y desarrollo en la investigación del estudio presente vemos que no es suficiente ilustrativo e interpretativo al lector todo el proceso que se realizó en la simulación de la tomografía computarizada en el objeto de estudio de la figura 86. Por lo que nos basaremos de un phantom ya establecido y muy estudiado en la física médica y la tomografía computacional por lo que no planteamos agregar todo el proceso mencionado con anterioridad a este nuevo phantom

El phantom que se utilizo fue la cabeza de L. A. Shepp and B. F. Logan en su articulo "*The fourier reconstruction of a head section*," en la revista IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. NS-21, pp. 21-43, 1974 y la simulación se realizó por medio del software *Matlab* como se muestra en la figura (88).

Figura 88

En la parte izquierda está el famton en Matlab y la parte derecha la imagen original de Shepp and Logan con su respectivo coeficiente de atenuación Shepp, L., & Logan, B. (1974)

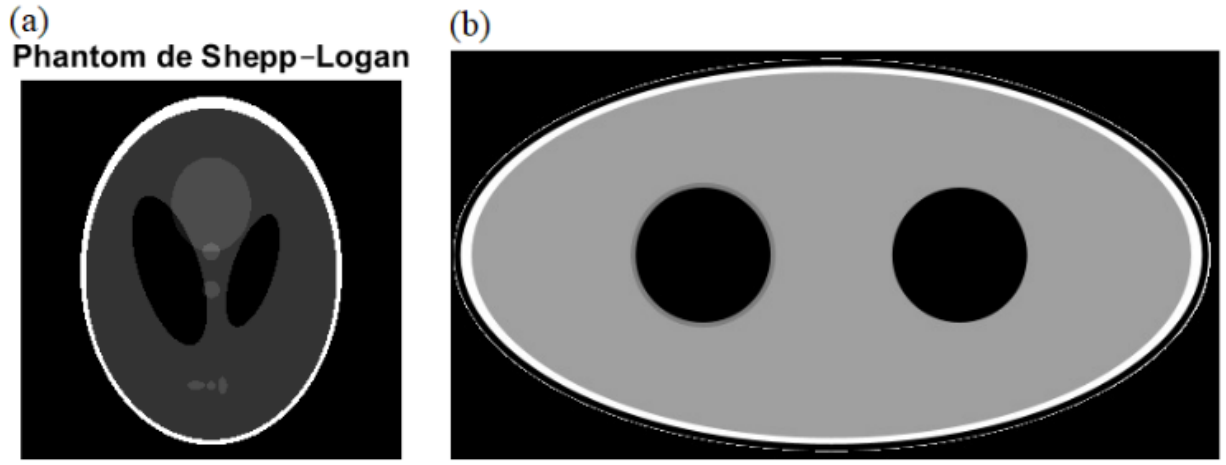


Nota. Logan et al., R. (1974). the fourier reconstruction of a head section (p.34). Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

Tomando en cuenta la reconstrucción de imagenes en la tomografía computacional los dos ejemplos que se utilizaron fueron la el phantom de Shepp-Logan y el Phamtom que diseñamos para la simulación como se muestra en la Figura (89).

Figura 89

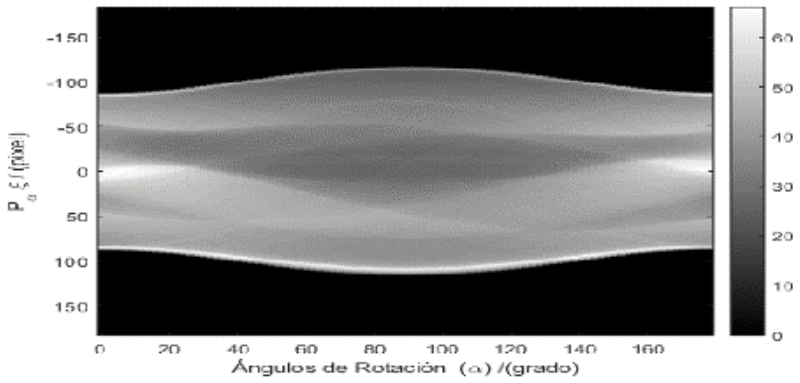
Parte (a) se encuentra el phantom de Shepp-Logan y (b) Phantom que se diseño para la simulación, se cambiaron los colores y los objetos del interior fueron iguales entre sí por simplificación en la programación

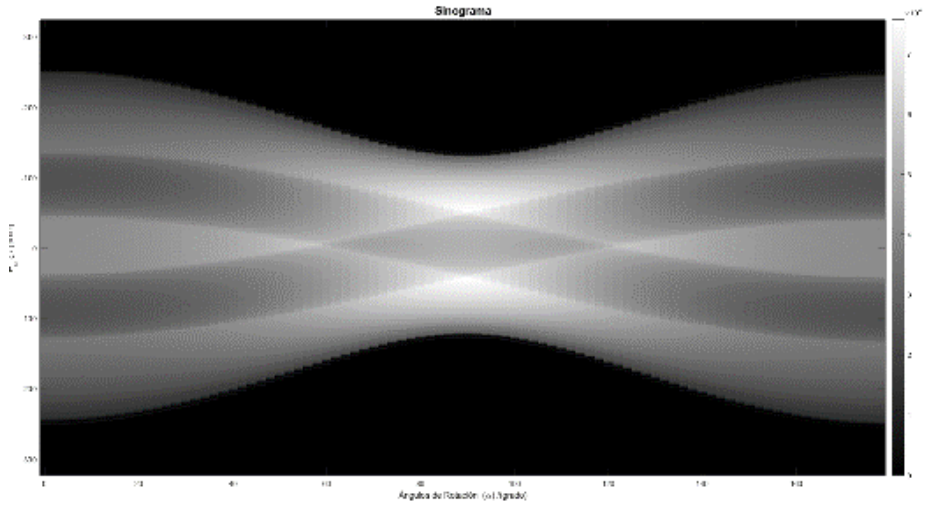


En la formación de reconstrucción de imágenes en la tomografía vemos que tenemos unas series de proyecciones del objeto en diferentes ángulos al almacenar dichas proyecciones y compilarlas en función del ángulo son conocidas como graficas *sinogramas* donde se parametriza por tonalidad de la intensidad en este caso del color, pero en la tomografía computacional seria relacionado con el coeficiente de atenuación (μ) como se muestra en la Figura 90.

Figura 90

Reconstrucción de imagen, parte superior del phantom de la cabeza y la parte inferior la figura propuesta de arriba, hacia abajo las dos primeras grafica del sinograma de las dos imágenes de la figura 88 y las dos últimas las reconstrucciones de imagen.


-150
-100
-50
0
50
100
150
0
20
40
60
80
100
120
140
160
Ángulos de Rotación (α) /(grado)
60
50
40
30
20
10
0


Sinograma

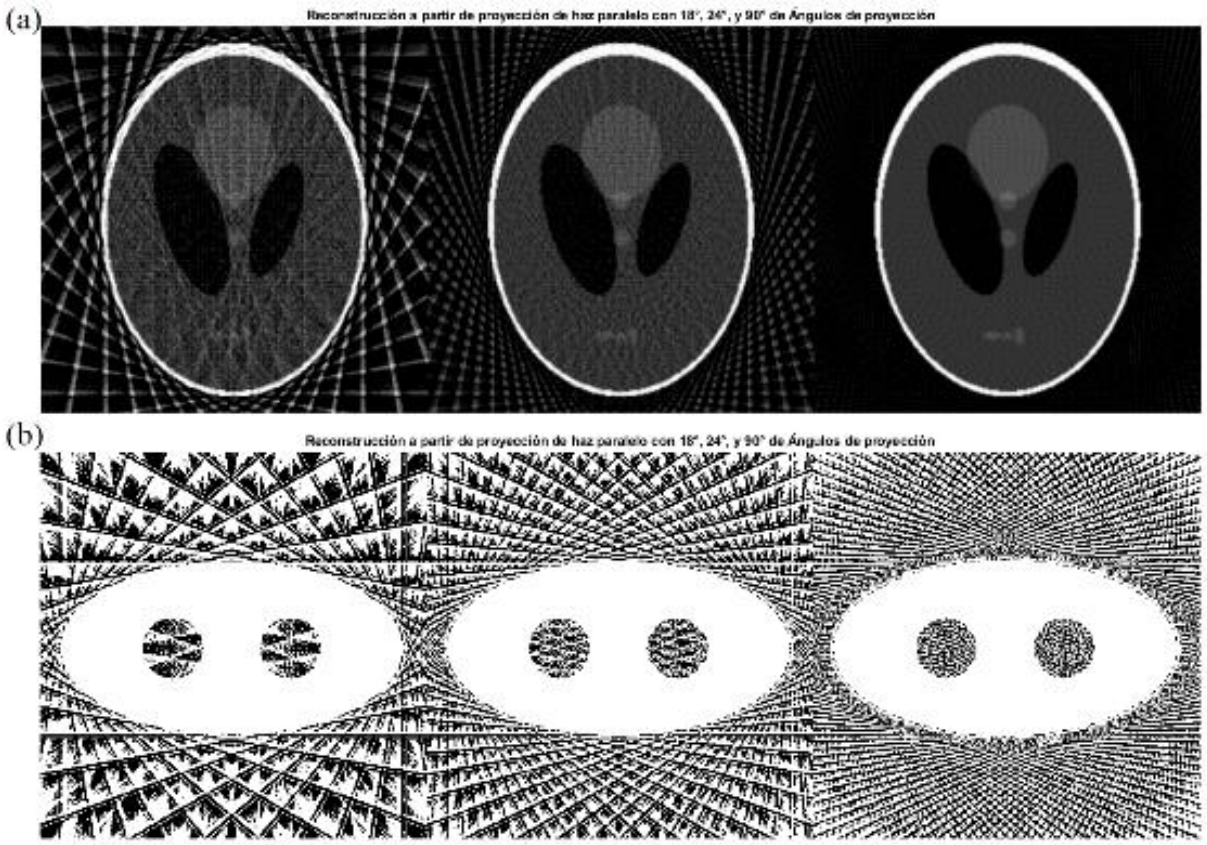


Figura 91

Sinograma información de las proyecciones desde 0° a 360°

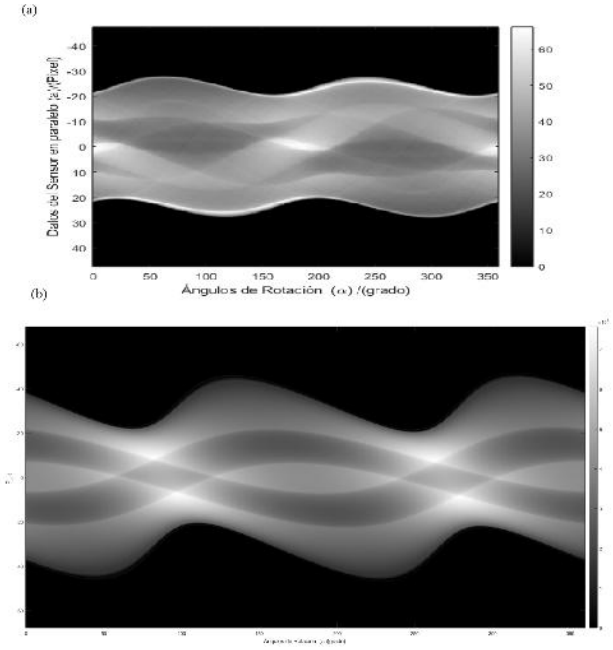
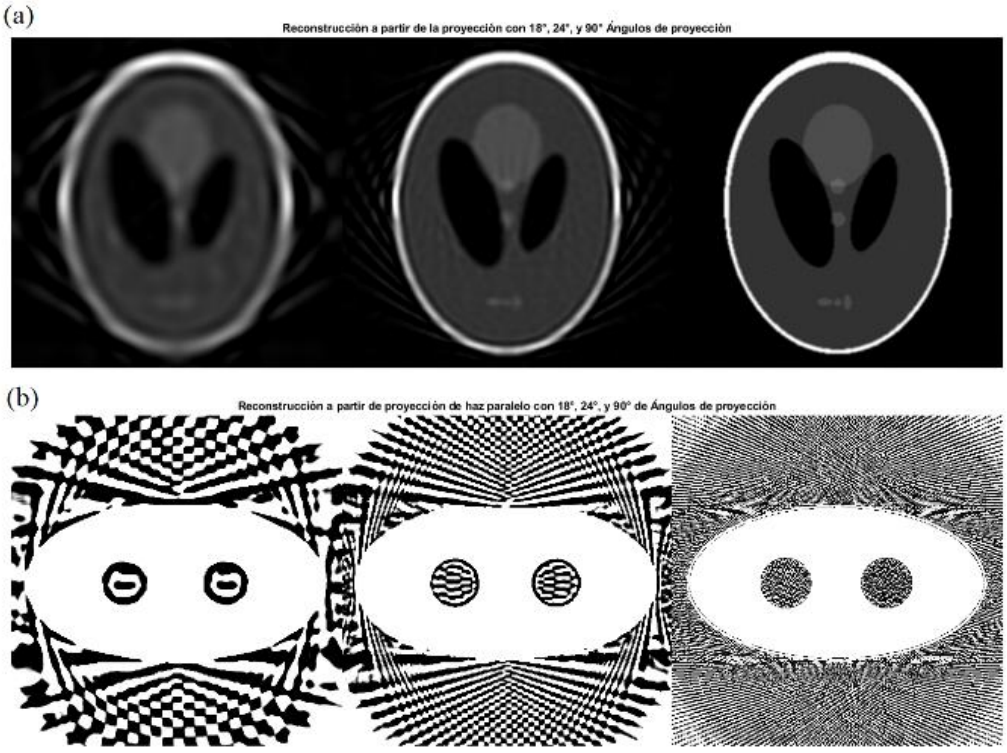


Figura 92

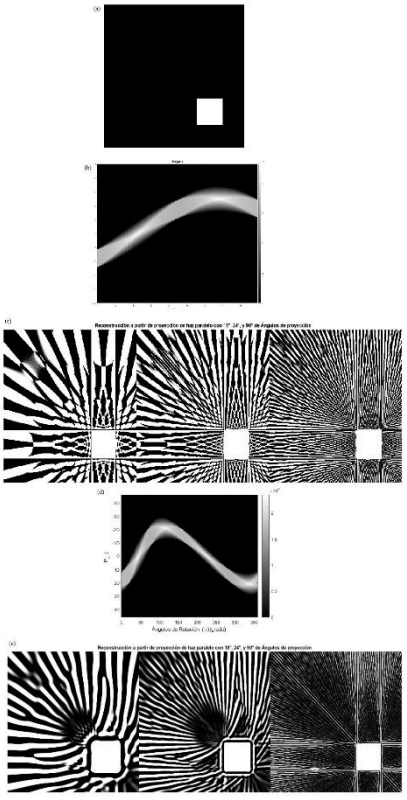
Reconstrucción de imagen a partir del sinograma de la figura 89.



Otro ejemplo de un cubo haciendo todo el proceso desde el sinograma, hasta construcción de imagen

Figura 93

Proceso completo de construcción de imagen y mecanismo inverso de la reconstrucción de la figura de un cubo



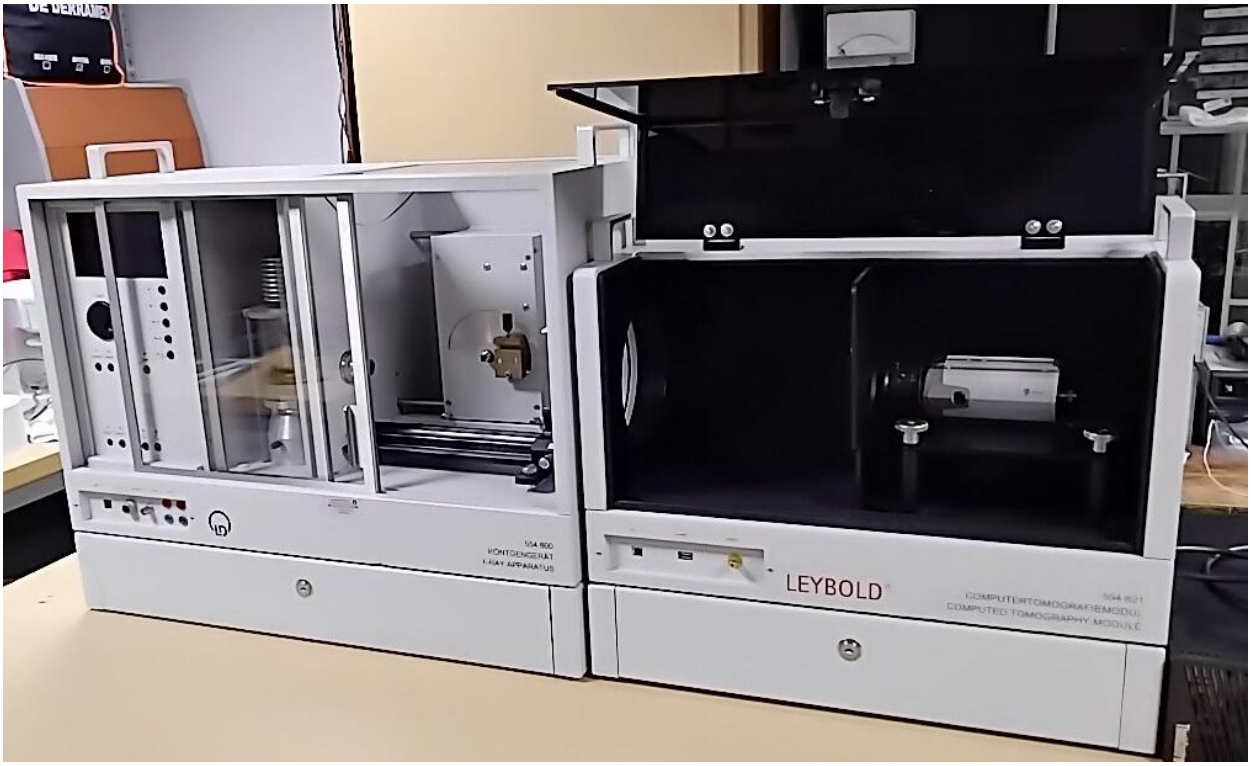
(a)

Esta página se dejó en blanco intencionalmente

3. GUIA PRACTICA Y GENERAL DEL TOMÓGRAFODE RAYOS X 554 800 X-RAY APPARATUS

Figura 94

Fotografía del Tomógrafo de la universidad distrital francisco José de caldas



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

COMPONENTES IMPORTANTES DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X

REQUISITOS E INSTALACIÓN DE SOFTWARE

CONFIGURACIÓN DEL HARDWARE

CALIBRACIÓN

TOMA DE IMAGENES DEL TOMÓGRAFO DE RAYO X

3.1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente capítulo consiste en la creación de un manual para el manejo y el uso adecuado con los protocolos de seguridad del tomógrafo de los rayos X del laboratorio de física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que se encuentra en la dirección Carrera 3 # 26A - 40 Bogotá D.C en República de Colombia, Con el fin de un tener un documento entendible, explicativo y didáctico de documentar en su totalidad del proceso de aprendizaje y experimentación en temas relacionados con la interacción radiación materia con enfoque a los rayos X .

El manual del tomógrafo de rayos X esta baso en su manual que está en inglés de *lc didactics https://www.leybold-shop.com/* en el que se generó una traducción y se buscó generar un contenido más didáctico y explicativo para el uso de los estudiantes y docentes de la licenciatura en física o en carreras afines que desee aprende y a uso y componentes del dispositivo y utilización del mismo, al solicitar su prestamos se debe solicitar directamente a los administrativos y encargados del laboratorio de física enviando un correo:

labfisica@udistrital.edu.co o labfisicaservicios@udistrital.edu.co, también se puede contactar al numero de teléfono: 3239300 Ext: 3005 o para tener más información del laboratorio de física puede visitar su página web: http://labfisica.udistrital.edu.co:8080/.

Ya que en el empleo del tomógrafo de rayos X estará el personal encargado del manejo ya que es un dispositivo costoso y su utilización se debe emplear correctamente aplicando los protocolos de seguridad ya que se usan rayos X y estos son perjudiciales a los seres vivos. Lo que se busca es tener una idea previa para su manejo ya que no se debe ir sin tener los manejos adecuados en el dispositivo. Su contenido está planeado de la siguiente manera: se identifica sus componentes importantes que tiene el dispositivo, requisitos e instalación de software, configuración del hardware, calibración y por último toma de imagen en radiografía y tomografía de algún objeto del kit de materiales.

El tomógrafo de rayos X que tiene la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS en el laboratorio de física es de la empresa LD DIDACTIC que es de Alemania y que tiene varias sedes como la oficina central en Hürth, y urban Alemania y una sede en crawley en Inglaterra ya es una empresa de nivel mundial que se encarga de la fabricación y producción de productos como dispositivos tecnológicos en apoyo a la experimentación en educación desde básica primaria, segundaria y universitario, también en el ámbito investigativo en la ciencia, también está a cargo de empresas con este enfoque como leybold para mayor información https://www.leybold-shop.com/physics.html, feedback para mayor información en el siguiente link https://www.feedback-instruments.com/ y elwe technik.

Con una trayectoria de más 160 años abarca dispositivos en la experimentación con enfoque de la enseñanza en las ramas de la ciencia exactas como: Física, Biología, Química y

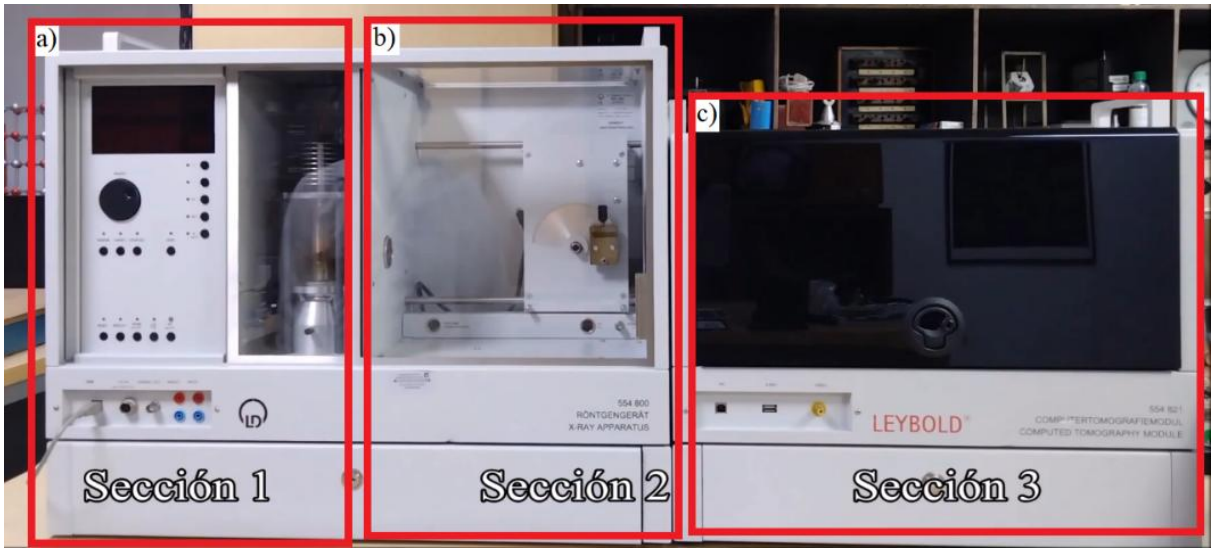
Tecnología Fotónica, Ingeniería Eléctrica, Tecnología automotriz, Energía renovable. En el área de la física tiene instrumentación desde el área de: mecánica, calor, electricidad, electrónica, óptica física atómica y nuclear, y física de estado sólido.

3.2. COMPONENTES IMPORTANTES QUE TIENE EL TOMÓGRAFO DE RAYOS X

Los componentes del tomógrafo computacional se describirán por tres secciones como *A, B* y *C.* y se describirá detalladamente en cada sección y cuáles son los componentes para realización de las imágenes en rayos X y tomografía, hay que tener en cuenta las especificaciones que muestra en este manual son tomadas del instructivo de la marca *lc didactic* la motivación es generar un documento más propicio a la comprensión y la enseñanza en el uso del tomógrafo de rayos X en el habla hispanoparlantes en la cual es la idea esta por realizar a continuación:

Figura 95

Secciones del tomógrafo de rayos X del laboratorio de física



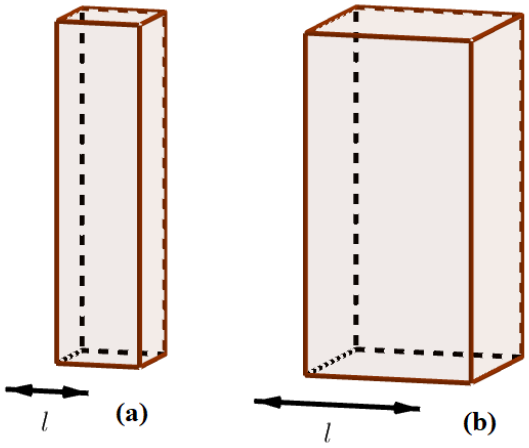
NOTA AL LECTOR

Es importante entender que el tomógrafo de rayos X de la universidad distrital es para el uso didáctico e investigativo y es una herramienta para la enseñanza de la física en los procesos de interacción radiación materia como la atenuación de la intensidad de los rayos X, y como la cristalografía. Su funcionalidad es igual pero tiene las condiciones y recursos simplificados de los tomógrafos médico que están equipados con más herramientas computacionales como memoria de procesamiento y de gran precisión y gran variación de su diferencia de potencial eléctrico que es mucho mayor, es por eso que a continuación se dará unos consejos a la utilización del tomógrafo de rayos X.

NO METALES CON GRAN ESPESOR: La razón de no introducir metales con gran espesor es que la penetración de los rayos X en el interior del metal en el tomógrafo de rayos X es muy bajos ya que su máxima capacidad es de 35 keV para su estudio, es por la energía de los rayos X que no es suficiente para interaccionar y que atraviesen y se dé el fenómeno de atenuación ya que el coeficiente depende en número atómico como se muestra en la figura 96.

Figura 96

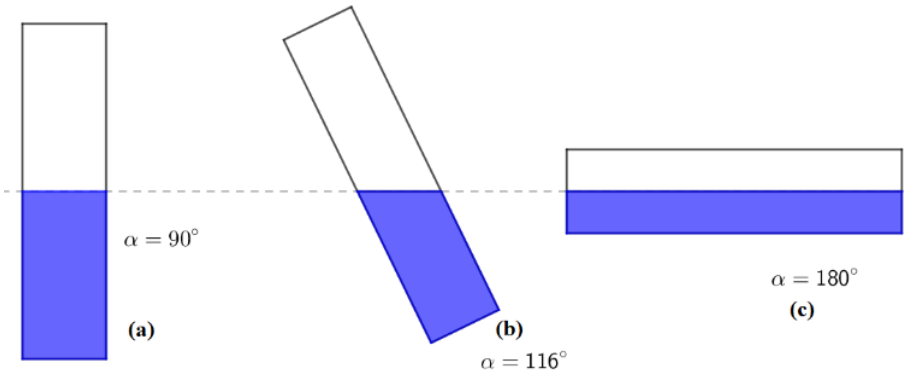
Dos objetos con la peculiaridad de tener diferente ancho (l)



MATERIALES QUE CONTENGAN UNA GRAN CANTIDAD DE AGUA: Esto es importante por el coeficiente de atenuación del agua y su interacción con los rayos X no dan mucha información del objeto en estudio en la tomografía, al tener un objeto como una botella que contine algún liquido a estudiar como se muestra en la Figura 97. Al ser rotada se generan sombras de reconstrucción.

Figura 97

Muestra de un recipiente al ser rotada que contiene un líquido y su forma cambia por la estructura que la ocupa, una propiedad de los líquidos, y el nivel por la gravedad



El objeto de estudio debe ser pequeño: como se menciona en la descripción de la sección (B) donde la caja o la estructura donde se encuentra el goniómetro es muy pequeña donde se tiene un volumen de 8x8x8 centímetro cúbicos, también hay que tener en cuenta en la resolución de las imágenes y el costo computacional del tomógrafo de rayos X sin considerar las dimensiones de la pantalla fluorescente.

NO INTRODUCIR ANIMALES VIVOS: Es Importante saber que la interacción entre la materia y los rayos X es que es una radiación ionizante, en la cual tiene energía suficiente para extraer un electrón de un átomo, haciendo una inestabilidad en las moléculas que están compuestas en ADN generando problemas en la anormalidad en la mitosis generando células perjudiciales en el animal vivo. Ya que se puede generar una dosis de radiación superiores a 1 Sv (Hund,2019). Por lo tanto, al introducir un animal vivo aumenta la probabilidad de generar cáncer y mutaciones generando crueldad animal y es este estudio estamos en contra de esta practica y por qué se mueve y afectaría el proceso de la tomografía.

SOLO CUERPOS SOLIDIFICADOS: Esta característica de que los cuerpos sean solidos es porque al estar adherido en el goniómetro estos van a girar alrededor sobre un eje no va a cambiar su forma y así se pueda generar la tomografía sin problemas.

3.2.1. SECCION A, TUBO DE RAYOS X, ELECTRONICA Y FUENTE DE PODER

El manual del tomógrafo de rayos X de la universidad que se describirá por secciones *A, B* y *C* la sección que describiéremos en la sección A. se puede ver en la figura 98, de color enmarcado rojo.

Figura 98

Sección a) Panel de control del tomógrafo computacional y el tubo responsable de la emisión de rayos X



Al costado del tomógrafo de rayos X, se conecta al tomacorriente que debe ser de 120 Hz figura 99, al conectar la fuente de poder.

Figura 99

Conexión del tomacorriente al tomógrafo y botón de apagado y encendido



En su interior hay un circuito eléctrico que se puede controlar desde la pantalla electrónica donde se muestra en la figura 100

Figura 100

Esbozo de del panel de control con sus diferentes funciones de cada botón y sus asignaciones (Hund, 2005), 2)



El panel de control del tomógrafo computacional tienes una serie de botones con unas funciones para su configuración de parámetros y modificaciones de magnitudes físicas que interviene en la experimentación y su uso:

Diferencia de potencial electico (U): Sirve para elegir la opción de la diferencia de potencial eléctrico y variar con la perilla (g) para acelerar los electrones hasta su impacto con los átomos de material impacto donde se genera los rayos X desde 0 a 35 keV

Corriente de emisión (I): Es la opción de variar el amperaje o corriente eléctrica que pasa para el filamento que genera el efecto termoiónico y se produce la nube de electrones o electrones libres

Delta de tiempo de la variación de ángulo en el goniómetro (Δt): Es el tiempo de la variación del tiempo que trascurre entre un cambio de un ángulo a otro

Delta de ángulo entre los dos goniómetros (Δβ): Esta opción es para la experimentación en cristalografía ya que hay un goniómetro que hace rotar la muestra y el otro que hace rotar el detector ejemplo un Contador Geiger

limit (β): Limite y parámetros de ángulo de rotación del detector Son varios parámetros para varias los ángulos entre el goniómetro y el detector como máximo o mínimo y determinado ajuste

Tablero electrónico: El tablero electrónico sirve para evaluar y ver los cambios propuestos al darle clic en el botón con determinada funcionalidad

Perilla rotativa: La perilla sirve para cambiar o variar los parámetros de cada funcionalidad de los botones

Sensor: Sirve para activar el sensor de manera automático o manual para poder definir los parámetros de la variación de los ángulos entre el sensor y donde se encuentra la muestra y también para mostrar datos del detector Geiger

Target: Puede manipular los parámetros de los ángulos asociados a la cristalografía del objeto

Coupled: Esta relacionado con el acoplamiento entre el detector y la muestra para activar el inicio del escaneo

Zero: Su funcionalidad está relacionada cuando se tiene la terminación de la experimentación y al cambiar la muestra o repetir el escaneo sirve para iniciar el experimento desde los parámetros iniciales

Reset: Está relacionado para que los brazos en cristalografía lleguen a cero y el experimento se suspenda al apagarse el equipo o el tubo de rayos X, y se borren los parámetros iniciales de los ángulos relacionados con la cristalografía

Replay: Inicia la experimentación propuesta ya anticipadamente con los parámetros iniciales como una repetición del escaneo

Scan: Se hace una serie de parámetros para el encendido de tomógrafo recordemos que las puertas corredizas de vidrio tienen un sistema de seguridad y hasta que este bien cerradas no se enciende el tubo de rayos X, e inicia con la experimentación

Sound: Su funcionalidad esta para que las operaciones en el tomógrafo sean percibidas por el operario o usuario siendo el docente a cargo o estudiantes por medio de sonidos característicos de cada proceso del mismo

Hv: Inicia un proceso de verificación de seguridad para que todos los protocolos de seguridad estén en funcionamiento y si este cumple, se enciende el tubo de rayos X

ZONA DE EMISION DE RAYOS X

Al costado tenemos todos los componentes necesarios para emisión en el tubo de rayos X como se muestra en la figura 101.

Figura 101

Zona donde se sitúa el tubo de rayos X y su sistema extractor de calor



En la parte de abajo del tubo de rayos X se encuentra el filamento donde se produce el proceso termoiónico donde al pasar una diferencia de potencial eléctrico y al ser una resistencia lo cual se calienta y empieza a emitir radiación electromagnética y electrones al medio circundante o nube de electrones, recordemos que el tubo esta al vacío o a presión baja, la dirección es aleatoria "cualquier dirección" como se muestra en la figura 102. Pero el sistema tiene una diferencia de potencial "voltaje" en la cual los direcciona hacia arriba y al estar en un campo eléctrico genera una aceleración, así como una partícula con masa está sometida a un campo gravitacional ejemplo al sostener una manzana y soltarla esta cae en dirección del centro de la tierra con una aceleración,

Figura 102

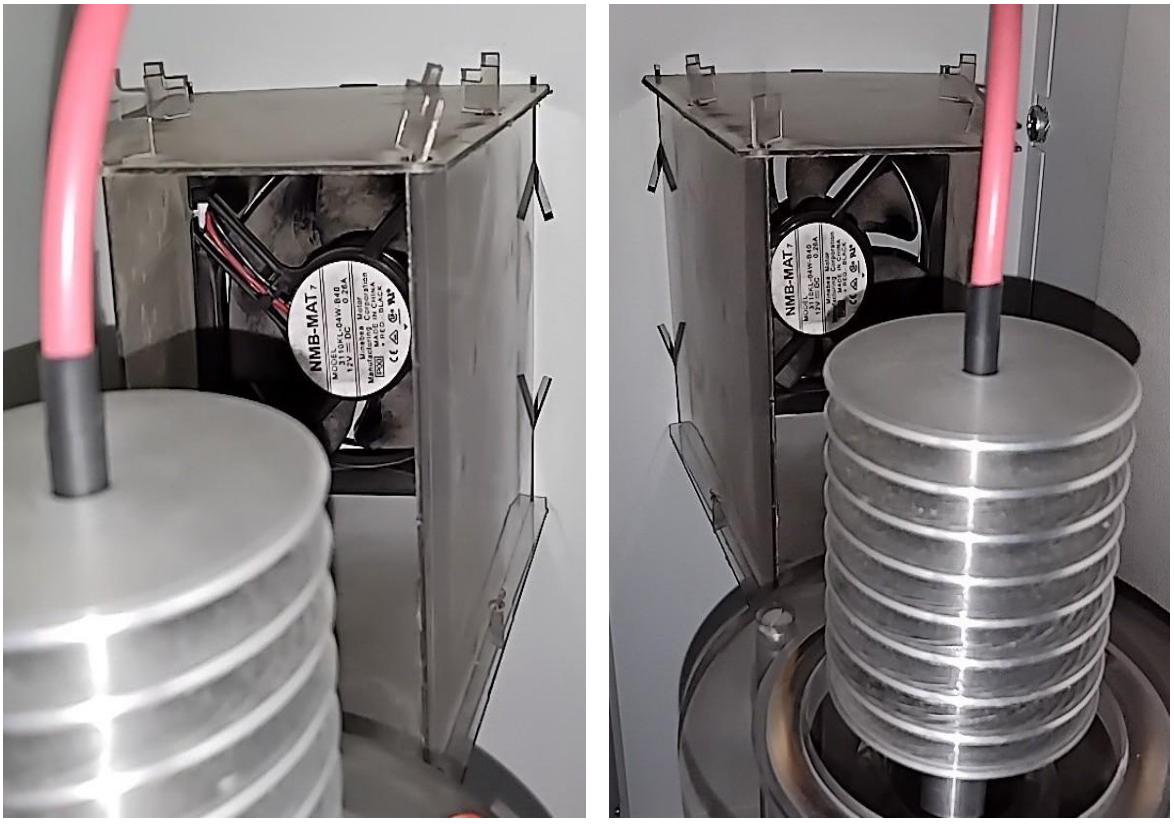
Secuencia en el tiempo del encendido del tubo de rayos X al pasar el voltaje por el filamento



El mecanismo que genera los rayos X es muy deficiente ya que toda su energía se pierde en forma de calor por lo que es necesario que en la parte de arriba se encuentra un sistema de extracción de temperatura del sistema y en la parte de atrás se encuentra un ventilador en la parte de atrás para sus procesos de extracción de energía interna del sistema como se muestra en la figura 103.

Figura 103

Sistema de refrigeración del tubo de rayos X, que se compone de un disipador de calor y ventilador extractor

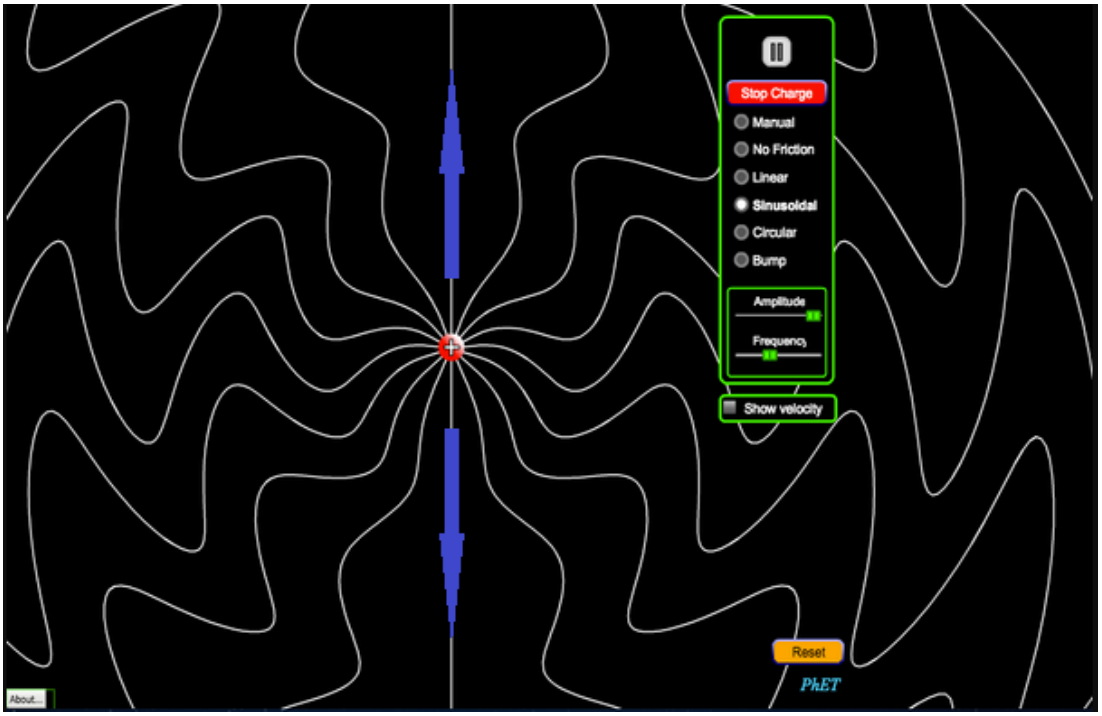


PRODUCCIÓN DE RAYOS X

El proceso de la generación de rayos X inicia dentro del del tubo de rayos X que esta al vacío o a presión baja, el proceso empieza cuando los electrones son acelerados por un campo eléctrico y chocan con la superficie, estos desaceleran, y como desde la teoría clásica de campos *"un cuerpo cargado al cambiar su movimiento genera radiación electromagnética"* como se muestra en la figura 104.

Figura 104

Visualización de un objeto con carga "electrón" en movimiento acelerado en la simulación de phet:



La generación de rayos X por el mecanismo que se emplea en el tomógrafo hay dos formas de generación, por radiación de frenado y por ionización de emisión característica de radiación de fotones:

RADIACIÓN DE FRENADO *BREMSSTRAHLUNG*

El mecanismo consiste en el electrón al tener una energía cinética por el campo electromagnético que se produce en el tubo al chocar o interaccionar con el material de impacto este tiene átomos y que están compuesto con electrones y el núcleo que a su vez contiene protones y neutrones, en este caso nos enfocaremos en la interacción entre el electrón y núcleos ya que tiene cargas opuestas aceleran o frena cuando se acerca de “frente” generando una radiación con fotones en el rango de rayos X.

EMISIÓN CARACTERÍSTICA DE RADIACIÓN DE FOTONES

Al tener energías cinéticas los electrones e interaccionar con los electrones del átomo de impacto pueden extraerlo del átomo o como lo conocemos como ionizarlo, extraer los dos electrones del sistema de referencia del átomo por lo que al estar en esta configuración el átomo siempre va a estar en un sistema en equilibrio por lo que los electores de otras orbitas pasan al lugar donde se extrajo el electrón, por lo que se genera un fotón por mecanismo de la mecánica cuántica por lo que se conoce como *fotones característicos*

En los tubos de rayos X, hay una característica y es que si importa el metal donde chocan los electrones y es por eso por lo que debe ser con un metal para determinados experimentos como se muestra en la figura 20 con los diferentes tubos de rayos X que se encuentra en el tomógrafo de rayo X de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas. Es importante el metal del blanco ya que cada metal tiene espectro característico, también hay un fenómeno de desgaste en la cual él tuvo está perdiendo materia en la producción de rayos X, es por eso por lo que cuando llega a un estado determinado hay que cambiarlo por uno nuevo

Entre la sección A y B está conectado por un orificio como se muestra en la figura 105, donde pasa los rayos X, para las diferentes experimentaciones que ofrece el tomógrafo, en cuanto a la experimentación con el tomógrafo se deja el orificio para que sea atravesado, pero para otros fenómenos a estudiar se necesitan los filtros o colimadores para disminuir su cantidad de dispersión y su haz como se muestra en la figura 105.

Figura 105

Abertura donde se emite la radiación de los rayos X dispensable para colocar filtros y colimadores dependiendo el experimento que se va a realizar



Figura 106

Diferentes colimadores y filtros (a) es circular (B) y (C) es de forma rectangular

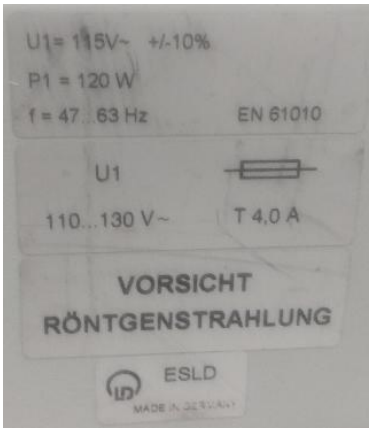


Las especificaciones están dadas por las características eléctricas tiene las siguientes características del tomógrafo de rayos X de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS:

- El voltaje es de 115V “voltios” con una tolerancia de $\pm$ 10%
- Con una potencia de 120 W “Watt”
- Frecuencia de oscilación aceptable entre 47 a 63 Hz “hercios”

Figura 107

Ficha técnica del tomógrafo sobre parámetros eléctricos del tomógrafo de rayos X.

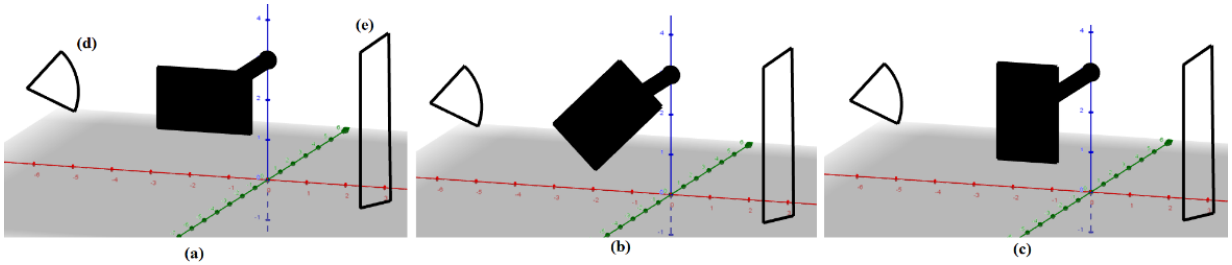


3.2.2. SECCION B GONIOMETRO Y RIEL DE DESPLAZAMIENTO

El GONIOMENTRO es un dispositivo hace que rota el objeto de estudio y el usuario lo puede programar al ángulo que se necesitan o puede hacer que rote a determinado tiempo y la variación del ángulo de 0.5° y de 0.01° y 1° dependiendo del experimento como se muestra en la figura 108.

Figura 108

Funcionamiento del goniómetro al rotar el objeto de estudio del objeto de color negro



Es muy importante ya que al rotar el objeto de estudio se puede hacer interaccionar los rayos X en los diferentes ángulos, y generar las proyecciones donde es importante para recepción de datos producto de la interacción radiación materia ya que el software ayuda a reconstruir el objeto en 3D.

También hay un rotor que girar alrededor del goniómetro para estudios de cristalografía donde se coloca el sensor de radiación en este caso el contador Geiger como se muestra en la figura (108) y (109).

Figura 109

Movimiento secuencial del brazo que sostiene el detector Geiger.

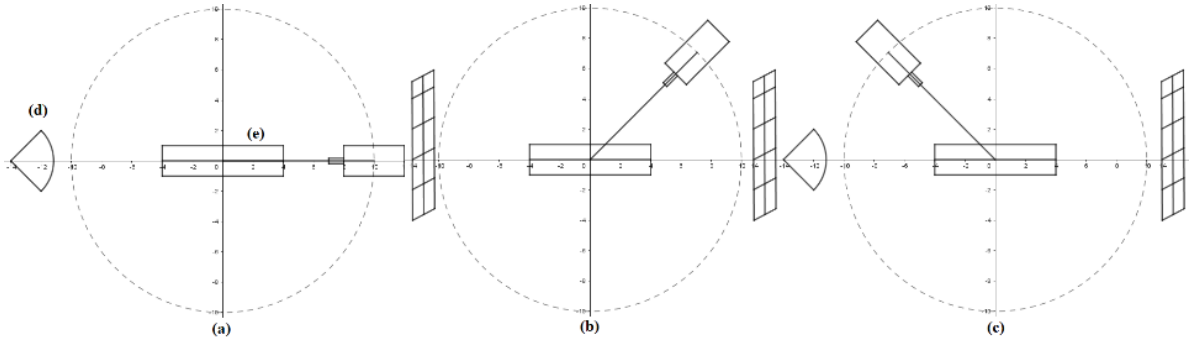


Figura 110

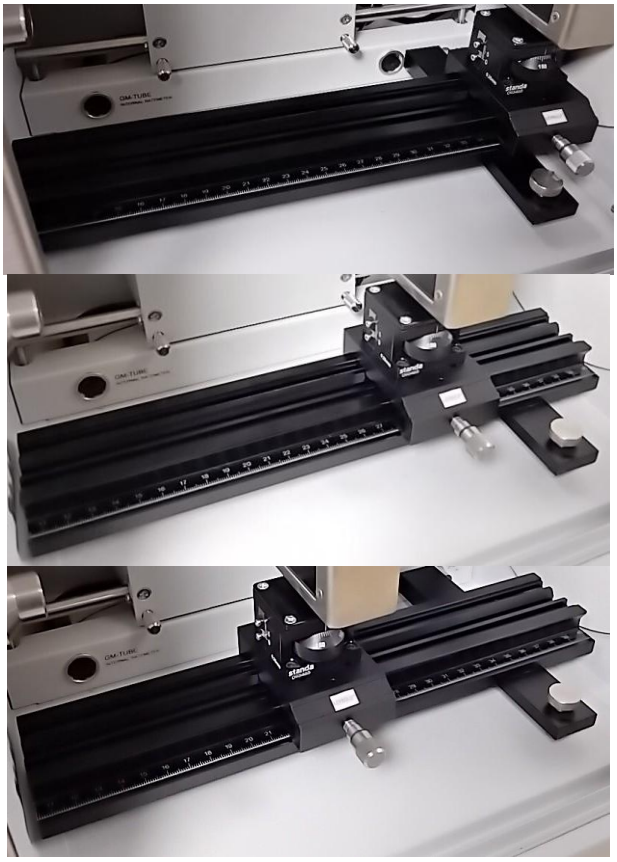
Goniómetro su función es rotar el objeto de estudio de izquierda a derecha en la apertura se encuentra un colimador y una muestra y en las dos últimas el goniómetro



RIEL DE DESPLAZAMIENTO: el siguiente objeto es el riel de desplazamiento en la que se puede trasladar algún objeto que no esté en el goniómetro lo puede trasladar sobre su eje, en la caja de experimentación también se puede agregar una cámara moderna y se puede trasladar desde el orificio cerca de la pantalla fluorescente sensor Precision slide (554 8291) como lo muestra en la figura111

Figura 111

Riel instrumento para adecuar dispositivos dentro la caja de experimentación



También se puede agregar en la sección B dispositivos como sensores en espacial para el estudio de la cristalografía y refracción de rayos X en materiales con estructuras cristalinas o de morfología compleja, en la cual la universidad cuenta con un *Contador Geiger* en honor al físico alemán Johannes (Hans) Wilhelm Geiger (1882-1945) que, junto a Walter Müller, desarrolló el contador Geiger. Este dispositivo consiste en un tubo o cilindro que en su interior se encuentra un gas noble, en su interior hay un alambre que hace de función de ánodo (+) y la superficie del cilindro es cátodo (-) que atraviesa todo su centro al tener una diferencia de potencial elevado aproximado de 1 keV que al interactuar la radiación electromagnética como los rayos X gamma y otras partículas como α, β contras las paredes o superficie del cilindro este es capaz de extraer "arrancar" un electrón de la superficie e ionizar el gas, al tener una diferencia de potencial considerable este se dirige hacia el polo positivo generando una avalancha o Descarga de

Townsend en honor al físico y matemático John Sealy Edward Townsend (1868 –1957). En la parte (*b*) y (*c*) de la Figura 112. Se muestra el contador Geiger de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.

Figura 112

Estructura básica de un contador Geiger b y c contador Geiger del tomógrafo de rayos X enmarcado de color rojo



También se puede configurar en la sección b el goniómetro, el riel y la cámara moderna en la cual suprime o no es necesario la configuración de tener conectado la sección A, B y C ya que esta es una cámara sensor X-ray image sensor (554 8281) suprimiendo por completo la sección C ya que hace la función de la cámara de la sección que se menciona a continuación.

Figura 113

Imágenes del sensor de rayos X (554 8281)



3.2.3. SECCION C: LA CAMARA

En la sección C es una caja de dimensiones 53 cm x 34 cm x 24.5 cm. Como se muestra en la figura 114.

Figura 114

sección C compute tomography module (554 821)



La sección C está conectada con una pantalla circular fluorescentes, en la cual es un fenómeno físico que al absorber la radiación electromagnética (Rayos X) interactúa con el material y este lo emite a una frecuencia o espectro diferente en este caso en el rango del espectro visible donde la cámara puede recibir esta señal, En su interior está la cámara especializada para la obtención de datos de la interacción de los rayos X con el objeto de estudio por medio de atenuaciones que percibe en tonos de crises como se observa en la figura 115 de la pantalla fluorescente.

Figura 115

Pantalla fluorescente conectando la sección B y C



La cámara se encuentra en la sección C. Es de tipo eneo VKC-1376 se puede mostrar en la imagen 116. Que tiene las siguientes especificaciones (https://www.sourcesecurity.com/eneo-vkc-1376-technical-details.html#specification)

Figura 116

Cámara que toma los datos de la interacción de los rayos X con el cuerpo a estudiar



El recipiente está totalmente oscuro para que no tengan interacciones con el ambiente o no afecte los datos e imágenes por la fuente externa de emisión de radiación electromagnética como es el caso de un bombillo o por el sol

3.3. REQUISITOS E INSTALACION DEL SOFTWARE

Uno de los requisitos para el funcionamiento del tomógrafo de rayos X es que se maneja por medio de un computador de escritorio o ya sea portátil, la toma de datos y el manejo del especifico sedan por medio de los procesos computacionales que se realizan para generar una radiografía o tomografía de rayos X, se necesita recurso como memoria y proceso internos por lo cual se define los requisitos mínimos para el funcionamiento correcto para emplear el tomógrafo de rayos X. Y los datos especificados a continuación son del manual de *lc didactic:*

- Windows XP SP2 o Windows Vista (32 bits o 64 bits)
- Procesador de doble núcleo de 2 GHz
- RAM de 3GB “Gigabytes”

- Tarjeta gráfica 3D habilitada para DirectX 9 con compatibilidad con shader model 3 y 256 MB “Megabyte” de RAM (para Nvidia GeForce 7600/8600)
- Un monitor con una resolución 1024x768 (TrueColor 32 bits por pixel)
- puerto USB 2.0

Para procedimientos donde los objetos de estudio sean más complejos o se requieran más procesamiento en cuanto a tareas internas el requisito se mostrará a continuación:

- Windows Vista (32 bit o 64 bit)
- Quad-core procesador 2.4 GHz
- 3 GB RAM
- Tarjeta Gráfica de DirectX 3D con shader model 3 soporte de 512 MB RAM (ATI Radeon 3850 / Nvidia GeForce 8800)
- Monitor con resolución de 1280x1024 (TrueColor)
- Puerto USB 2.0

El pc “personal computer” que se utiliza en el laboratorio de física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS es el que se muestra en la imagen 117.

Figura 117

Tomógrafo conectado al computador



El enlace donde se puede descargar el software se puede acceder en el siguiente enlace:

- https://www.ld-didactic.de/software/xraytomo2_en.msi
- http://www.ld-didactic.com/software/xrsetup.exe

3.3.1. OPCIONES Y CONFIGURACIONES DEL SOFWARE DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X

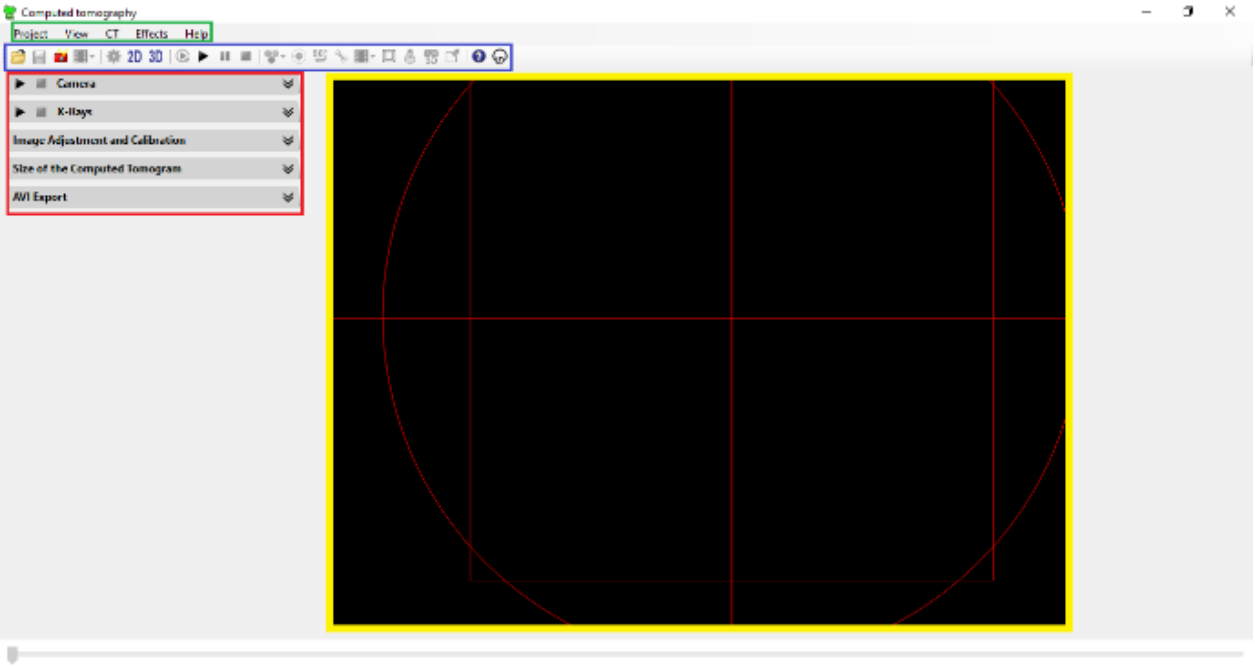
En cuanto se descargue el programa para la utilización del tomógrafo de rayos X de *lc didactic* tiene una gran cantidad de funciones que nos ayudara a ejecutar una acción determinada para cada caso experimental configuraciones que el estudiante o investigador desee en el tomógrafo de rayos X.

Al abrir el programa se encuentra con la pantalla de inicio, en el cuadro amarillo se muestra la imagen proveniente de la cámara, en la parte derecha que está enmarcado con un cuadro de color rojo, están las propiedades y unas opciones que se describirá a continuación. Lo que está enmarcado en azul son opciones segundarias como abrir y generar un archivo e iniciar con el

proceso de tomografía computarizada, y en las opciones enmarcada verde son opciones terciarias como se muestra en la Figura 118.

Figura 118

Pantalla de inicio del software para la tomografía de rayos X

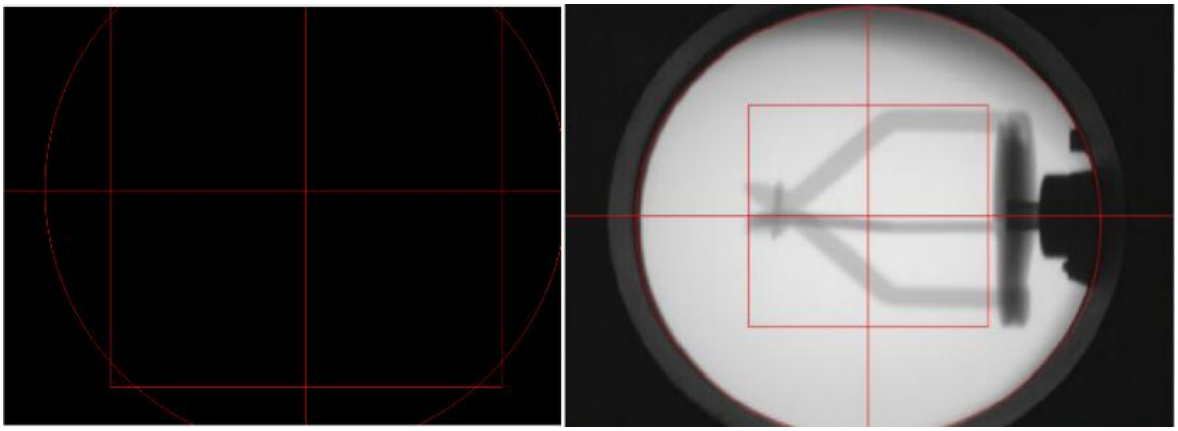


3.3.2. PROYECCION DE LA IMAGEN COMO RESULTADO DE LA INTEACCION DE LOS RAYOS X EN UN DE ESTUDIO ZONA DE COLOR AMARILLO

En la parte centra izquierda se mostrará la imagen, video y proyecciones procedente de la interacción radiación de los rayos X con el material o cuerpo que deseemos estudiar como se muestra en la figura el circulo es para calibrarlo con el lente de la cámara o hacia la pantalla circular fluorescentes que conecta la sección B y C.

Figura 119

Donde se muestra las imágenes, videos y proyecciones del tomógrafo de rayos X

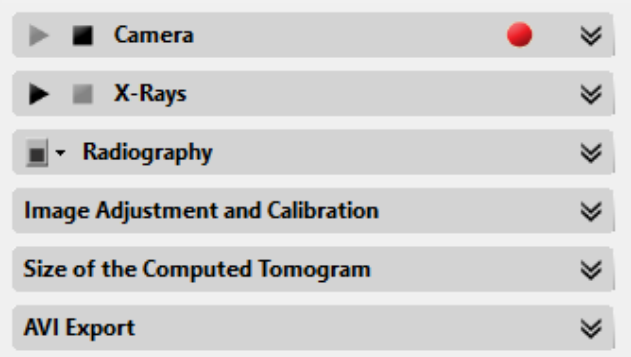


OPCIONES PRIMARIAS ZONA DE COLOR ROJO

Esta clasificación se da por medio de la figura 118. Mencionada anteriormente o se puede encontrar en la imagen120. Para mayor comprensión

Figura 120

Opciones para el uso del tomógrafo de rayos X



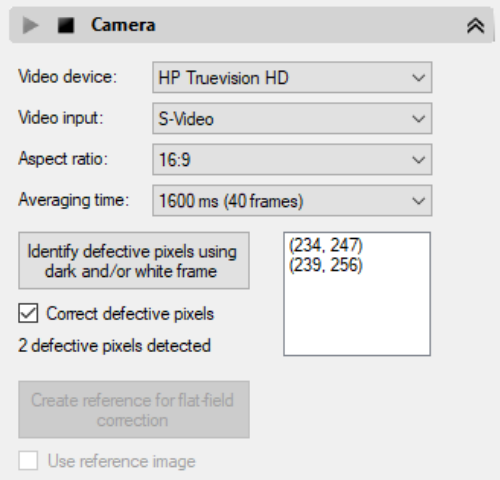
3.3.3. CAMERA

La opción cámara está relacionado para generar parámetros y condiciones que se pueda manipular la cámara para la imagenología y estudios correspondientes a la interacción de los rayos X.

VIDEO DEVICE: En la opción video device “dispositivo de video” se puede encontrar los diferentes dispositivos que el usuario puede seleccionar como detector de imágenes como se muestra en la figura 121.

Figura 121

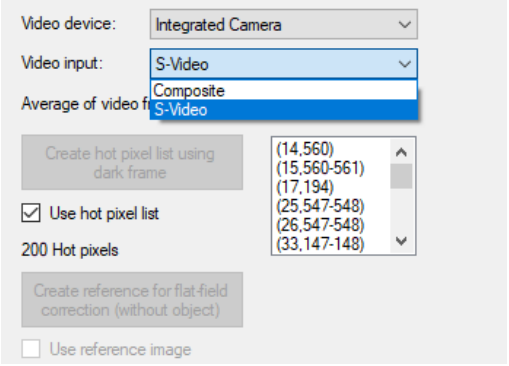
Opciones de video device "Dispositivo de video"



Video input: "Entrada de video" En estas opciones esta la Composite y S-Video que sedea seleccionar

Figura 122

Opción Video input



CREATE HOT PIXEL LIST USING DARK FRAME: en esta opción de darle clic se puede crear todos los pixeles del cámara defectuoso, esto se produce por el uso y el manejo constante del tomógrafo en la cual genera problemas en la cámara internamente en el chip del sensor, y se nos presenta de color negro en la cual nos puede mostrar cuales son los pixeles y en

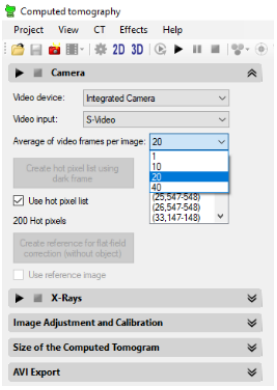
qué lugar se encuentran y poderlos omitir generando que software realice un promedio de los pixeles a su alrededor y genere un pixel que no está dando cuenta de la realidad de información obtenida en esta coordenada, sino un pixel virtual o seudo que no afecte la imagen obtenida

USE HOT PÍXEL LIST: En esta opción no permite adquirir la imagen con todos los pixeles que este defectuosos por el efecto de píxel caliente

AVERAGE OF VIDEO FRAMES PER IMAGE: En la opción podemos escoger la cantidad de imagen por segundo que para que se genere el video tienes opciones como 1, 10, 20, 40. Como se muestra la figura 123.

Figura 123

De Average of video per imagen "Promedio de cuadro de video por imagen"

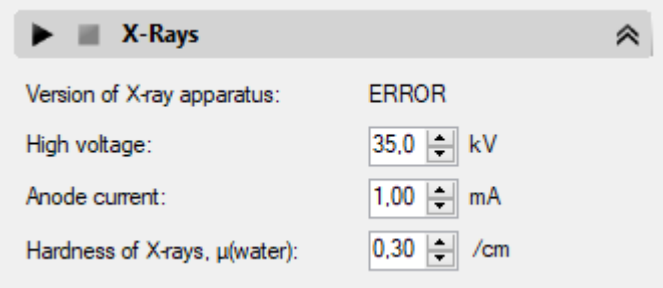


3.3.4. X-RAYS

En esta sección del programa se encarga de agregar condiciones y configuraciones de los rayos X por parte del usuario como se muestra en la figura 124.

Figura 124

Parámetros iniciales para los rayos X



HIGH VOLTAGE (KV): La diferencia de potencial eléctrica o "voltaje" esta opción se puede escoger la energía del campo que hace acelerar los electrones y adquieren energía cinética que después se trasforma en un fotón de los rayos X y su variación se encuentra en la tabla 2.

Tabla 2

Los diferentes voltajes que se pueda elegir para la emisión de rayos X en kV.

keV		
min	máx.	±
1	35	1

ANODE CURRENT (MA): Es la intensidad eléctrica que pasa por el ánodo, en la explicación del tubo de rayos X y el proceso termoiónico de entiende adecuadamente y se puede manipular con los datos de la tabla 3.

Tabla 3

Las diferentes intensidades o corriente eléctrico que se le puede aplicar al ánodo.

mA		
min	máx.	±
0.0	1.0	0.1

HARDNESS OF X-RAYS, μ (WATER) (/CM): Esta opción nos permite modificar la constante de atenuación para el agua, se puede ver la variación en la tabla 4.

Tabla 4

Los diferentes coeficientes de atenuación que se puede definir para el agua.

s		
min	máx.	±
0.30	2.0	0.01

RADIOGRAPY: La opción de la radiografía son dos en la cual se puede variar para ver mejor la imagen o la tomografía dependiendo del coeficiente de atenuación del objeto que se desee estudiar

INTENSITY: aumenta o disminuye la intensidad de la imagen de la radiografía o tomografía

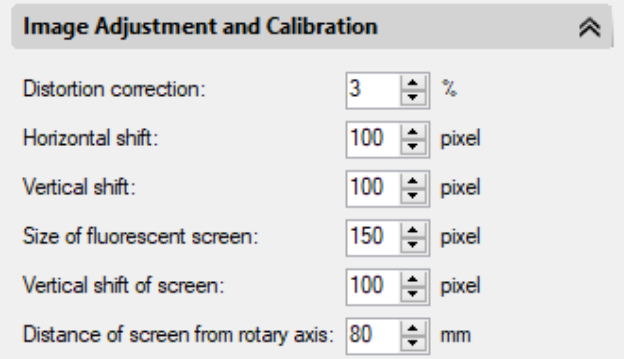
CONTRAST: tiene un rango de variación dónde se pueda disminuir o aumentar el contraste de la imagen

3.3.5. IMAGE ADJUSTMENT AND CALIBRATION

En la opción podemos configurar los aspectos de la imagen "ajuste y calibración de imagen" se puede ver en la Figura 125.

Figura 125

Configuración de imagen de ajuste y calibración



DISTORTION CORRECTION (%): La opción "corrección de distorsión" se puede corregir problemas de distorsión que se genera por no tener la nitidez cuando se presenta la imagen en vivo de una tomografía computacional con un incremento de 1. tiene como valor mínimo de –20 y como un máximo de 20 y se puede acercar o aleja que se puede ver la tabla 5. Se puede ver la variación, también se puede generar acercamiento y su variación tiene los límites y delta como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Rango máximo o mínimo de Distortion correction (%)

Distortion correction (%)		
min	máx.	±
-20	20	1

HORIZONTAL SHIFT (PÍXEL): Con esta opción se puede desplazar la cruz de la pantalla de la figura. Para calibrar las líneas rojas con la como la circunferencia roja se sobreponga en la pantalla circular fluorescente de puede mover horizontalmente con un incremento de 1 con un mínimo de –100 y máximo 100 pixeles como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6.

Rango máximo o mínimo de Horizontal shift (píxel)

Horizontal shift (pixel)		
min	máx.	±
-100	100	1

VERTICAL SHIFT (PÍXEL): Se puede desplazar verticalmente la cámara con un mínimo de 0 a un máximo de 100 pixeles se recomienda tenerlo calibrado en 0 y su variación se puede encontrar la tabla 7.

Tabla 7

Rango máximo o mínimo de Vertical shift (pixel)

Vertical shift (pixel)		
min	máx.	±
-100	100	1

SIZE OF FLUORESCENT SCREEN (PIXEL): Tiene como mínimo 1 con un incremento y un máximo de 600 pixel que hace se agrande o ser comprima la marcar de color rojo para situar la pantalla circular fluorescente como se muestra en la tabla 8 su máximo y su mínimo con su variación de la tabla 8.

Tabla 8

Rango máximo o mínimo de Distortion correction (%)

Size of fluorescent screen (pixel)		
min	máx.	±
1	600	1

DISTANCE OF SCREEN FROM ROTARY AXIS (MM): Es para rotar los ejes que están de color rojo en el tomógrafo de rayos X con un mínimo de 1 a 150 mm como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Muestra las opciones de Distance of screen from rotary axis (mm)

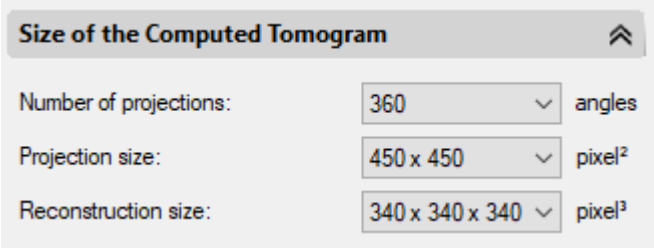
Distance of screen from rotary axis (mm)		
min	máx.	±
-100	100	1

3.3.6. SIZE OF THE COMPUTED TOMOGRAM

"Tamaño de la tomografía computarizada" Esta sección podemos configurar y generar parámetros iniciales en el tamaño de las imágenes y volúmenes en construcción de imágenes de la tomografía computacional como se muestra en la Figura 126.

Figura 126

De la sección Size of the Computed Tomogram



NUMBER OF PROJECTIONS (ANGLES): "Numero de proyecciones" ángulos, grado en la cual se puede registrar las proyecciones de la adquisición de datos ejemplo se si toma con parámetro inicial, 15° grados, la toma inicia en 0° se emite rayos X la cámara capta la interacción radiación materia de las atenuaciones de la intensidad después de interacciona con la materia, después el goniómetro rota 15° se enciente la fuente de rayos X y cámara toma los datos y de después rota 30° y así sucesivamente. las variaciones de ángulos de proyecciones se pueden seleccionar con los datos de la siguiente tabla 10.

Tabla 10

Muestra las diferentes magnitudes angular es que se generan en la rotación total

ángulo
1°
4°
15°
45°
90°
180°
360°
720°

Projection size ($Pixel^2$): “Tamaño de proyección” esta sección se puede modificar el tamaño o el área de la imagen como se muestra en la tabla 11.

Tabla 11

Rango máximo o mínimo de pixel2

$Pixel^2$
250 x 250
300 x 300
350 x 350
400 x 400
450 x 450
500 x 500

RECONSTRUCTION SIZE ($pixel^3$): “Tamaño de reconstrucción” esta sección ayudara a configurar la estructura de los márgenes de los voxeles volúmenes de información en la cual se pueden seleccionar las diferentes estructuras en la Tabla 12.

Tabla 12

Diferentes volúmenes de reconstrucción de un voxel pixel^3

$Pixel^3$
200 x 200 x 200
220 x 220 x 220

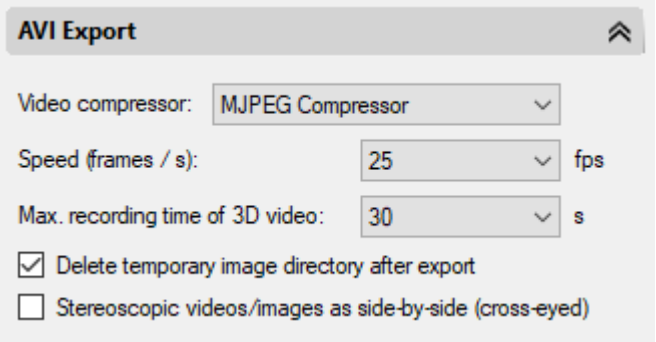
240 x 240 x 240
256 x 256 x 256
280 x 280 x 280
300 x 300 x 300
320 x 320 x 320
340 x 340 x 340

3.3.7. AVI EXPORT

Esta sección consiste en configurar la información proveniente del tomógrafo rayos X en formato video y sus diferentes formatos de la figura 127.

Figura 127

Sección de Avi export y sus características



VIDEO COMPRESOR: En esta configuración estas los diferentes formatos para generar el video que desees crear a partir de la tomografía computacional, los diferentes formatos disponibles para la creación de los videos se pueden ver en la tabla 13. el interfaz

Tabla 13

Diferentes formatos de videos disponibles en el tomógrafo de rayos X

WMVideo8 Encorder DMO

WMVideos9 Encoder DMO

MSScreen 9 encoder DMO

DV Video Encoder

MJPEG Compressor

Códec Cinepak por Radius

Códec Intel IYUV

Códec Intel IYUV

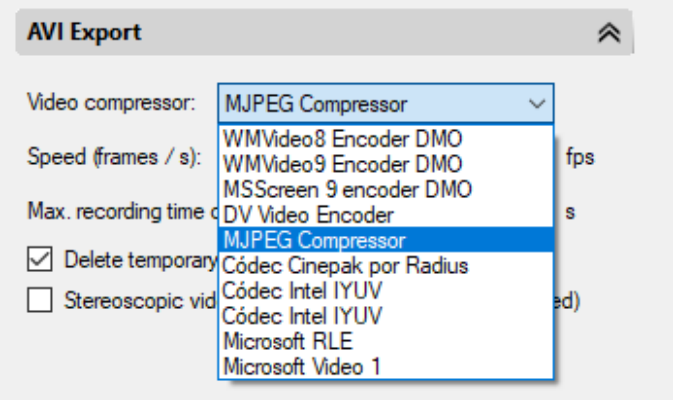
Microsoft RLE

Microsoft Video 1

El interfaz en el programa del tomógrafo de rayos X se puede observar en la figura 127.

Figura 128

Diferentes formatos para la extracción de información por medio video



SPEED (FRAMES /S) "FPS FRAMES PER SECOND" es la velocidad de imágenes por segundo para la creación del video en la tabla. Se puede observar las diferentes imágenes que se

pueden pasar por segundo en el video y su variación de máximo y mínimo y su variación se puede ver en la tabla 14.

Tabla 14

Se muestras las diferentes imágenes por segundo en el video

fps		
min	máx.	±
10	30	5

En la visualización del programa se puede ver la interfaz de fps y como determinar su magnitud

MAX. RECORDING TIME OF 3D VIDEO(S): La generación de videos en 3D genera mucho trabajo en el dispositivo computacional y el peso de su archivo se incrementa por lo que los videos generados por el software son de máximo 60 s como se muestra en la figura. Y los diferentes tiempos en segundos en la que se pueda escoger mediante el tiempo en segundo como se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15

De los diferentes tiempos para la duración del video

s		
min	máx.	±
10	60	10

DELETE TEMPORAL IMAGEN DIRECTORY AFTER EXPORT: es la casilla sirve para borrar las imágenes temporales en directorio después de la exportación a otro lugar de almacenamiento u otro formato

STEREOSCOPIC VIDEOS/IMAGES AS SIDE-BY-SIDE (CROSS-EYED): es otra casilla que sirve para observar los resultados del tomógrafo de rayos X en una visualización en tres con filtros

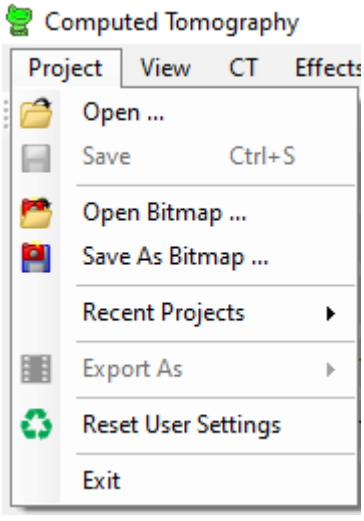
3.4.OPCIONES TERCARIA DEL SOFTWARE

3.4.1. PROJECT

El menú de "proyecto" en la sección (nombrar el color) delimitado en la figura. Están las siguientes opciones que se puede ver de la Figura 129.

Figura 129

Visualización del menú de proyectos

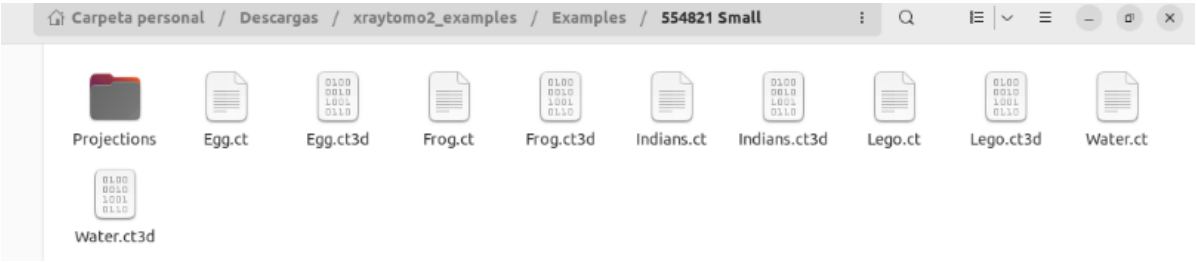


OPEN... Abrir este símbolo sirve para abrir un archivo ya establecido en la computadora, para su visualización su extensión es. ct y los archivos en 3D son .ct3d donde los que están

enmarcados son los de 2D y los que está enmarcado de rojo 3D lo de como se muestra en la figura 130.

Figura 130

Los archivos con diferente extensión para 2D y 3D



SAVE: la opción “guardar” sirve para guarda los archivos que se acaban de tomar en el momento, también se puede guardar en la dirección que el usuario desee.

RECENTE PROJECTS: “Proyecto reciente” es para abrir los archivos que el tomógrafo ha creado recientemente o que sean abierto anteriormente

SAVE AS BITMAP … es el formato para pasar los archivos de la extensión. ct a formatos de imagen como (.tif .png y .bmp) donde .tif (Tagged Image File Format) .png (Portable Network Graphics) y .bmp en la cual se guarda con una alta resolución con escala de grises de 16 bits

EXPORT AS: Es para exportar los archivos de 3D a video

RESE USER SETTINGS: Es una opción para reestablecer los parámetros o configuración iniciales

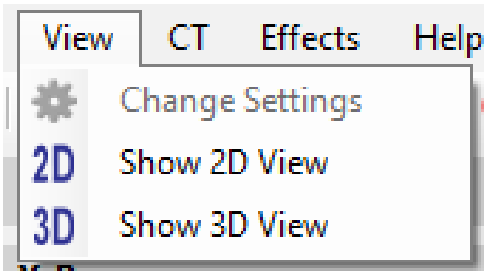
EXIT: Es para cerrar el programa del tomógrafo de rayos X.

3.4.2. VIEW

El menú de “vista” se puede encontrar su participación en la especialización que muestra las vistas en dos dimensiones y tres dimensiones como se muestra la visualización del menú como se muestra en la figura 131.

Figura 131

Muestra el menú de vista



CHANGE SETTINGS: sirve para acceder a las opciones de las configuraciones de la tomografía computacional

SHOW 2D VIEW: Visualiza la información del tomógrafo de rayos X en dos dimensiones

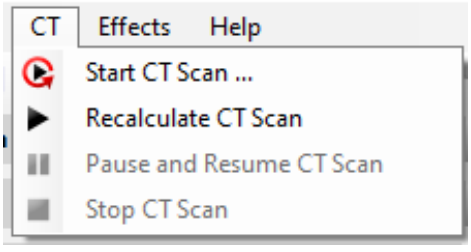
SHOW 3D VIEW: Muestra un formato de tres dimensiones

3.4.3. CT

Su funcionalidad es para determina el proceso de la tomografía computacional desde su inicio hasta el fin del proceso

Figura 132

Opciones de CT de la parte pestaña superior



START CT SCAN …: Esta opción lo que indica que se da inicio al escáner del objeto de estudio con un haz de rayos X y donde la cámara o sensor detecta y genera la imagen.

RECALCULATE CT SCAN: Se puede volver a recalcular el proceso de tomografía computacional, esta función sirve para volver hacer el mismo proceso de tomografía a un objeto, y estudiar cambio o cual tiene mejor resolución o resultados.

PAUSE AND RESUME CT SCAN: En el proceso del escaneo del cuerpo en estudio, se puede tener por algún motivo del usuario, ya sea que el objeto de estudio no esté en su sitio, o acomodar la muestra, y se puede detener el proceso seguir con el proceso de tomografía

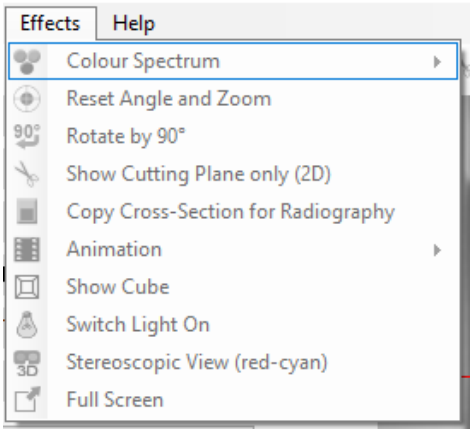
STOP CT SCAN: Esta función nos ayuda a detener el proceso de tomografía computarizada

3.4.4. EFFECTS

En el menú de efectos son los que están diseñados para generar cambio o tipografía en las imágenes de la tomografía computacional como se muestra en la figura 133.

Figura 133

Menú de Effects "efectos" en la imagen de la tomografía computacional



EFFECTS COLOUR SPECTRUM: Las diferencias de color en la imagen, nos da información de la atenuación de debió de pasar el haz en el interior del objeto de estudio, la opción de "Espectro de colores de efectos" nos ayuda a cambiar la escala de colores, en la cual se tiene cinco espectros que son de la forma como se muestra en la figura 133. Y es para visualizar o mejorar la visión de determinadas zonas de la imagen dónde no se pueda apreciar las diferentes atenuaciones representado en un píxel

RESET ANGLE AND ZOOM: Detiene el proceso de escaneo del cuerpo y lo sitúa en su ángulo inicial que se puede tener encuentra como parámetro inicial, así como determinar el zoom.

ROTATE BY 90°: Por parte goniómetro rota con un ángulo de noventa grados "90°" el cuerpo de investigación.

SHOW CUTTING PLANE ONLY (2D): Sirve para cortar la imagen es un volumen determinado

ANIMATION: Funciona para generar un video a partir de rotación de cuerpo en estudio a partir de eje de rotación del goniómetro y por medio del mouse para así poder grabarlo en formato video y exportarlo.

SHOW CUBE: Visualiza un cubo trasparente dónde se puede observar las aristas de dicho cubo como se muestra en la figura. Para mejorar la resolución.

SWITCH LINGT ON: Sirve para la generar una fuente de luz para visualizar de una forma mejor la tomografía computacional como se muestra en la imagen.

STEREOCOPIC VIEW (RED-CYAN): La vista estereoscópica nos ayuda a visualizar una imagen con desenfoque de nitidez cambiando para que se pueda ver con gafas donde el ojo izquierdo está de color rojo y el ojo tiene un filtro de color cyian donde se puede ver de mejor la imagen cuando se tiene problemas de visión en especial la profundidad de una imagen o forma de 3D.

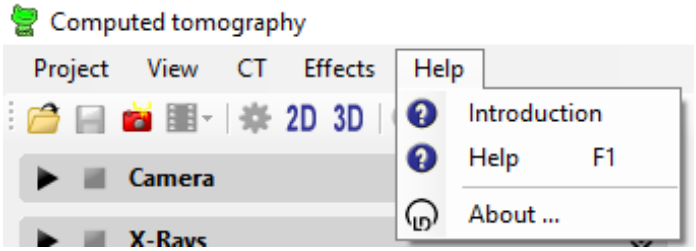
FULL SCREEN: En esta opción se puede tomar la imagen que no quiera estudiar y agrandarla en pantalla completa, abarcando toda la pantalla del monitor

3.4.5. HELP

el menú de “ayudas” su principal objetivo es brindarle a usuario cuando no se tiene claro una funcionalidad en el uso del tomógrafo de rayos X, por lo cual está la opción de buscar orientar al usuario en resolver sus inquietudes, como se muestra en la imagen 134.

Figura 134

Menú de ayuda del tomógrafo computacional



INTRODUCTION: Está opción muestra una pequeña guía o introducción a todos los conceptos relacionados al uso del tomógrafo computacional

HELP F1: Muestra un pequeño documento donde se avance los temas más importantes para el manejo del tomógrafo computacional

ABOUT …: Al darle clic de puede mostrar información acerca de la empresa que creo el tomógrafo de rayos X lc didactic

En cuanto a la sección enmarcada de color azul como se muestra e la figura. Se encuentra una la mayoría de las opciones ya mencionadas en la cual se expone en esta sección que son importantes o fundamentales en el funcionamiento y modificación en la investigación en el tomógrafo de rayos X

3.5.CONFIGURACION DEL HARDWARE

3.5.1. LA CALIBRACION

La calibración para una óptima radiografía o tomografía consiste en tener en cuenta el tubo de rayos X acorde a su experimento y objeto, en el laboratorio de física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS se tiene 5 tubos de rayos X como lo es el caso

de molibdeno, oro wolframio, cobre y hierro, al escoger el tubo, el otro parámetro es a partir del software para mover la cámara para que quede sincronizada con la pantalla fluorescente circular y por ultimo escoger el tamaño de ángulos que se van aplicar a la tomografía

USO Y SEGURIDAD DE LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

El uso del tomógrafo siempre debe ser supervisado por el encargado del laboratorio de física, en cuanto a los experimentos, otro tema es la salud hacia el personal, sea el estudiante o docente, teniendo en cuenta que la tomografía utiliza radiación ionizante por lo que la energía de los fotones extraen electrones de los átomos generando problemas en el ser humano como quemaduras o cáncer y mutaciones en el *ADN,* por eso el vidrio del tomógrafo computacional es blindado o contine plomo en el vidrio que ayuda a atenuar la radiación, otro parámetro de seguridad es que los vidrios corredizo tiene seguridad, la ventana de rayos X tiene un pasador de seguridad, en caso de que el tubo de rayos X este encendido no se pueda abrir por emergencia o por error, en cuanto a la ventana de la caja de experimentación tiene un circuito en la cual desconecta el tubo de seguridad en caso de que se pueda abrir, en caso del tubo de rayos X este encendido se puede colocar cerca del detector Geiger como se observa en la figura. por lo que se puede percibir radiación por lo que cuando esté en funcionamiento es recomendable estar 1 o más metros radiales del tomógrafo de rayos X.

Figura 135

Contador Geiger recibiendo radiación del tomógrafo con los vidrios completamente cerrados.



3.5.2. USO ADECUADO DEL TOMÓGRAFO COMPUTACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDA

Esta sección está dedicado al uso adecuado del tomógrafo computacional, el uso del instrumento mencionado siempre tiene que estar un profesional del laboratorio de física, y el manipula y está pendiente ya que él hace todo y maneja e utiliza el equipo en mi caso cuando hice el debido proceso de la solicitación y préstamo del mismo estabá el profesor encargado ANDRÉS R. BARÓN A. en la cual se describirán el paso o secuencia de acciones para el manejo y uso del tomógrafo computacional Con el acompañamiento del profesional del laboratorio.

Se abre con cuidado y delicadeza la puerta de la mitad del compartimiento de experimentación y se hace una limpieza respectivamente con un paño de seda seco para que no se pueda rayar ni estropear el dispositivo. Se verifica que la ventana que conecta la cámara de rayo X y el compartimiento del goniómetro este sin filtros, ni colimadores ya que no se utiliza en fenómenos de tomografía y radiografías, es necesario utilizar guantes de nitrilo. Se verifica que en

el goniómetro está la pinza de sujetacion adecuado para la rotación del cuerpo en estudio recordemos que el tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Sirve para la experimentación de difracción de rayos X, como la espectroscopia de rayos X entre otro experimentos, así como se puede observar en la imagen así que se retira con mucho cuidado en caso de tener el goniómetro para el experimento de bragg y pues al rotar la base se retira y se coloca el instrumento para la adecuación de su rotación en la tomografía. Seguido se introduce el material que se va estudiar Se retira el protector de la pantalla fluorescente con cuidado su sujetamiento es porque tiene bordes magnéticos y se adhiere a la pared metálica, seguido se cierra el compartimiento y se abre la compuerta donde se encuentra el dispositivo de grabación o cámara se retira los cables guardados o material que se encuentra allí con cuidado no es recomendable guardar cosas como cables u otros objetos ya que pueden dañar la cámara, pero son del mismo tomógrafo se guardan para que no se pierdan y se acomoda al tener dicho espacio mencionado

Se cierra las dos ventanas de vidrios la que se encuentra la de emisión de rayos X, y la de la caja de experimentación y el recipiente en la cámara y sea lista los cables necesario para su funcionamiento, se utilizan dos cables de poder y se conectan al tomacorriente uno para el tomógrafo de rayos X y el otro para la cámara, en el goniómetro se alista la muestra en la pinza sujetadora y desde la computadora se puede controlar propiedades y características de tomógrafo de rayos X como aumentar o disminuir la intensidad, o variar el ángulo de la muestra hasta definir si se quiere tomar una radiografía y generar una tomografía computacional.

Cuando todo esté listo se le informa al profesional del laboratorio o el mismo hace el proceso de verificación y un adecuado uso del tomógrafo de rayos X y el verifica que todos los pasos anteriormente mencionado seas correctos y adecuado ya que si se salta uno o se no se realiza con satisfacción puede afectar el dispositivo o dañarlo y como es un equipo muy costoso y su parte y construcción es de otro país puede que las piezas para su arreglo no sea efectuado próximamente o que quede inutilizable por eso son las recomendaciones tan severas y con rigurosidad

También hay que tener en cuenta que dicho dispositivo genera radiación ionizante en la cual es perjudicial en la salud causando enfermedades y si hay una larga exposición a la radiación puede ser letal es por eso por lo que es recomendable la distancia y la presencia de un profesional de laboratorio presencialmente.

Al conectar el tomógrafo de rayos X a portátil o computador asignado ya como lo mencionamos en el capítulo del manual se necesita que tenga unos parámetros establecidos como la memoria ram y su procesador para que adquieras las imágenes y se construya el objeto en 3D, se conecta los dos cables, se enciende el dispositivo de generador de rayos X y el portátil, hay que dejarlo unos cinco a quince minutos prendido ya que como estamos en la ciudad de Bogotá y el lugar es húmedo así que se interioriza en su interior y se genera arco por lo que se escucha ese sonido característico de humedad en dispositivos electrónicos, esto hace que las muestra de la tomografía no se aprecien bien,

Al dejar los quince minutos se puede decir que ya está listo se puede dar clic al programa de tomografía se aparecerá el inicio del programa como se muestra en el manual o como se muestra en la imagen (136)

Figura 136

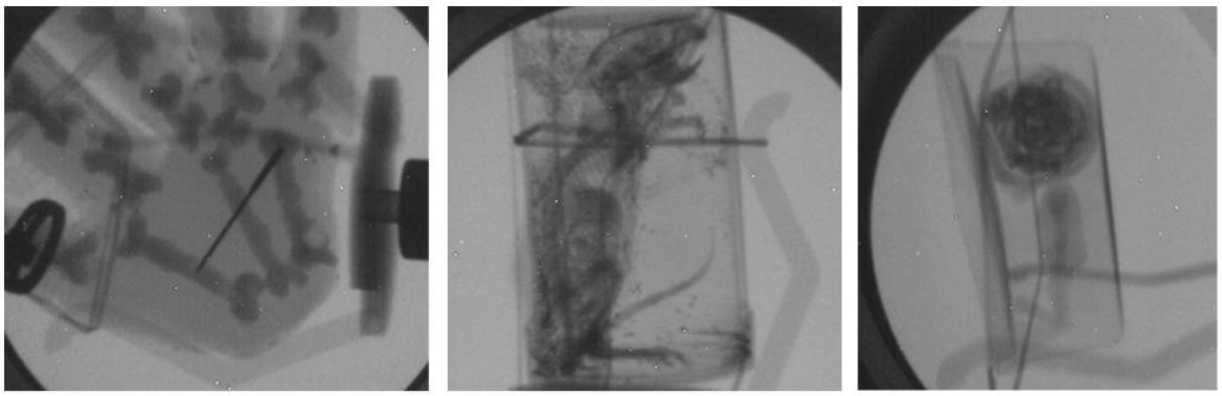
Icono de software tomograpy computer de lc didactic



y al darle clic en 2D se puede tomar una imagen o una radiografía al darle en 3D se puede generar una tomográfica del objeto que queremos estudiar en el kit de materiales que se pueda escoger en los estudiantes y docente interesado en la utilización del tomógrafo de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS para esta actividad se generó tres objetos para ello, como se muestra en la imagen 137.

Figura 137

Las radiografías propuestas fueron tomadas del kit de materiales propuesto en el capítulo 4. La radiografía de izquierda a derecha se empieza con la mano didactica, en el centro está un roedor y en la derecha el alíen con cerebro



3.5.3. LA MANO DE ANNA BERTHA ROENTGEN

La phantom didáctica de la mano de Anna Bertha roentgen es un objeto diseñado y adicionado en el kit de materiales para investigar la estructura de una mano didáctica con hueso y cartílagos y carne para entender la estructura anatómica de la mano. El propósito del nombre es del honor a la esposa de Wilhelm Conrad Röntgen en la cual descubrió los rayos X y experimento con la mano de su esposa así generando la icónica imagen de las primera radiografía en la historia de la física moderna como se muestra en la imagen 138.

Figura 138

Imagen tomada de ANNA BERTHA ROENTGEN (1833-1919): LA MUJER

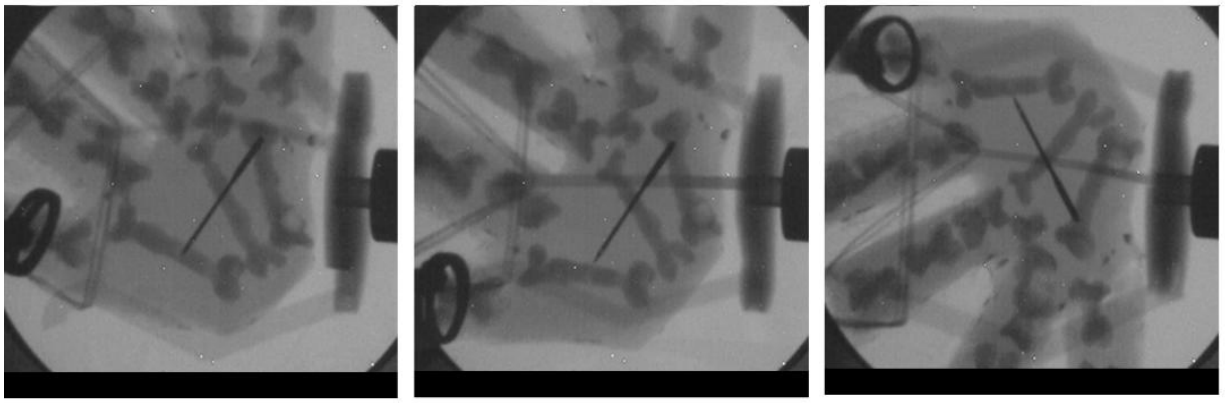


Nota. García, B. (2005). Anna Bertha roentgen (1833-1919): la mujer detrás del hombre (p.180). Revista Chilena de Radiología.

Ya que no se le da mucho protagonismo a la dueña de dicha mano en la cual se usó con fines científicos y académicos teniendo un total desconocimientos de la interacción radiación materia en parámetros de la radiación ionizante por lo que se realizó el phamtom y se realizaron radiografía que se muestra en la figura 139.

Figura 139

Radiografía de la mano didáctica, en la cual se puede apreciar un anillo, huesos y una aguja como objeto externo.

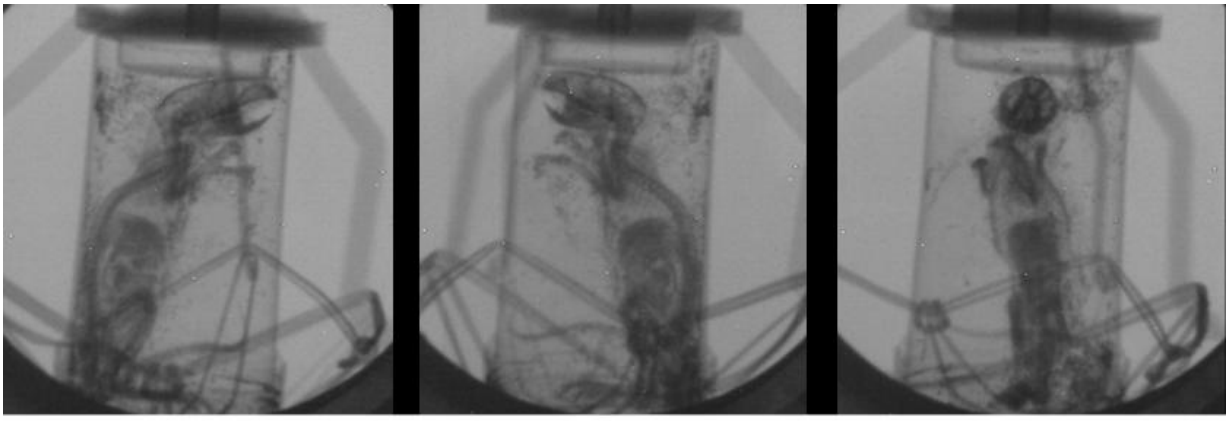


3.5.4. EL RATÓN DE LABORATORIO

El espécimen biológico que se anexo al kit de materiales e investigación para el estudio y didáctica de la tomografía computacional, su propósito es el estudio de la estructura ósea del ratón por lo cual podemos notar a simple inspección la forma de las costillas y su columna vertebral y su cráneo e intestinos y órganos como se muestra en la imagen 140.

Figura 140

Imagen de la radiografía del ratón en diferentes perspectivas



El cuerpo biológico se tiene unas recomendaciones para el personal que lo utilicen para su experimento e investigación son:

- No abrir el frasco en la cual está contenido el ratón
- No introducir algún elemento externo como líquido o a algún radiolúcido
- No dejarlo caer ya que podría romper o dañar la muestra como huesos o costillas
- No dejarlo al contacto directo o indirecto al sol o fuete de radiación electromagnética con un periodo largo de tiempo omitiendo en las ocasiones que se le aplique los rayos X

Nota: el ratón se encontró en la calle agonizando una noche lluviosa de en una calle de Bogotá la hipótesis de su muerte es atropello por parte de un vehículo automotor o que alguien lo encontró en su residencia y los golpeo y lo arrojo a la calle en este trabajo de grado no se mató intencionalmente ningún animal con el propósito de la investigación con el tomógrafo computacional

3.5.5. EL ALIENÍGENA Y SU CEREBRO INTERCAMBIABLE

El ultimo objeto propuesto para la investigación en la radiografía es el estudio de la anatómica y morfología cerebral instruido didácticamente para la investigación de la radiografía y tomografía como se muestra en la figura 141.

Figura 141

Imagen del alienígena que se puede intercambiar los cerebros con diferentes estructuras

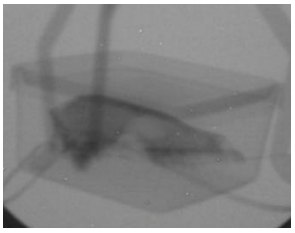


4. CONSTRUCCIÓN DE UN KIT DE MATERIALES PARA EL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN RADIACIÓN MATERIA EN EL TOMÓGRAFODE RAYOS X

En este apartado describiremos todo lo construido y adquirido para la creación de un kit presentado para el apoyo y servicio adicional al tomógrafo de rayos X en el que se presentará a continuación, así generado un valioso recurso didáctico y facilidad en el aprendizaje de la interacción radiación materia de rayos X, los dispositivos que se seleccionaron tiene la característica como su atenuación, su morfología, la diferencia entre materiales, objetos biológicos para estudiar su contenido.

Tabla 16

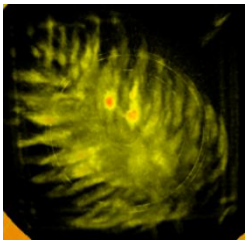
Descripción de cada uno de los compontes del kit de materiales

DESCRIPCION	FOTOGRAFIA	RADIOGRAFÍA O TOMOGRAFÍA
1. impresión en 3D de un cráneo animal. Al estar sumergido en cera puede simular como si fuera un fósil, generando, en conociendo su interior de tomografía conociendo su estructura y forma.		

2. piña de pino.

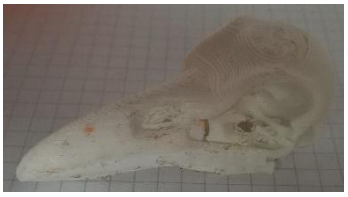
cuya semilla presenta una estructura interna por lo que se puede estudiar su interior por medio de la tomografía se puede agregar cera para encontrar diferentes coeficientes de atenuación

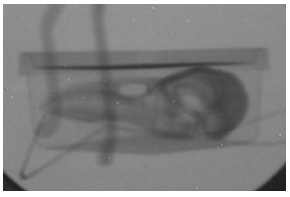




3. Impresión en 3D de un cráneo de un ave.

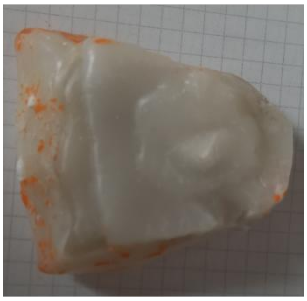
Su propósito es estudiar su interior ya que se puede encontrar estructura ósea frágiles a partir de la radiografía

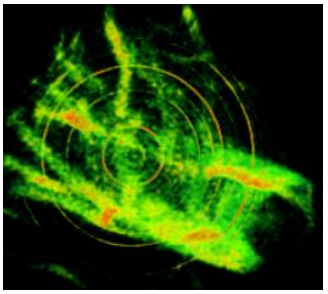




4. Objeto en medio de un material en la cual en su interior tiene forma de escorpión y ramificaciones.

Se utiliza para observar diferentes materiales como afecta la penetración de los rayos X

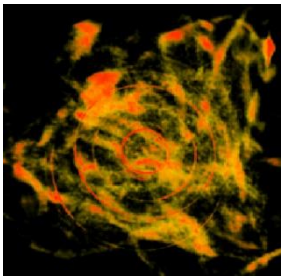




5.Estructura de ramificación inmersa en un material de cera

Modelo con dos materiales con estructura de ramificaciones para estudiar su estructura interna partir de tomografía.

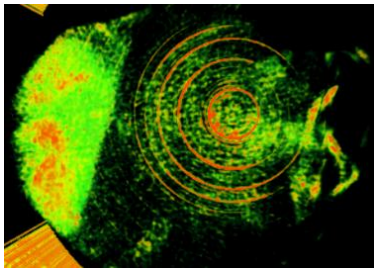




6.Estructura con morfología de un pescado con diferentes materiales.

El pez está formado con silicona cabeza y columna vertebral y es recubierto con cera para estudiar su interior por medio de radiografía

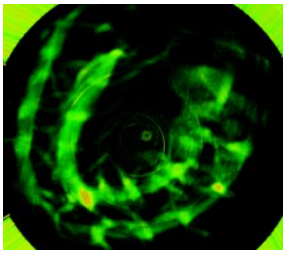




7. Estructura ciempiés con enfoque de sus patas.

El cien pies se realizó con silicona y su funcionalidad es estudiar la resolución de la imagen en la radiografía estructura finas y alargada de los pies

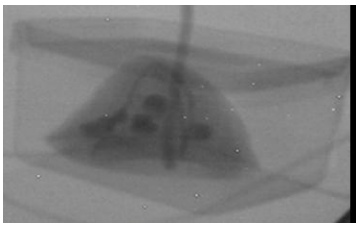




8.Estructura de una pirámide con estructura en su interior.

Modelo pedagógico con geometría formado por cera y en su interior con estructura compleja para aplicaciones en la arqueología

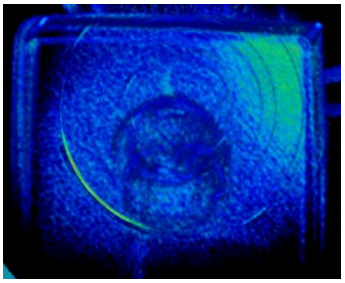




9. Objeto biológico de un escarabajo

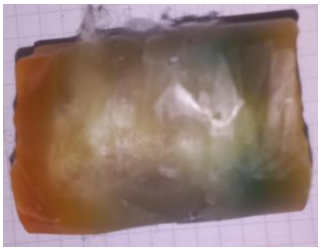
Se puede observar las estructura internas de un insecto en radiología y tomografía aplicaciones en biología.

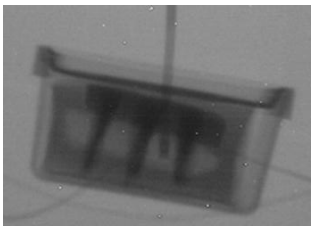




10. Estructura de un cuerpo en forma de dorso con sus costillas inmersos en diferentes materiales

Sirve para estudiar el contraste entre hueso y tejidos en imágenes con aplicaciones en física medica

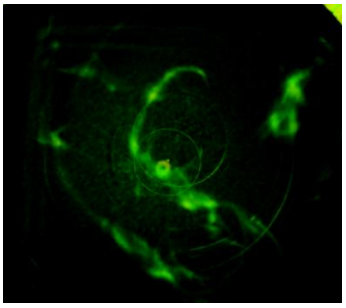




11.Lagartija disecado junto a un hámster en estado de gestación

Su objetivo es investigar el contenido interno de la lagartija por radiografía con aplicaciones en la biología

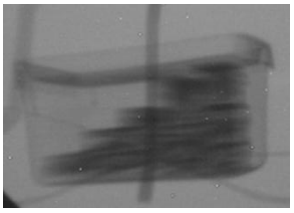




12. Estructura de escalera para observar la atenuación por longitud

Esta forma de escalera es para aplicarle radiografía de forma específica para comprender la ecuación de los rayos X por la distancia que penetra los rayos X en el objeto

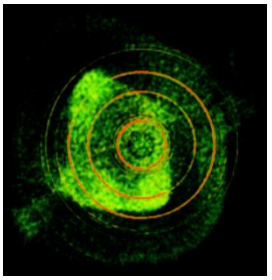




13. Un cuerpo sumergido en otro material

La forma del cuerpo es del símbolo griego que hace parte del escudo de la universidad distrital francisco José de caldas

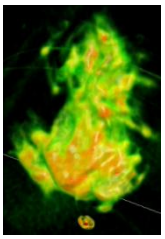




aplicaciones en estudio de física de materiales

14. Es un anfibio de investigación biológica.

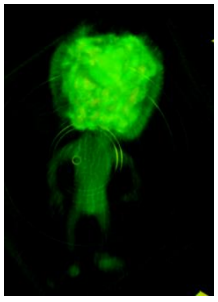




Es una rana para su estudio interno busca su estudio en su interior a partir de su componente entre hueso y tejido con aplicaciones en biología

15.Alien con cerebro intercambiable para su observación morfológica



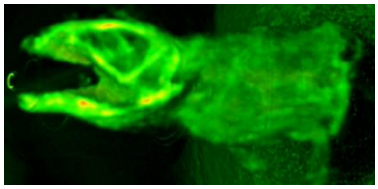


Modelo en la cual tiene varios cerebros intercambiables para su estudio interno del cerebro estudiando sus pliegues y surcos

Aplicaciones en física médica y neurólogos

16. Lagartija objeto biológico para estudiar su estructura





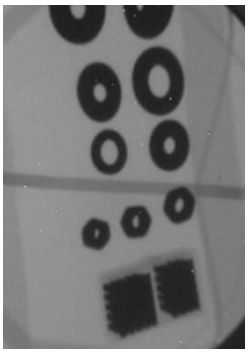
Es una lagartija disecada cuya utilización es estudiar su cuerpo a partir de radiología y tomografía

Aplicaciones en biología y vida silvestre

17.Placa con diferentes arandelas de radio interno y externo

Su estructura está diseñada para encontrar distancias desde la radiografía y tomografía y hacer comparaciones con medidas a partir de mediciones externas ya que el software lo permite para estudiar distancias y variaciones relativas



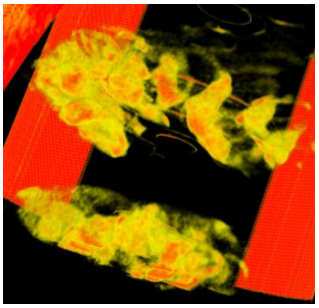


Aplicaciones en estructura mecánicas

18. Phantom de una mandíbula con dos materiales simulando los dientes

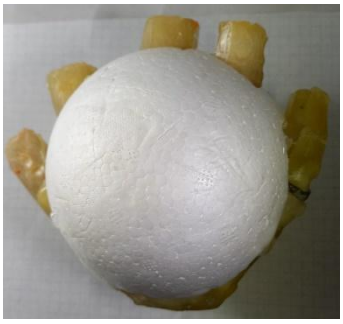
Phamton con materiales silicona y cera con estructura de una mandíbula y dientes

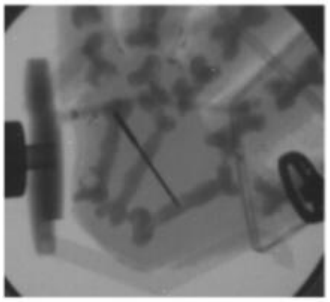




Aplicaciones en física médica y odontología

19. Phantom de una mano con tres diferentes materiales simulando la carne, hueso y un objeto externo

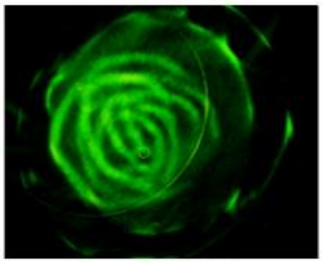




Phamton de la estructura de la mano con varios materiales con forma de hueso, objeto extraño *(aguja)* y un anillo Aplicaciones en física médica y traumatología

20.Objeto de forma espiral dentro de otro material

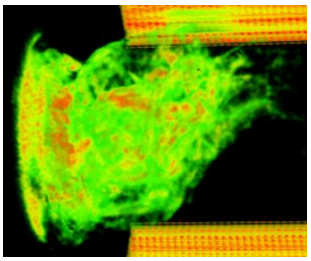




Estructura en forma de espiral de silicona cubierto de cera para estudiar su estructura con radiología sin intervención externa y sin dañar estructura

21.Cabeza de un pollo para fines de estudios radiológicos



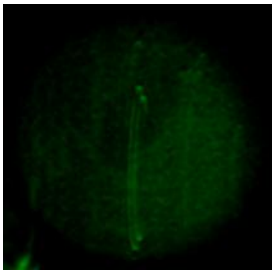


Permite observar la estructura ósea de la cabeza de un pollo con el pico y cráneo en estudios de tomografía y radiografía entendiendo la su morfología y estructura compleja.

Las aplicaciones en física médica y biología

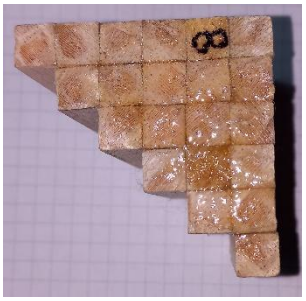
22. Rana inmersa en resina epóxica

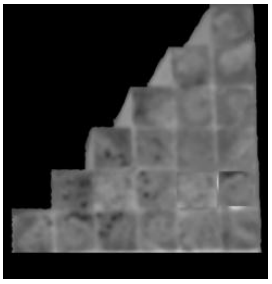




La rana inmersa en resina epóxica son dos sustancias de diferente coeficiente de atenuación, el motivo es su preservación, pero su observación en la radiografía no es muy evidente porque el tomógrafo no tiene esa capacidad de penetración de los rayos X.

23. Madera de forma rectangular formando una estructura de escalera

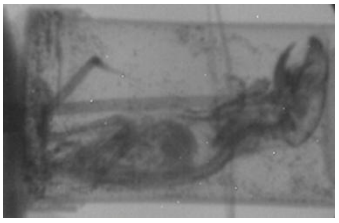




La estructura tiene su funcionalidad de estudiar la atenuación de los rayos X por medio de la distancia de penetración con un mismo material

22. Roedor, disecado para estudio de tomografía y radiografía





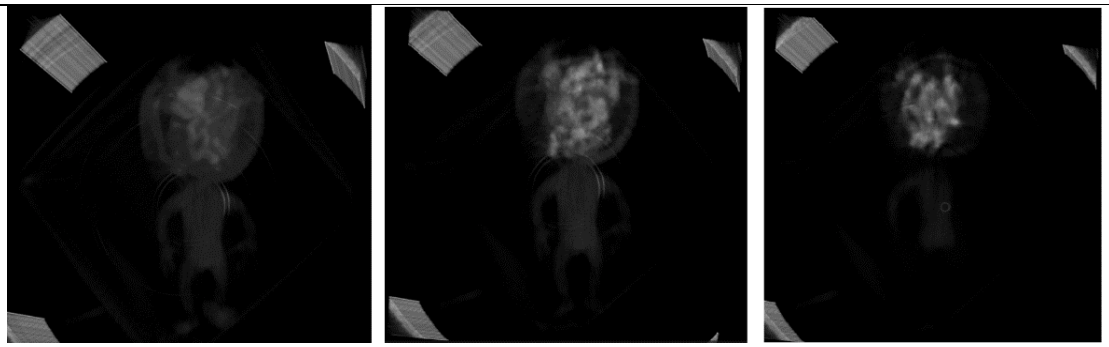
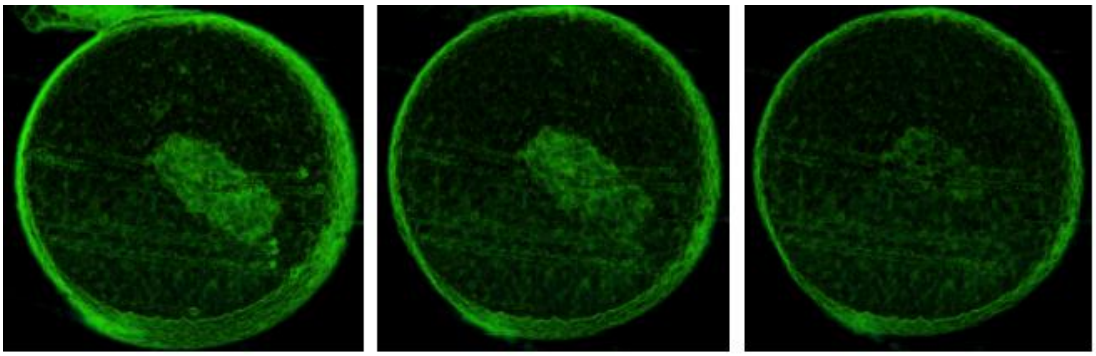
El obtener el roedor es muy didáctico para el estudio de su anatómica comprendiendo su estructura de hueso y tejido a partir de la diferencia de coeficiente de atenuación de los componentes

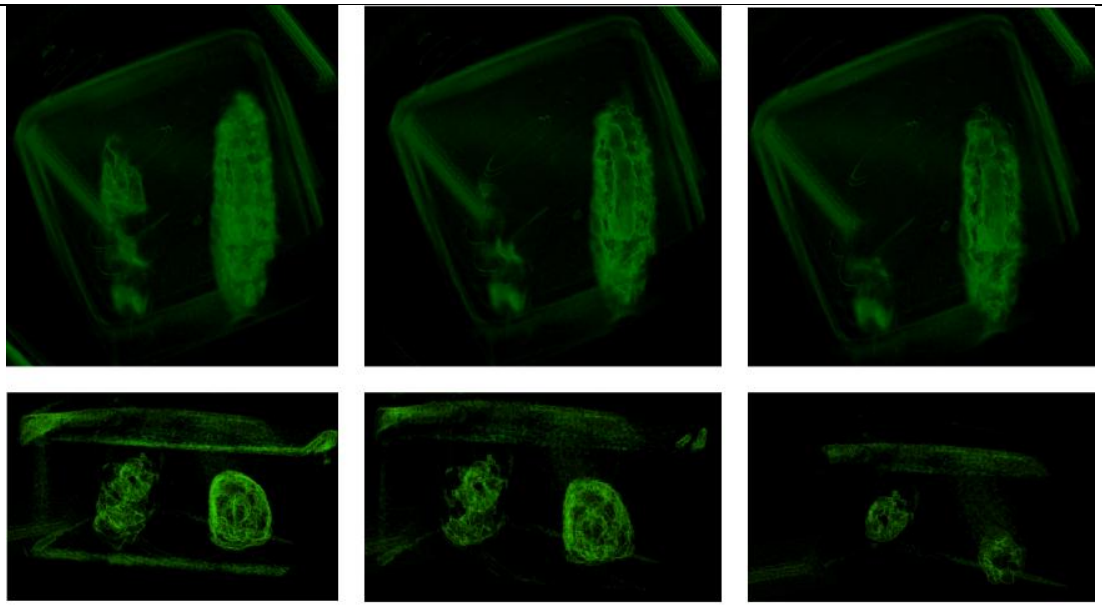
4.1.APLICACIONES DE RADIOGRAFÍAS Y TOMOGRAFÍAS DE LOS COMPONENTES DEL KIT DE MATERIALES

Al concluir con la terminación del kit de materiales se aplicó radiografía y tomografía para comprender su utilidad en la enseñanza de la tomografía computacional y que se preserve en el laboratorio de física para las carreras afines a su uso y exploración como se muestra la tabla 17.

Tabla 17

Aplicación de tomografía de algunos objetos del kit de materiales

ALÍEN CON DIFERENTES MORFOLOGÍAS EN EL CEREBRO

RANA INMERSA EN RESINA EPÓXICA

GUSANOS Y CAPULLO



LAGARTO

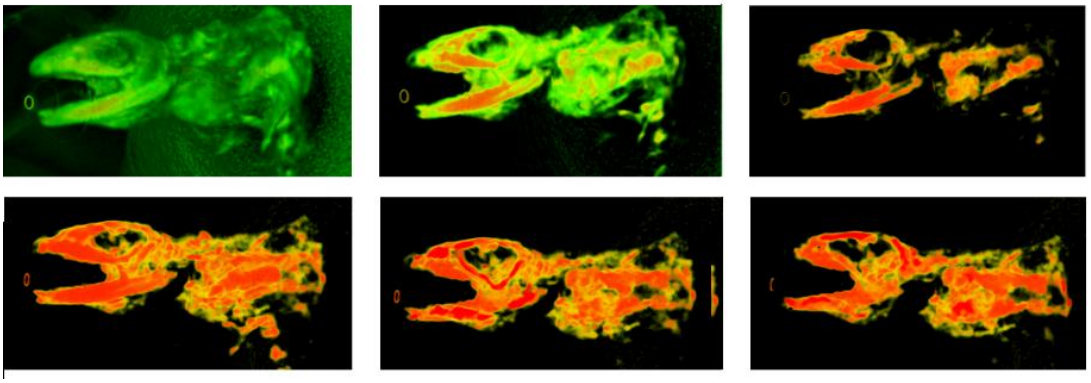
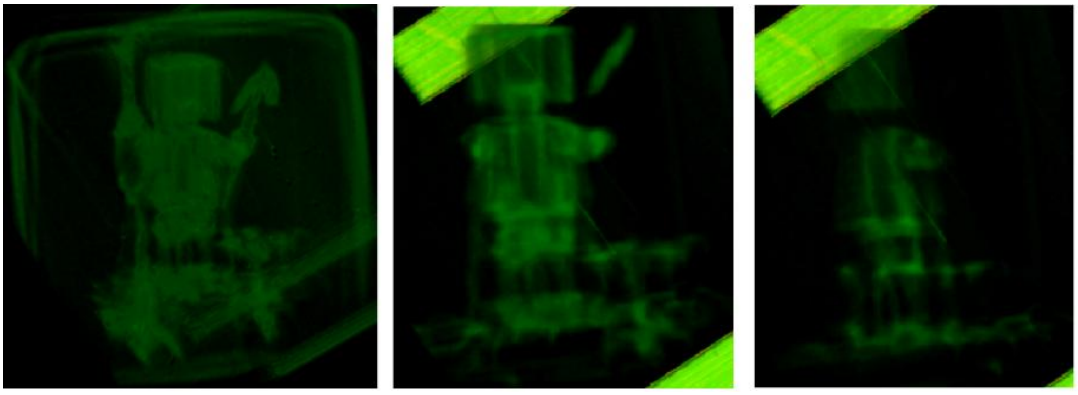
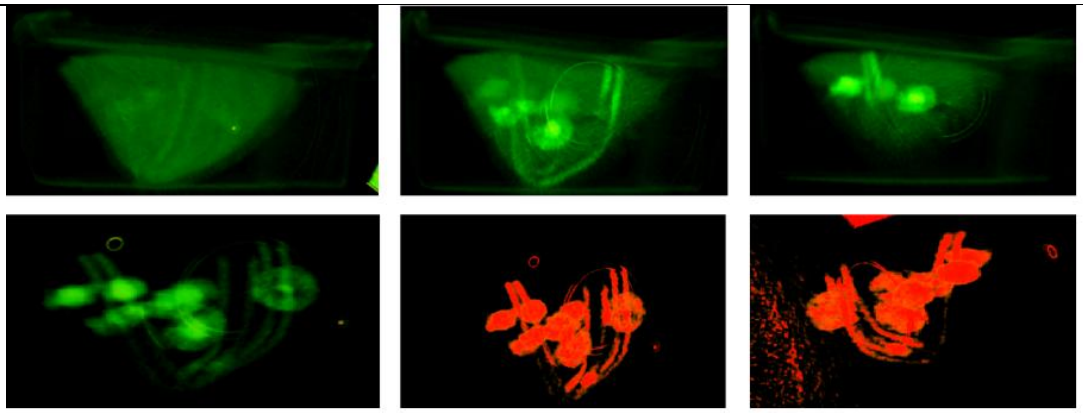


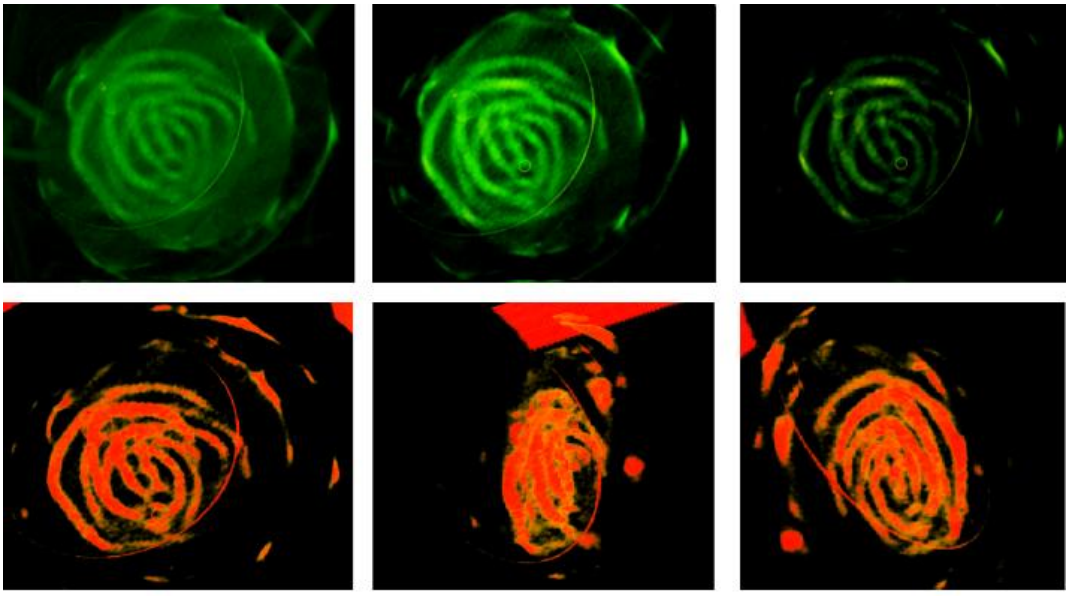
FIGURA DE LEGO



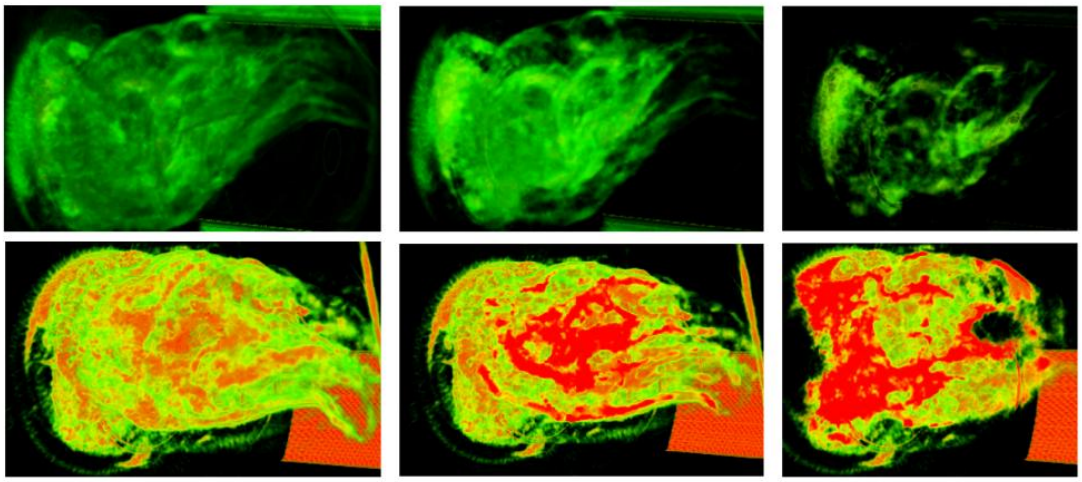
ESTRUCTURA DE PIRÁMIDE CON MATERIALES EN EL INTERIOR



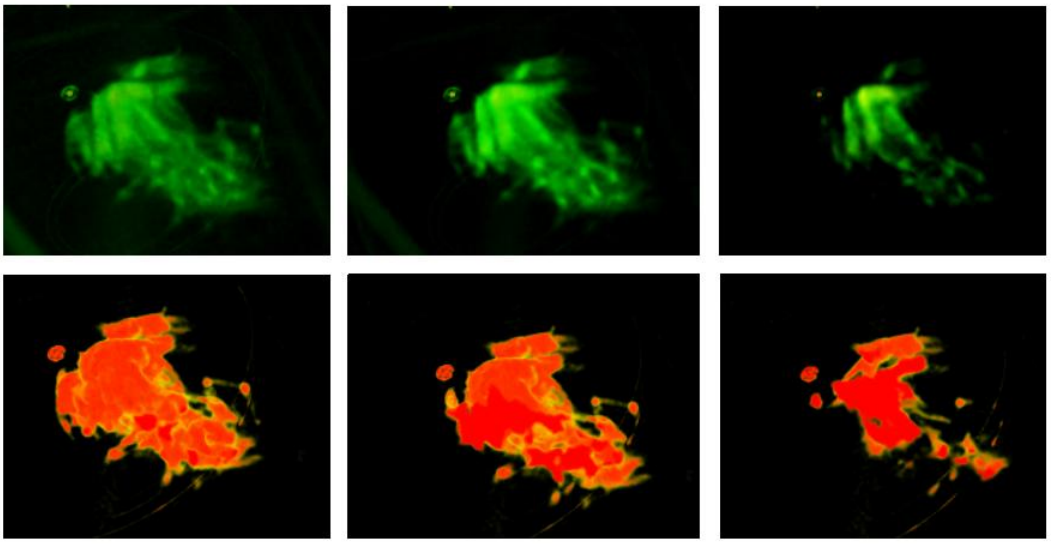
ESTRUCTURA ESPIRAL



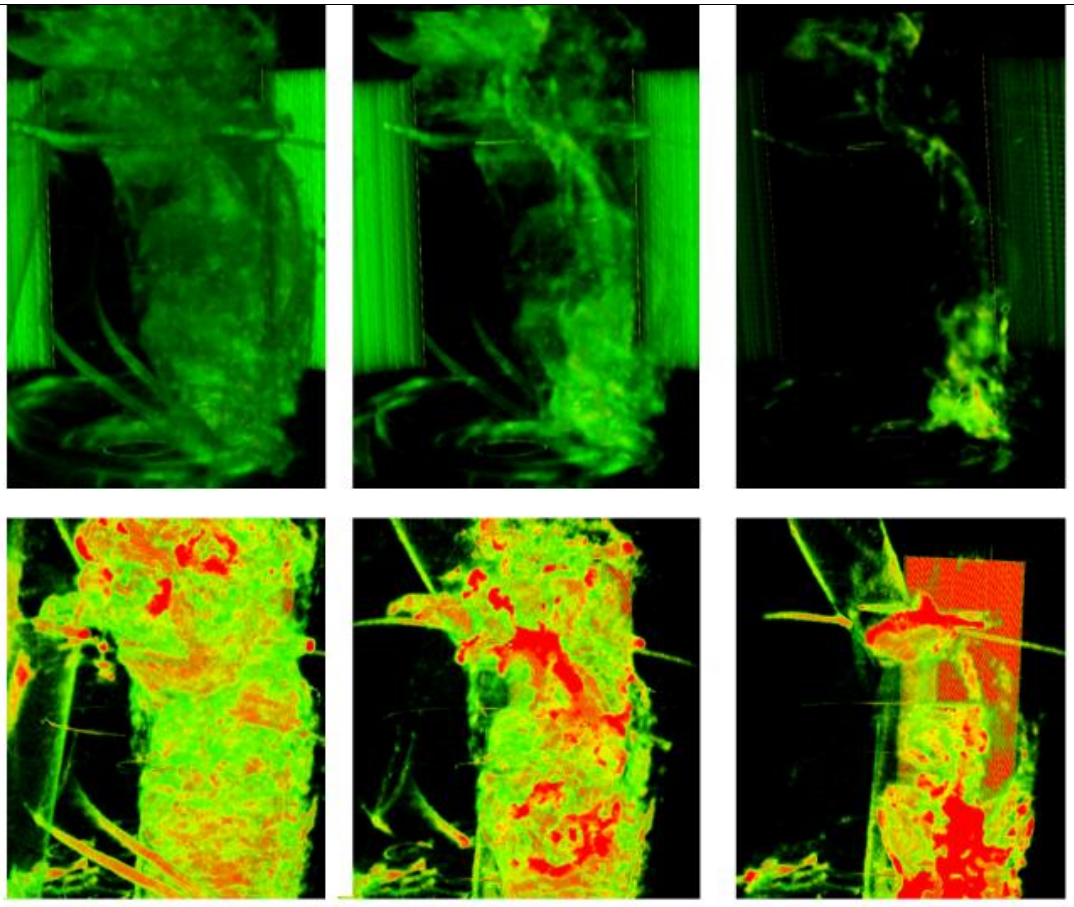
PICO DE GALLINA



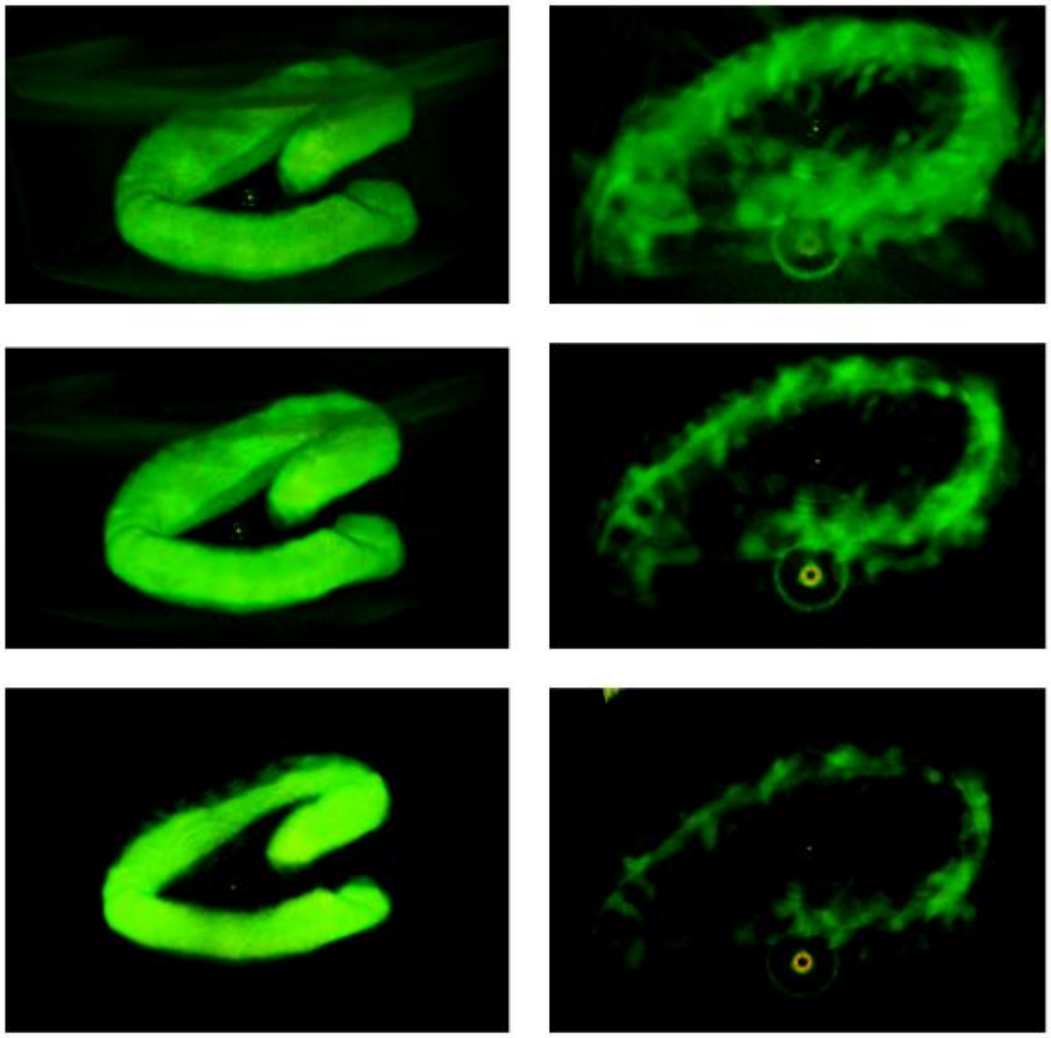
RANA



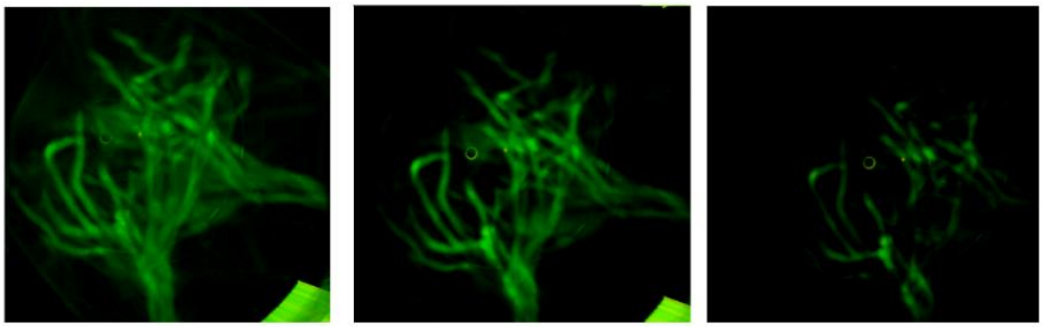
ROEDOR



GUSANO LISO Y CON PATAS



ESTRUCTURA CON RAMIFICACIONES



El propósito del kit de materiales tiene diferentes enfoques aplicados en el tomógrafo con un total de 23 objetos a disposición del laboratorio de física para su uso, sus diferentes enfoques o

clasificación está dada por: estudio de fósiles el # 1 del kit de materiales, estructura y morfología # 2,4,5,6,7,13,15,17,20 arqueología #8, anatomía y biología: #9,10,11,14,16,18,19,21,22 y atenuación por distancias del mismo material #12,13.

Las diferentes aplicaciones que tiene la radiografía y la tomografía son diversas las diferentes ramas de la ciencia como la medicina y ciencias de la salud en el estudio para saber el estado de los hueso o órganos internos después de un accidente, dificultad de los pulmones, detecciones de tumores, detección de caries dentales, objetos extraños, en veterinaria y biología como estructura y diferentes partes óseas de los animales, arqueología y antropología en estudio interna de una tumba de una momia o dentro de las pirámides o civilizaciones sin descubrir, física de materiales en la soldadura en la construcción y estructura atómica de los materiales entre otras sin fin de diferentes ramas de la ciencia o utilidad humana por lo que el kit de materiales busca tener un amplio enfoque para su utilización en la tomografía y radiografía.

Por lo que se generó dos enlaces que contine todos los objetos que se le aplicaron radiografías de 0° a 359° y tomografía

Enlace 1: https://drive.google.com/drive/folders/15lYImvjQpUzD6it76zeuqg7bOzKXlcxd?usp=drive_link

Enlace 2: https://drive.google.com/drive/folders/1w8PR5iW6YBu2dr8uCD_ta7Q-rYAkkxTf?usp=sharing

4.2. LÁMPARA PARA VISUALIZACION DE RADIOGRAFIA CONVENCIONAL

Para el apoyo de las actividades propuestas en este trabajo se construyó una lampara que pudiera visualizar las radiografías convencionales para ver mejor laS imágenes y comprender las

atenuaciones por las diferentes materiales que contines los objetos a estudiar, en la búsqueda de las radiografías se buscó con ayuda de familiares y personas allegadas, para tener un pequeño repositorio, que contiene una radiografía del roedor del kit de materiales , la cabeza de un niño de 5 años, y panorámicas de la dentadura de hombre y mujer en la totalidad de ocho radiografías convencionales como se muestra en la figura (142).

Figura 142

Construcción de la lámpara para radiografía convencional y repositorio de radiografías

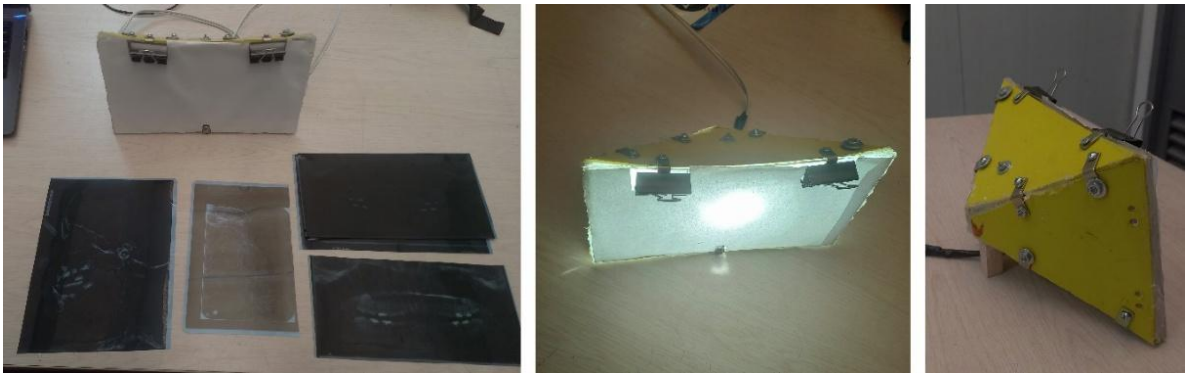


Figura 143

Utilización de la lampara con diferentes radiografías, de izquierda a derecha cabeza de niño, roedor del kit de materiales y una panorámica dental



En la construcción del kit de materiales se empezó después de la aceptación del *ptg* utilizando diferentes materiales, uno de ellos es la utilización de la resina epoxica teniendo en

cuenta su preservación para su uso extendido, pero era muy densa y su coeficiente de atenuación muy alto por lo que en la radiografía y demás aplicaciones de los rayos X en el tomógrafo el objeto era opaco por lo que se descartó, igual en el kit de materiales #22 se encuentra una rana sumergida de este material, el objeto que entendimos que este medio no era viable fue la sumersión de un cangrejo y la cabeza plana de un bagre.

También otro factor es el tamaño, el que sea grande, no cabe en el interior de la percepción de la pantalla fluorescente, un ejemplo una parte de una quijada de zorro o un perro salvaje encontrado en el campo en el Tolima, aunque en formato radiografía si se puede percibir una parte del hueso y los dientes, otro factor que se tuvo en cuenta es el peso del objeto, ya que podría dañar el goniómetro eje que hacer rotar el objeto para su tomografía, por lo que es un sistema susceptible a daños en su calibración y funcionamiento como el objeto que se descartó de un caparazón de tortuga, y otra de otro material.

Por lo que se optó por materiales que fueran traslúcidos y liviano y no de gran tamaño, por lo que se decidió por materiales como la parafina, construcciones con silicona para superficies no porosas y plastilina.

4.3.CONSTRUCCIÓNN Y PLANEAMIENTO DEL VIDEO PARA EL APOYO DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X

En apoyo para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, se realizó un video con el nombre de: ***Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado*** y que se puede encontrar

en el siguiente link: https://www.youtube.com/watch?v=CCkkcbd7jWY (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2024)



Video: Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado en apoyo en actividades para la enseñanza en el tomógrafo

El video tiene una duración de nueve minutos y trece segundos (9:13) que tiene una secuencia empezando con el encendido del dispositivo, después se parte en tres secciones el tomógrafo para mejorar la explicación, la primera parte como el panel de control y el tubo de rayos X, la otra sección es la caja de experimentación y el goniómetro y la última sección donde se encuentra la cámara que se describirá a continuación del video:

En la primera sección se empieza hablando del panel de control, al explicar cada uno de los botones de importancia a la tomografía y radiografías, como el botón de la diferencia de potencial eléctrico ***(voltage)*** y la perilla variable cambiando sus valores, que tiene un rango de 0 a

35 en kilo electronvoltios (keV), el siguiente botón es el ***(amperaje)*** que al pasar por el filamento en la cual se genera la nube de electrones tiene un rango de 0 a 1 mA, próximo botón que se explica es del tiempo para que un ángulo se cambie en el goniómetro del objeto dentro de la caja de experimentación, el otro botón es para la variación de parámetros en la rotación en el goniómetro, este botón es esencial para el estudio de la cristalografía, ya que se utiliza radiación ionizante y que tiene un detector de radiación que hace que rote alrededor del objeto y el ultimo está relacionado con los ángulos descrito en el botón anterior en cual es el límite del ángulo del detector.

Hay que tener en cuenta que muchos más botones por lo que el video no se explica ya que se buscaba ser un video tutorial resumido e importante en la experimentación del tomógrafo de rayos X , después se describe el recipiente donde se emite los rayos X, está en un lugar donde se hay un vidrio corredizo que esta blindado, se menciona que el sistema tiene un mecanismo muy deficiente que la energía propuesta para la emisión de los rayos X es de 99% se convierte en calor y el 1 % en radiación ionizante por lo que es importante un sistema de refrigeración como un disipador de calor y un extractor del mismo.

Seguido se extrae el tubo de rayos X, en la cual está al vacío y se explica sus componentes describiendo el filamento que al pasar una corriente eléctrica, este a su vez se calienta y emite radiación electromagnética del rango visible, que alumbra y emite luz también genera una nube de electrones, hay otro campo electromagnético que lo genera una diferencia de potencial como se menciona de 0 a 35 keV esto interactúan con los la nube de electrones y hace que aceleren hasta interaccionar con el material de impacto de rayos X, emitiendo rayos X por medio del mecanismo de radiación de frenado y fotones característicos, el material de impacto son constituidos con determinados metales como el molibdeno, oro, wolframio, cobre y hierro.

En la segunda sección en encuentra la cámara de experimentación que en su frente esta una puerta de vidrio corrediza y también blindado con plomo para que absorba la radiación y no se emite a fuera del tomógrafo, también tiene una la puerta corrediza tiene un circuito electrónico que se interrumpe para la protección del usuario, entre las dos secciones se encuentra un orificio donde se pasa la radiación de los rayos X de un lado a otro, en el orificio se puede agregar filtros y colimadores para cada experimentación recordemos que el tomógrafo también sirve para otros experimentos como la cristalografía, en el centro se encuentra el goniómetro que se le agrega el objeto para la experimentación a partir de una pinza de sujetacion para su rotación en la parte del lado se encuentra una pantalla fluorescente y también se puede agregar el riel de deslizamiento para colocar objetos o cámara más modernas.

En la **SECCIÓN 3** se encuentra el recinto oscuro para la recepción de información en formato de imagen, de video en este recinto que esta oscuro porque hay una cámara que se enfoca a la pantalla fluorescente que une la sección de la cámara de experimentación y la cámara de video que graba la pantalla, teniendo encuentra la propiedades de la pantalla que absorbe radiación de un determinada energía o frecuencia y lo emite en otras diferentes radiaciones, en nuestro caso la pantalla absorbe los rayo X en su totalidad con los rayos X atenuado al penetrar en el objeto y absorberlo en la pantalla esta lo emite como un tono de grises que se puede diferenciar a partir de que cada material tiene diferentes propiedades de atenuación pudiendo diferencial uno del otro al tener objetos con diferente partes internas.

Al conectar la cámara y el panel de control al computador donde se tiene un software que puede controlar el tomógrafo y puede recibir la señal de la cámara se hace un experimento con un roedor que pertenece al kit de materiales, al encender el tomógrafo y la cámara podemos ver en la pantalla del computador, una radiografía del roedor, otra forma de verlo es al abrir el recinto de

video, no hay peligro en la radiación ionizante por lo que se pueda apagar las luces alrededor y se puede ver las atenuaciones en la pantalla de florescencia y pudiendo grabar los archivos como imágenes o radiografía digital, después se le aplica una tomografía al roedor , que es un proceso en la cual se recibe la información del roedor en cada tiempo, después se rota el roedor y se recibe la información hasta considerar un barrido de ángulos de rotación hasta 180° a 360°, desde el software después de la tomografía se pueden variar parámetros como la trasparencias y el contraste o cortes trasversales al eje perpendicular a la pantalla, ya que se puede rotar a diferentes ángulos y eliminar dichos corte pudiendo ver en su interior del objeto.

Al final se da agradecimiento al laboratorio de física y a las personas que pudieron ser posible la utilización del tomógrafo, para una mejor comprensión de la secuencia del video se realizó una línea de tiempo que se muestra en la figura 144.

Figura 144

Línea del tiempo del video: Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado

LINEA DE TIEMPO DEL VIDEO:

GUÍA PRÁCTICA: MANEJO Y FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO

PANEL CONTROL

Descripción de las funciones importantes en la tomografía como:

- voltaje (keV).
- Amperaje (Ma).
- tiempo del cambio de ángulo (Δt) .





PRODUCCIÓN DE RAYOS X.

- Efecto termoiónico.
- Energía cinética de los electrones.
- Radiación de frenado Bremsstrahlung.
- Emisión de fotones característico.

CAJA DE EXPERIMENTACIÓN.

- Riel de deslizamiento.
- Objeto a experimentación.
- Vidrio con plomo (blindado).
- Circuito eléctrico de seguridad.





GONIÓMETRO

- Medición de ángulos con precisión.
- Pinza de sujetacion.
- Objeto de experimentación.
- Objeto en rotación.



PANTALLA FLUORESCENTE.

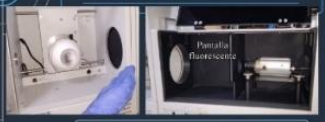
- Absorbe radiación y de una energía y le emite de otra energía
- Genera imagen a escala de grises del objeto a partir de los rayos x





RECINTO DE CÁMARA DE VIDEO

- Captura la radiografía computacional
- Captura la radiografía a cada ángulo para la tomografía.



RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA

- Imagen de un objeto partir de la atenuación de la intensidad de los rayos x
- Imagen en 3D a partir de cortes y reconstrucción de imagen para estudiar su interior



SOFTWARE DE TOMOGRAFÍA DE RAYOS X.

Manipulación y configuración del tomógrafo
Variación de parámetros la tomografía trasparencia y contraste

Para más información visita el video: https://www.youtube.com/watch?v=CCkkcbd7jWY&t=36s

4.4. TRASCRIPCIÓN DE LA VOZ DEL VIDEO GUÍA PRÁCTICA: MANEJO Y FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFO COMPUTARIZADO

También se realizó una trascripción de la voz del video con ayuda de la extension ***Glasp Chrome Extension*** que se muestra a continuación: **Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado** y el enlace lo puede encontrar en https://www.youtube.com/watch?v=CCkkcbd7jWY (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2024)

Transcripción: encendido en suiche, panel de control producción de rayos X,

(00:02) [Música] (conexión al tomacorriente al tomógrafo) para el funcionamiento lo primero que hacemos Es enchufar el tomógrafo al toma corriente y posteriormente encender el switche que está al costado también está la ficha técnica [Música] podemos observar el tomógrafo computacional de la universidad, (panel de control) en la parte principal encontramos el panel de control que tiene funciones importantes que podemos Modificar (Diferencia de potencial eléctrico (U)) el botón que puede variar la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo se puede variar de 0 a 35 keV [Música] (Corriente del filamento)el siguiente este botón tiene la

(01:01) funcionalidad de variar el amperaje de la corriente que pasa por el filamento que va desde 0 a 1 miliamperios con una variación de 0.01 (variación del tiempo de un ángulo a otro) este botón sirve para determinar El delta del tiempo de la variación de un ángulo a otro que va de 0 a 999 segundos con una variación de 1 segundo, el siguiente botón sirve para configurar el

incremento de la del ángulo [Música] y el último sirve para configurar los ángulos del goniómetro para la experimentación en cristalografía [Música] Este es el área de producción de los

(02:05) rayos X que se maneja en el tomógrafo, este mecanismo es muy deficiente ya que la energía para producir los rayos X el 99% se convierte en forma de calor y el 1% de emisión de radiación electromagnética en el rango de los rayos X, por lo que se tiene un sistema de refrigeración con un disipador de calor y un ventilador para que no se dañe sus componentes el mecanismo de emisión de rayos X empieza con el tubo de rayos X, que está al vacío para evitar interacciones con las moléculas del medio para evitar Fenómenos físicos o

(02:50) químicos que podrían interferir en la producción e intensidad de los rayos X ,(Tubo o de rayos X) por lo que el tubo de rayos X consiste en dos partes la primera es el cátodo donde está el filamento que al pasar una corriente eléctrica aumenta su temperatura hasta emitir electrones y radiación electromagnética en el rango del espectro visible, al emitir electrones y estar en el medio la diferencia de potencial electromagnético hace que los electrones aceleren adquiriendo energía cinética hacia el ánodo que está hecho de un material característico como el molibdeno y otros materiales

(03:26) los electrones al interaccionar con la superficie del material de impacto o blanco hace que los electrones cambien su dirección y velocidad emitiendo radiación electromagnética conocida como radiación de frenado en el rango de los rayos X también hay un fenómeno en el que el electrón interacciona con el átomo del material ionizando solo y que otro electrón salte a ocupar su nivel emitiendo un fotón característico haciendo que se emitan unos picos de energía los cuales son intrínsecos de cada material y haciendo que su espectro electromagnético sea único

(04:02) [Música] en nuestro laboratorio encontramos (Diferentes tubos de rayos X) molibdeno, oro, wolframio, cobre Y por último hierro [Música] en la cámara de experimentación se encuentra un vidrio que se puede mover y se puede observar hacia el interior este vidrio está blindado para la protección del usuario en la cámara de experimentación está conectada el costado con un tubo de rayos X por una abertura que sirve para colocar filtros o colimadores en la parte del frente se

(05:07) encuentra la pantalla fluorescente y en la mitad podemos encontrar el goniómetro y el riel de desplazamiento que consiste en colocar objetos que se puedan desplazar por el mismo también está la pinza sujetadora que adhiere al objeto y se introduce en el para el experimento y ejemplo del día de hoy usaremos ese roedor en la cual aplicaremos una radiografía y tomografía lo sujetamos con la pinza y lo introduciremos dentro del goniómetro también se puede deslizar dentro de la caja de experimentación [Música] en la sesión de la cámara de video que

(06:09) está hermética y es de color negro podemos observar la pantalla fluorescente donde se genera la imagen y la cámara que adquiere la información para generar la radiografía y posterior tomografía [Música] al costado nos encontramos el portátil o computador que se conecta por medio del cable al panel de control y la cámara en el cual podemos visualizar la información que nos proporciona el tomógrafo y su manejo [Música] Al haber terminado la explicación de cada uno de los componentes del tomógrafo vamos a realizar un ejemplo

(07:03) que va a ser el roedor lo sujetamos a la pinza y Seguido lo sujetamos en el goniómetro cerramos la puerta de la sesión de la cámara de video, cerramos la puerta del compartimiento de experimentación y la cámara de rayos X, hay que tener en cuenta que la puerta tiene un sistema de seguridad en el cual se puede interrumpir la fuente de rayos X si se abre por

protocolos de seguridad en la salud del usuario por el otro costado o al frente se encuentra la pantalla fluorescente que se convierte la radiación de rayos X en luz visible

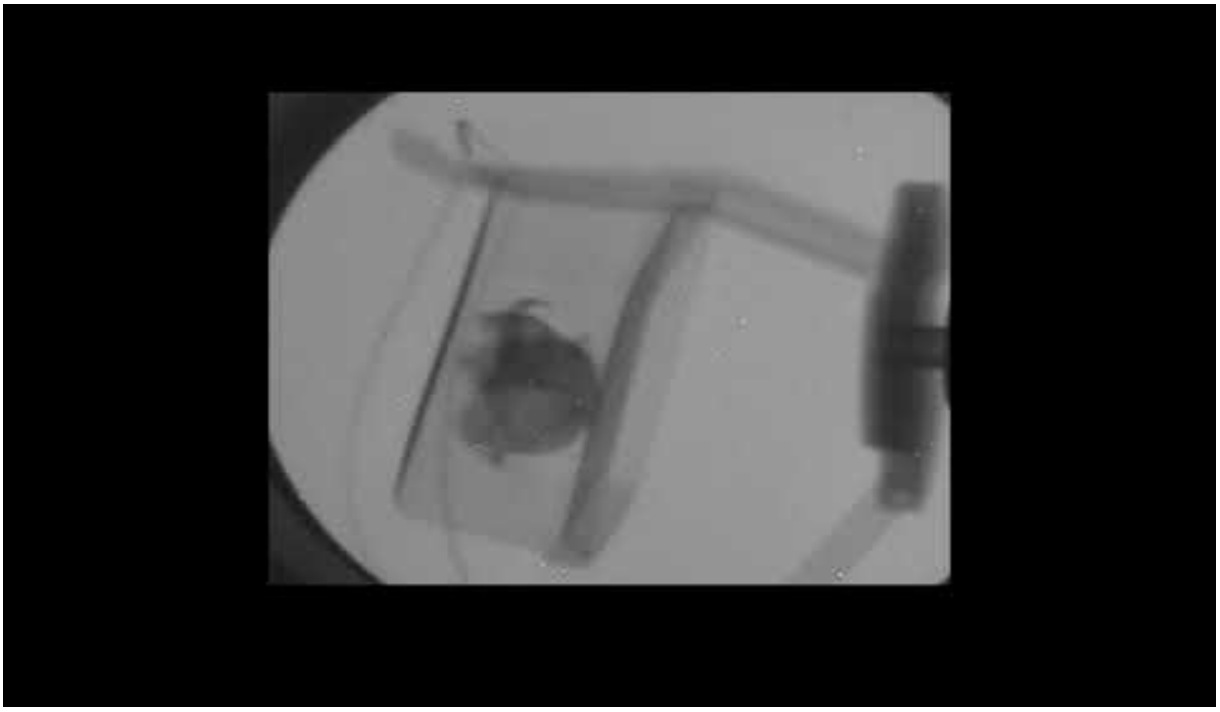
(07:41) al observar los rayos X emite la luz en el espectro visible con intensidades variables creando una imagen formada por áreas claras Y oscuras que representa la interacción de los rayos X con el objeto examinado formando la imagen a partir de rayos X conocida como radiografía desde otro punto de vista al empezar la tomografía podemos ver el funcionamiento del tubo de rayos X y la rotación del objeto por lo que el computador adquiere las imágenes y proyecciones para la reconstrucción de imagen que conformaría la tomografía por lo que podemos

(08:20) visualizar la reconstrucción en tiempo real al paralelo de la rotación del roedor la rotación del objeto va de 80° a 360° y 720° gr de rotación para cualquier objeto que se quiera experimentar desde el computador podemos observar la tomografía del objeto y una de las propiedades del Software es que podemos manipular la rotación de este la transparencia e intensidad del objeto por lo que podemos visualizarlo más traslúcido u opaco

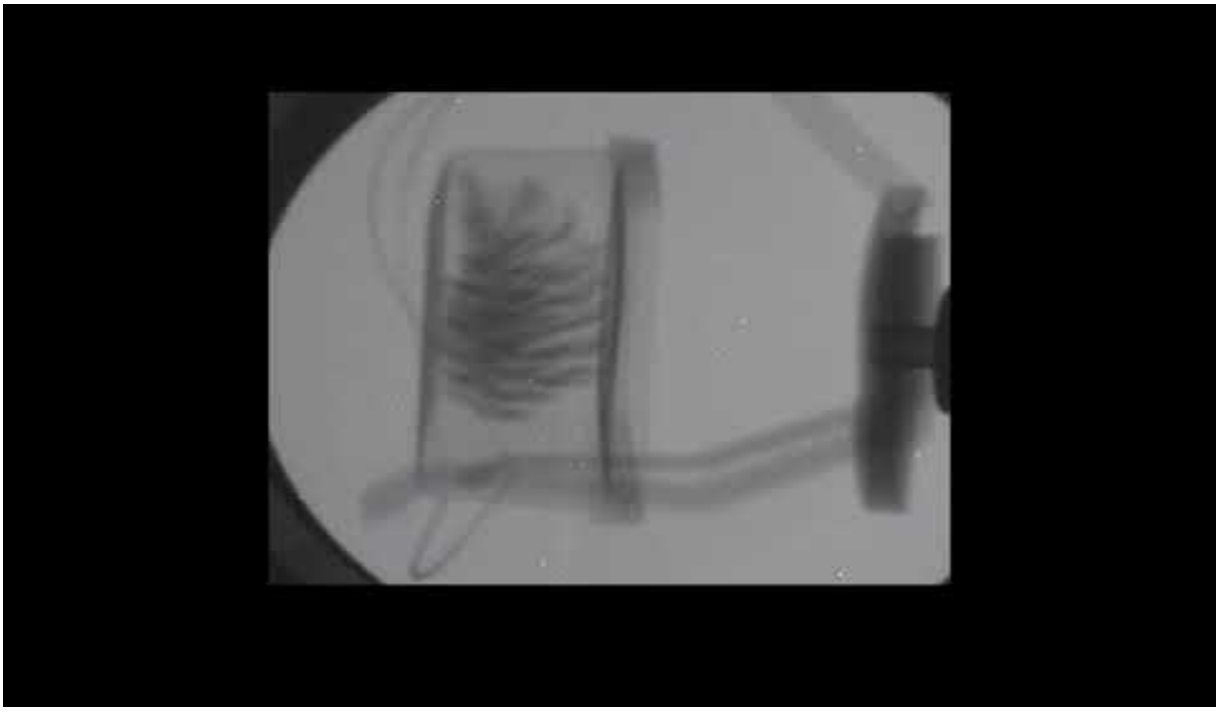
Agradecimientos al laboratorio de física

También se realizó videos de cada uno de los objetos del kit de materiales, donde se muestra la imagen o fotografía del objeto, radiografías digitales de cada proyección es de 0° a 359° y Tomografía del objeto en Reconstrucción de video xy, Reconstrucción de video xz y Reconstrucción de video zy:

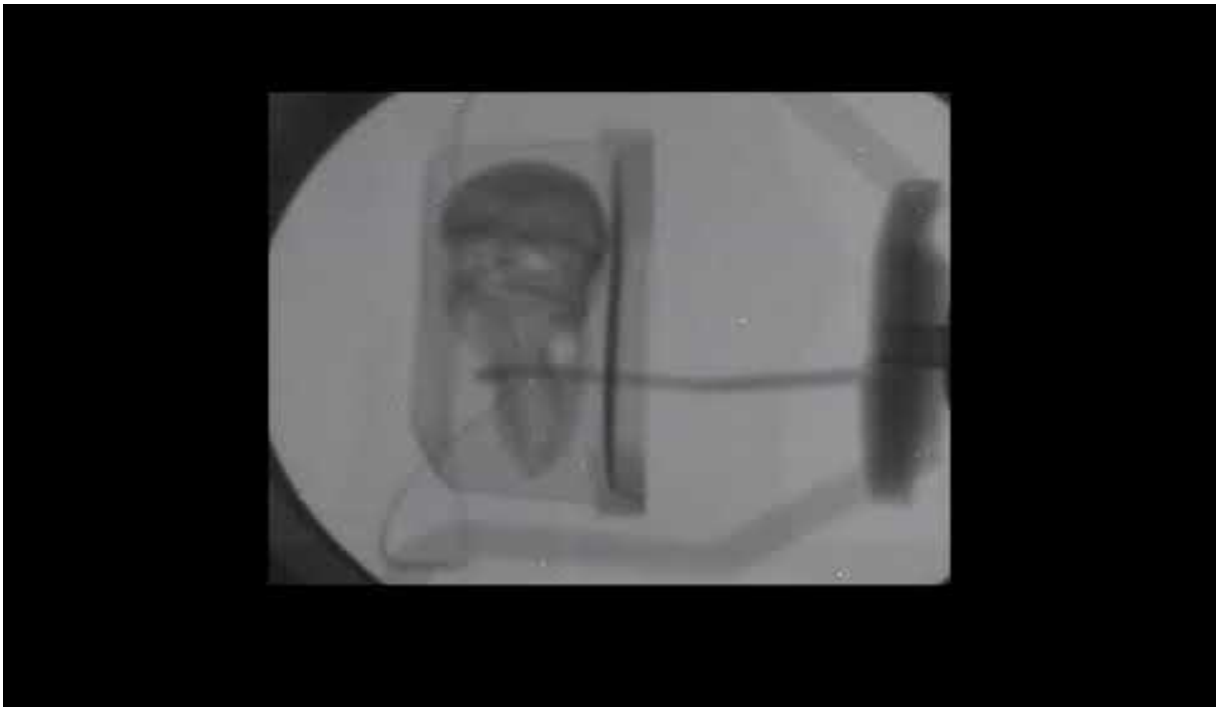
Video 1 **OBJETO #1 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO** (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



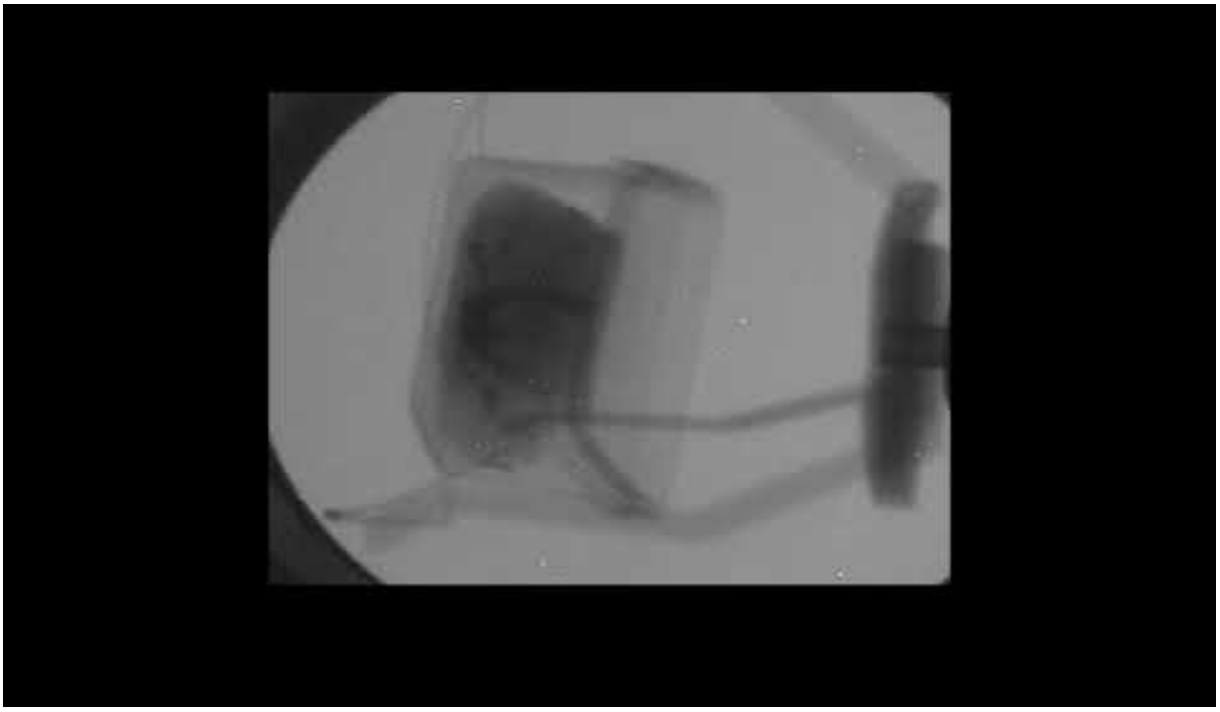
Video 2 **OBJETO #2 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/4Akq9oj1IkE (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



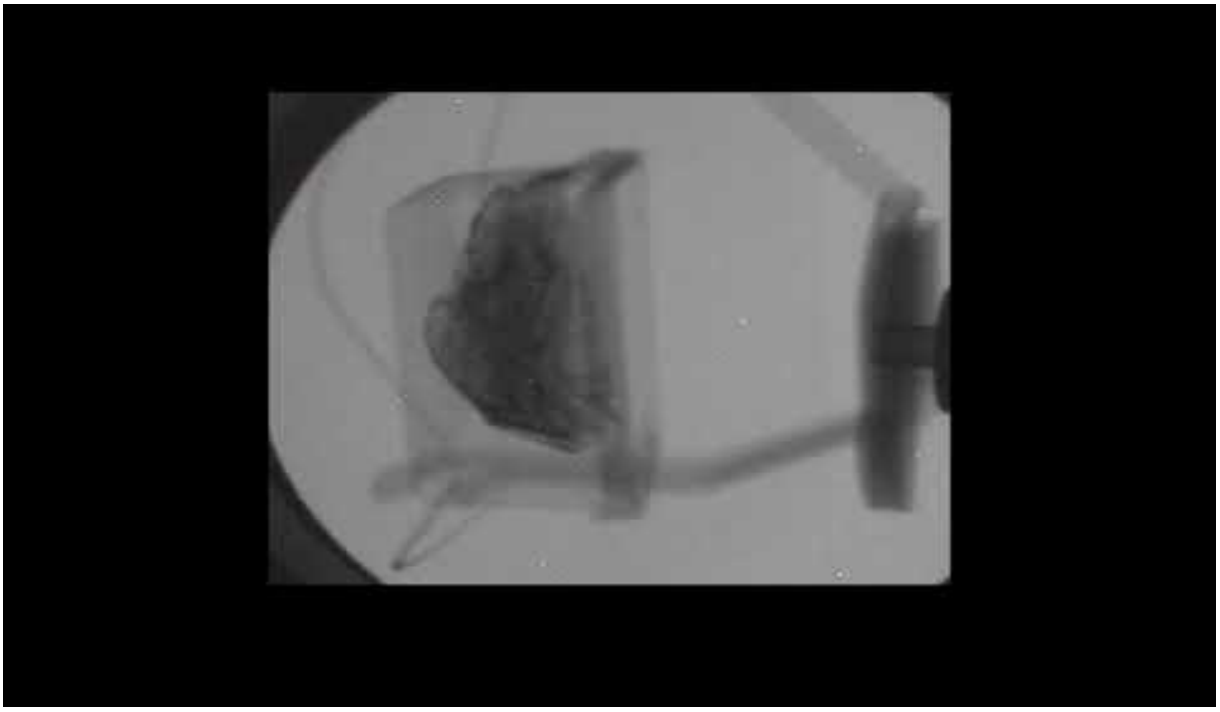
Video 3 **OBJETO #3 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/s8JsSklsNsg (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



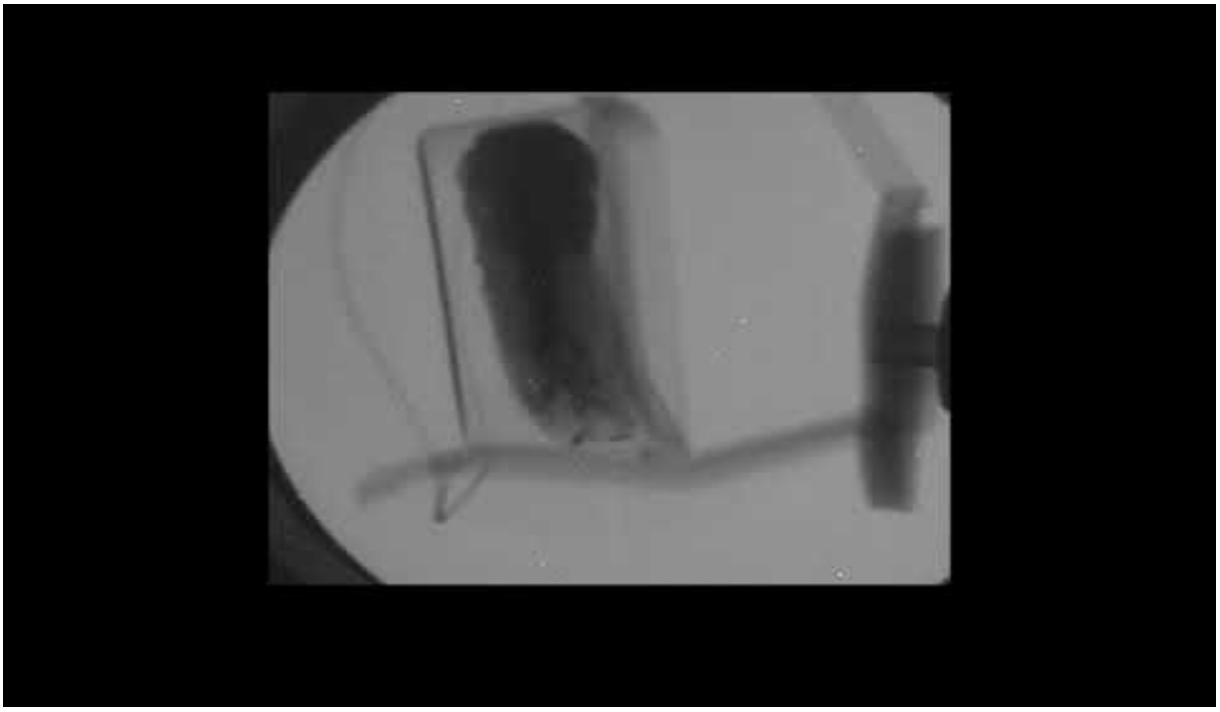
Video 4 **OBJETO #4 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/fACO1k70BSc (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



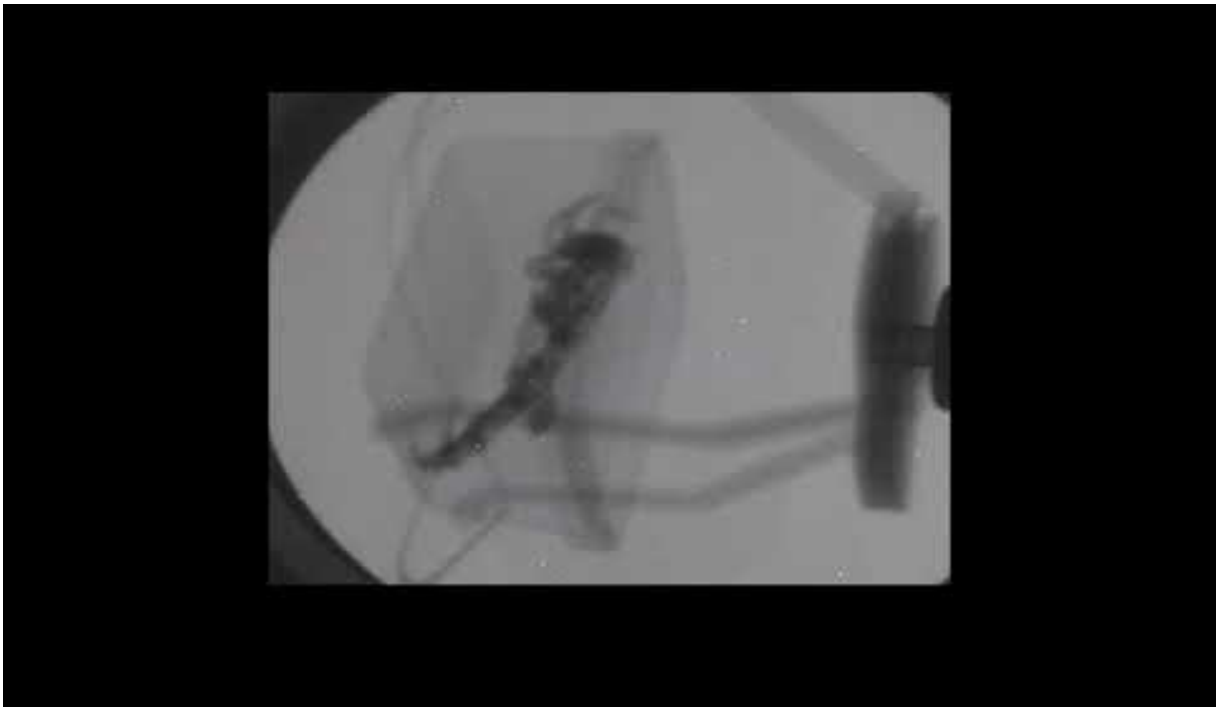
Video 5 **OBJETO #5 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO**: https://youtu.be/fyzP8IffrRk (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



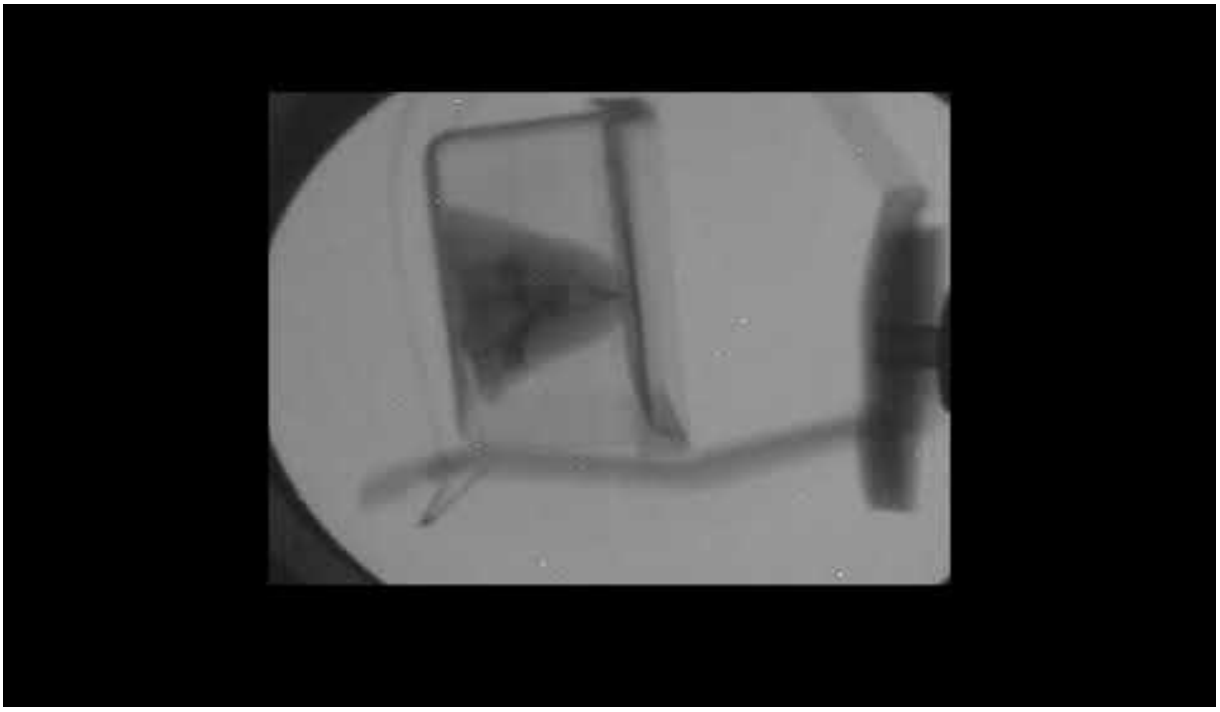
Video 6 **OBJETO #6 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/29HV0b0-Pz8 (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



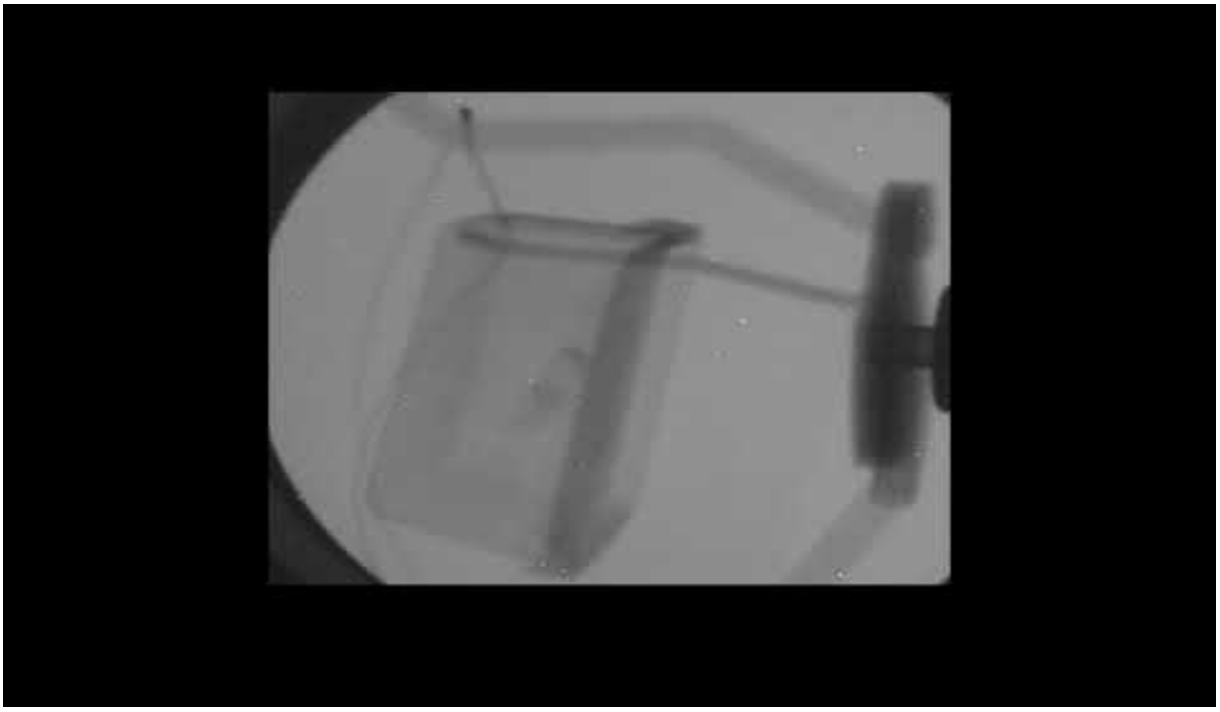
Video 7 **OBJETO #7 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/yjwaXw4gLoc (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



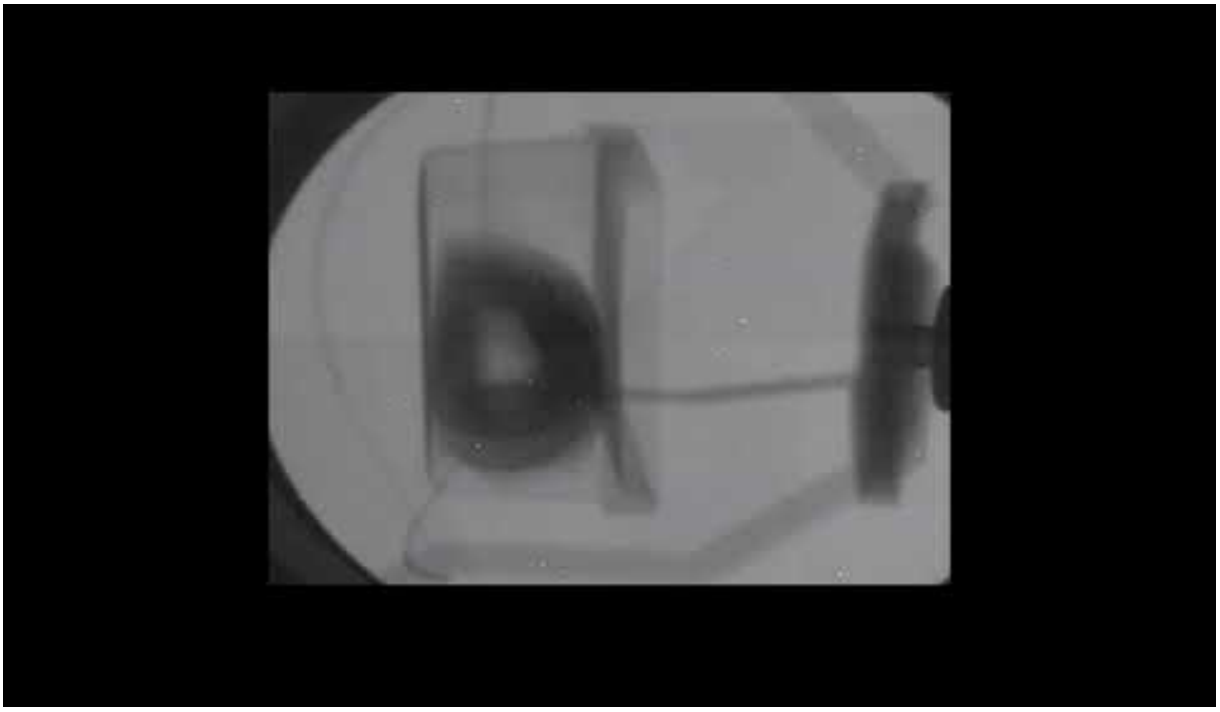
Video 8 **OBJETO #8 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/Rc3UiKzsNP0 (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



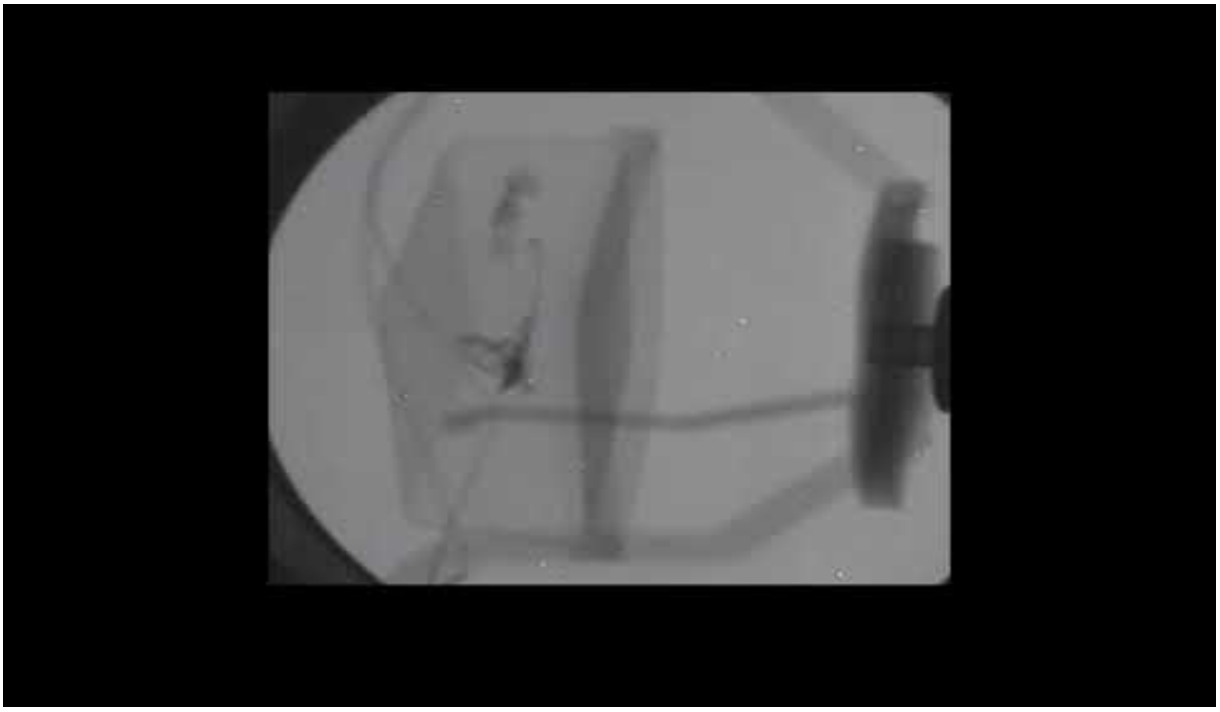
Video 9 **OBJETO #9 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO**: https://youtu.be/Xqr_BRpXPcI (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



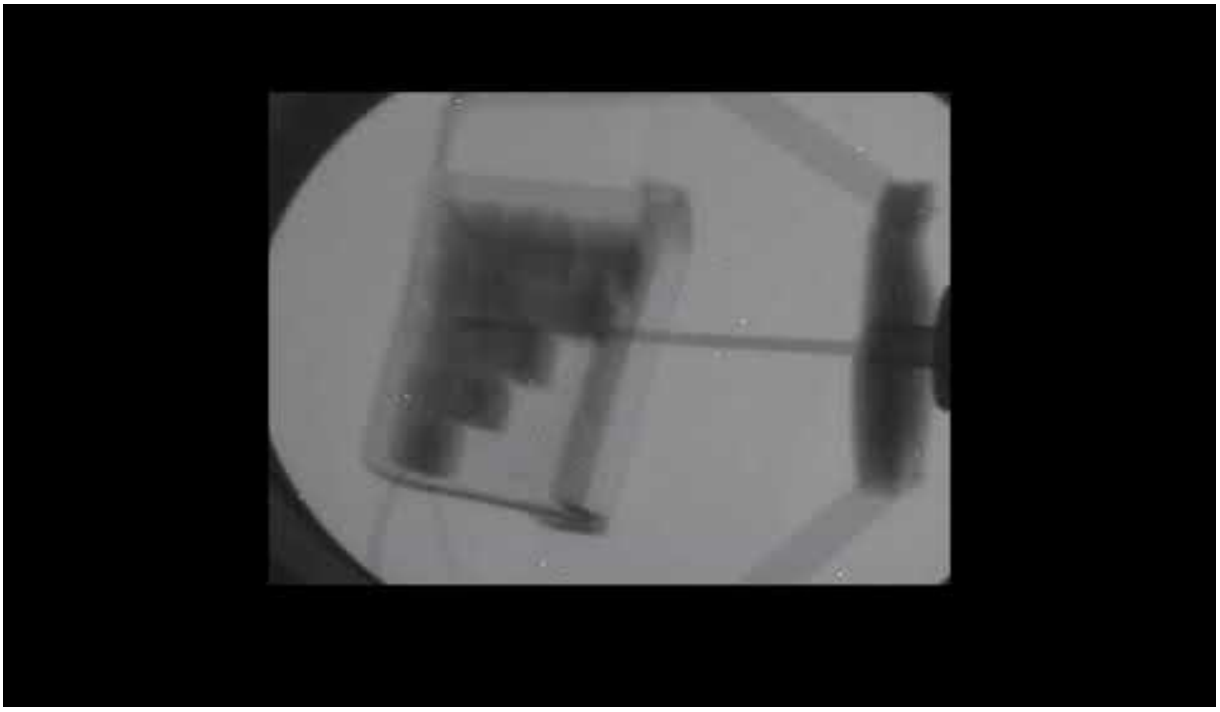
Video 10 **OBJETO #10 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/nnLK4T7r5Iw (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



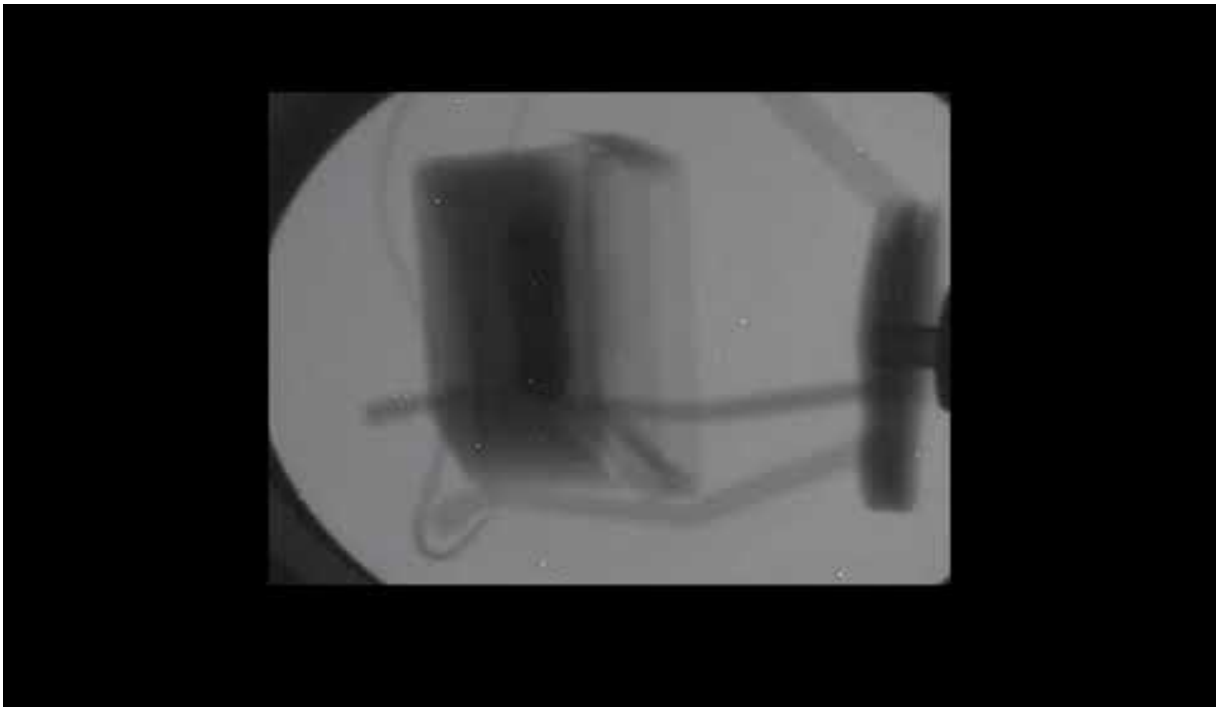
Video 11 **OBJETO #11 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/PlEVvx21Ed4 (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



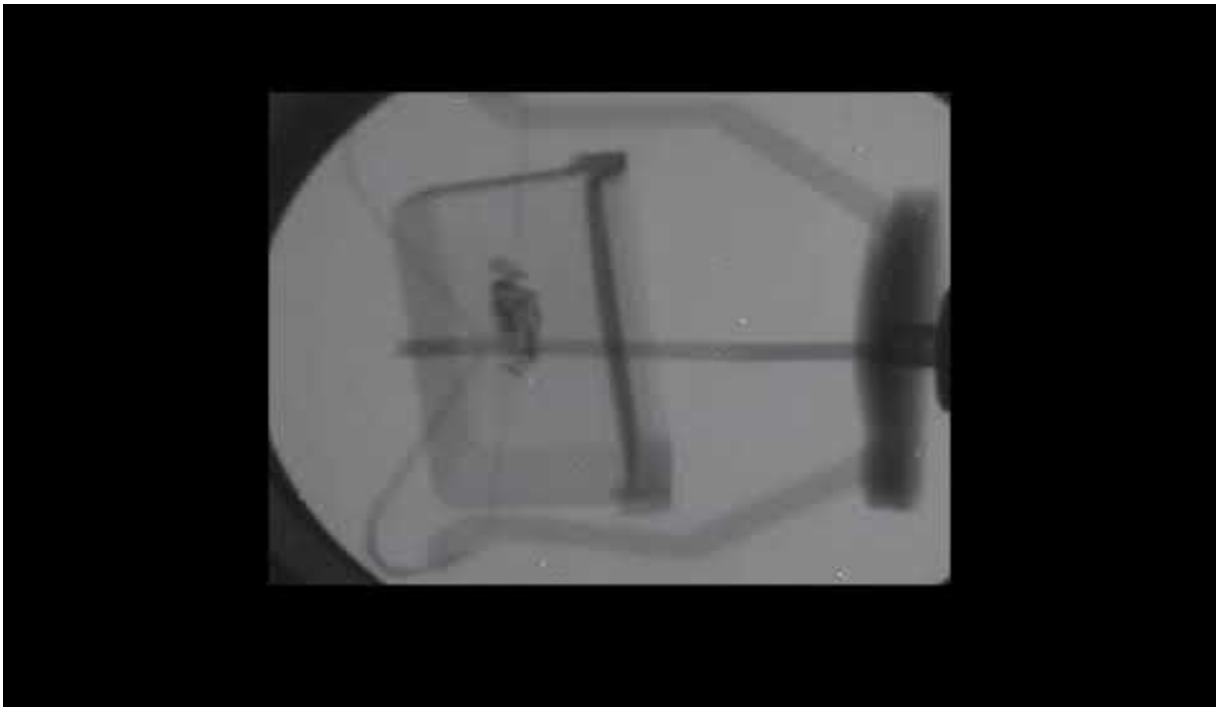
Video 12 **OBJETO #12 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/LqdH1VWDM3E (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



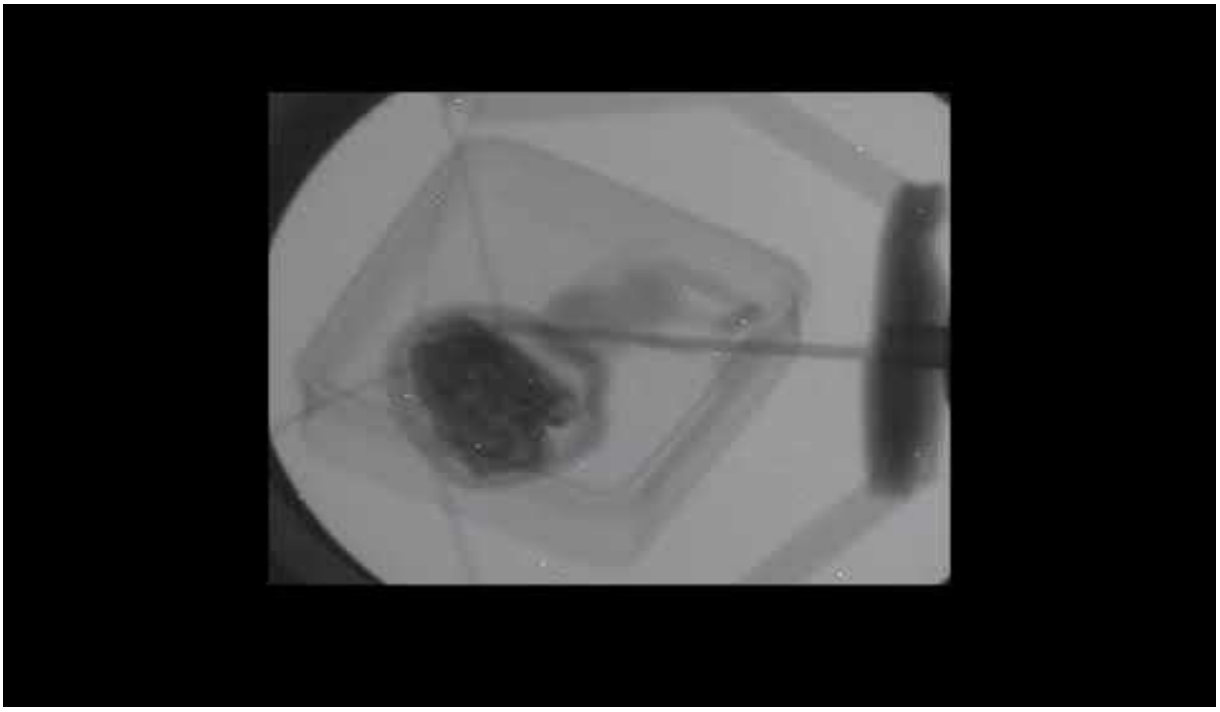
Video 13 **OBJETO #13 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/9c9tTjcaykE (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



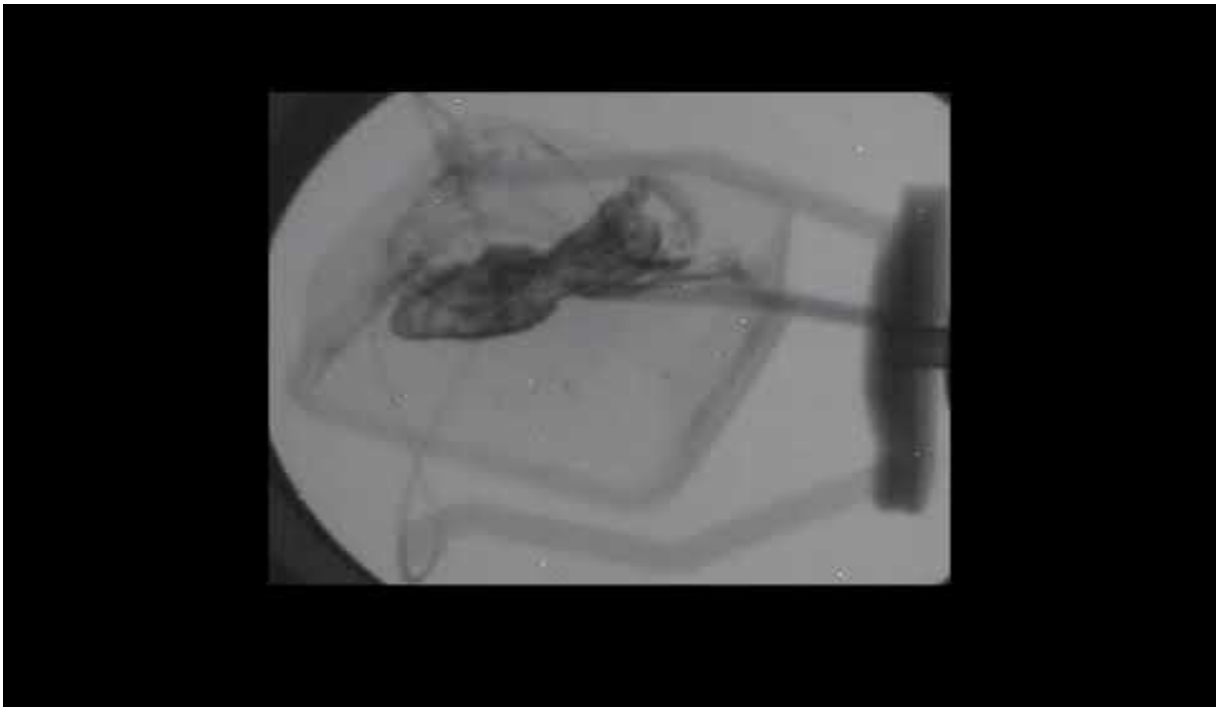
Video 14 **OBJETO #14 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/jNavybJhvNQ (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



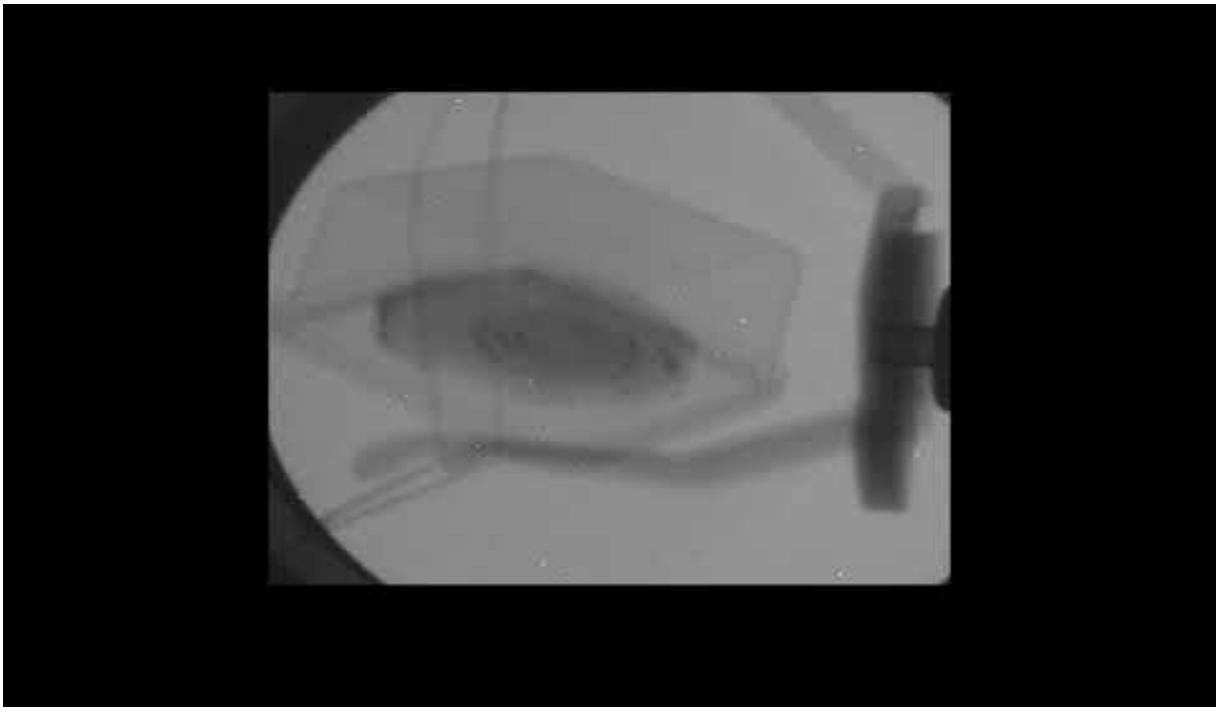
Video 15 **OBJETO #15 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/IGc3Lxrxrlk (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



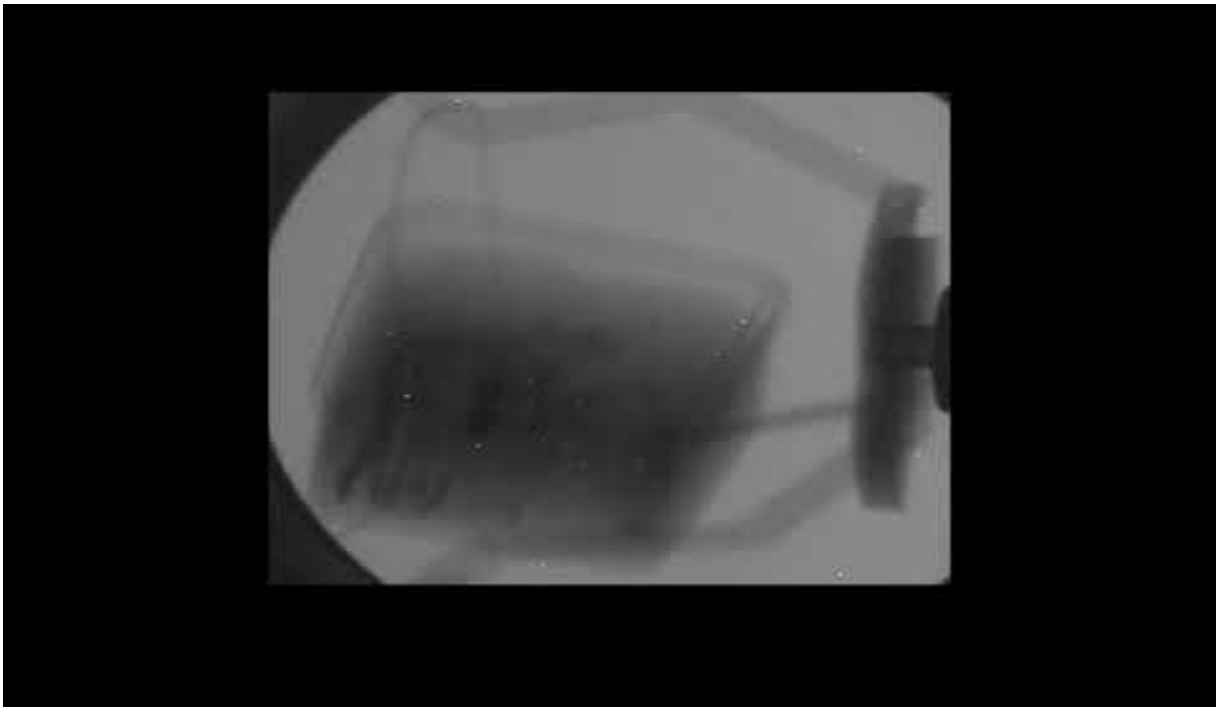
Video 16 **OBJETO #16 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/Md2FQVHSBJI (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



Video 17 **OBJETO #17 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/CdxBaXdxRKs (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



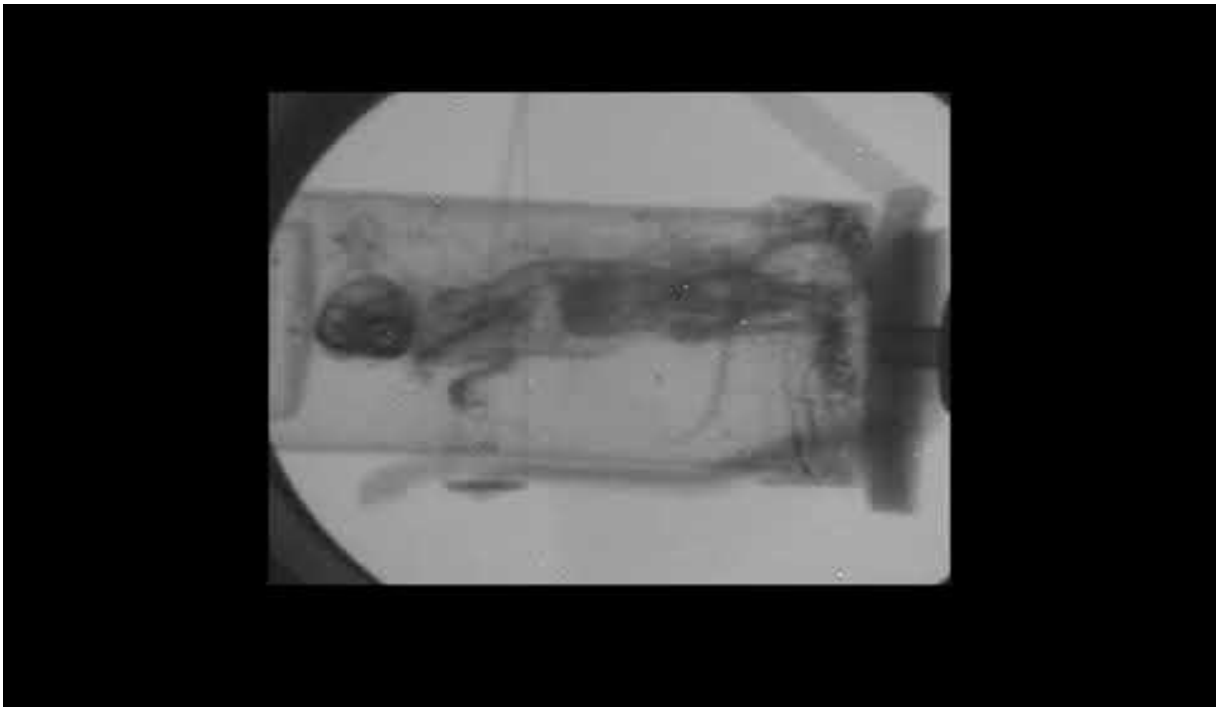
Video 24 **OBJETO #24 DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/HD6OlEmlIdg (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



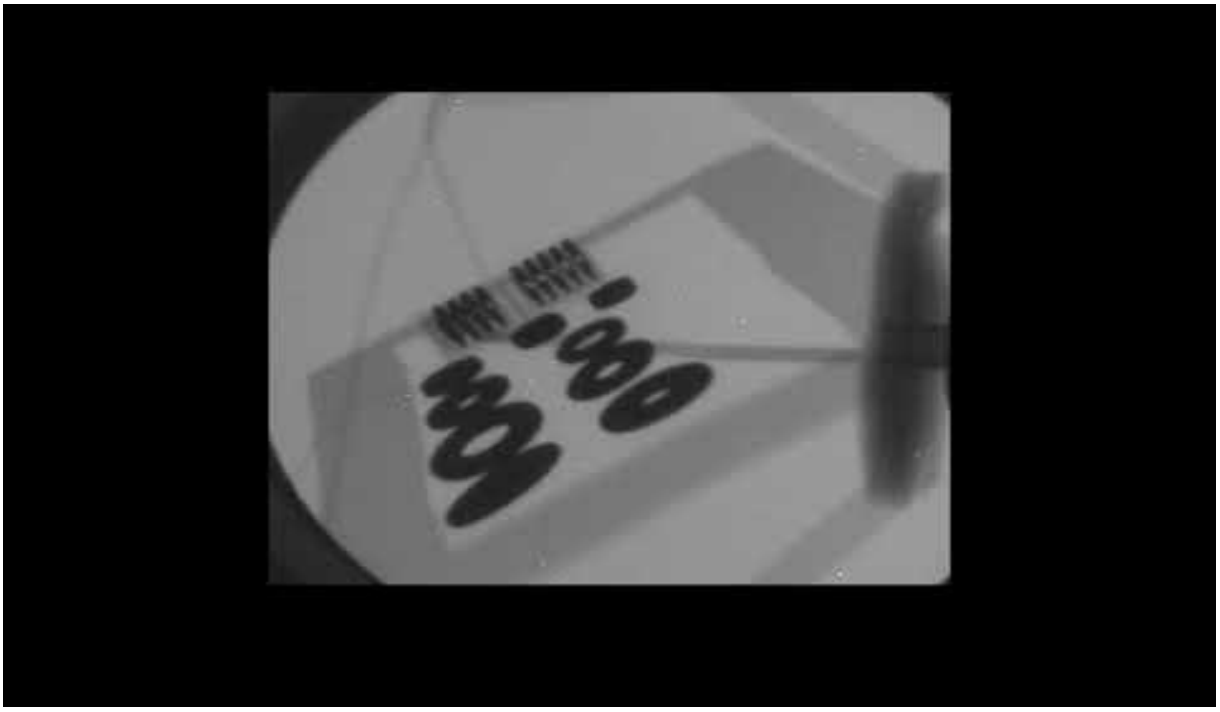
Mandíbula **OBJETO #MANDIBULA DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/ZxPkPmELeJM (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



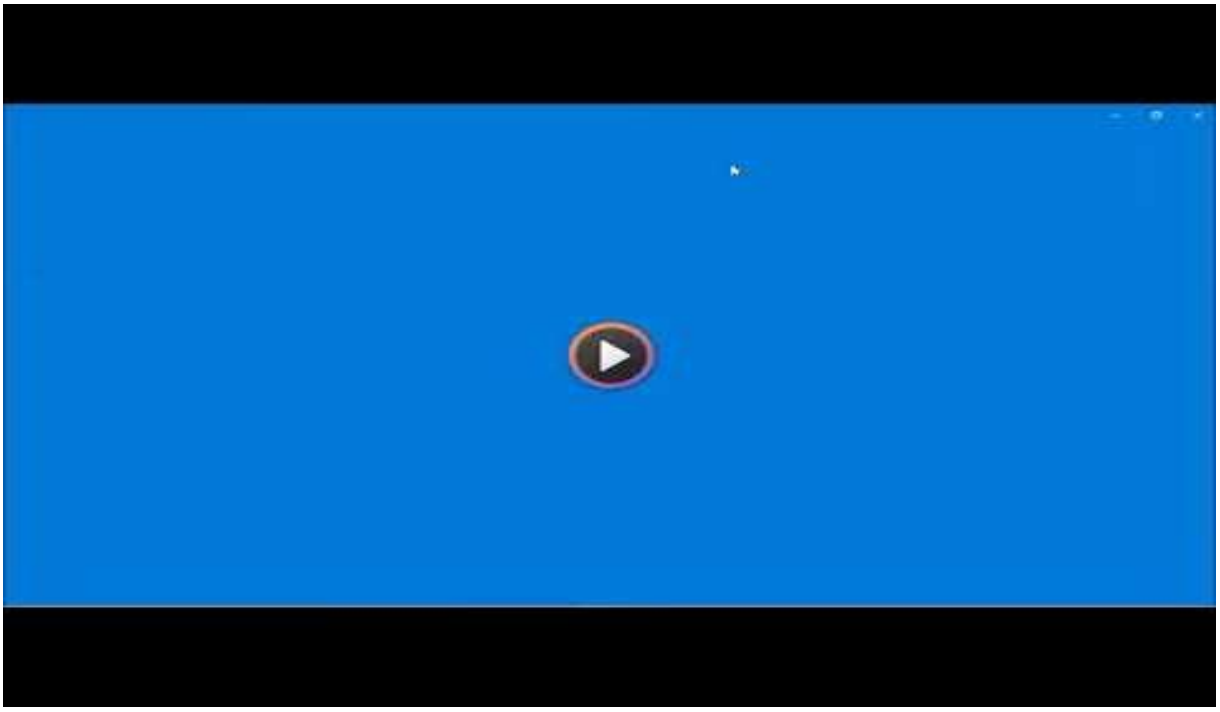
Roedor **OBJETO #ROEDOR DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/B4hAb6sAmHs (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



Regleta **OBJETO #REGLETA DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO:** https://youtu.be/Xu7IT18eqlA (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



Video **TUTORIAL DE LOS OBJETOS DEL KIT DE MATERIALES, APLICACIÓN EN RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA DEL OBJETO** https://youtu.be/2ZoEezuzMCY (RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA, 2025)



5. DISEÑO, PLANEACIÓN Y ESTRUCTURA DE ACTIVIDADES PARA EL ESTUDIO DE LA INTERACCIÓN RADIACION-MATERIA POR MEDIO DEL TOMÓGRAFO DE RAYOS X

En el diseño, planeación y estructura de actividades para el estudio de la interacción radiación-materia (R-M) mediante el tomógrafo de rayos X se busca un formato de cartilla para la comprensión de física moderna, centrando a los docentes y estudiantes que deseen practicarlo y ejecutarlo en el laboratorio de física de la licenciatura en física de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS o en cualquier otro lugar con un tomógrafo computacional o con los datos recopilados en este trabajo, donde se abarcan tres semanas (estimadas) en que el docente ejerza los ítems relacionados a la enseñanza y aprendizaje de la física moderna.

El inicio está constituido por parte de un preámbulo en la historia, y elementos didácticos para el inicio de la actividad en la cual consiste en una lectura sobre la historia de la tomografía computacional y la física implicada en torno al desarrollo de la tecnología que ha llevado a aplicaciones muy sofisticada al apoyo de la humanidad,

Los tres experimentos escogidos a realizar son enfocados en el aprendizaje de la interacción de radiación materia en tomografía de rayos X, los temas a tratar son:

La primera actividad consiste en generar una conferencia con diapositivas y mostrar un mapeo de los conocimientos previos al uso del tomógrafo computacional

la segunda actividad consiste en desarrollar un taller en el tomógrafo.

La tercera una retroalimentación relacionada con el desarrollo del taller

Lectura recomendada como actividad en la enseñanza y aprendizaje de la interacción radiación materia en la tomografía computacional

Ortega Hrescak, M. C., & Socolsky, G. A. (2012). Godfrey Newbold Hounsfield: historia e impacto de la tomografía computada. *Revista argentina de radiología*, *76*(4), 331-341.

Calzado, A., & Geleijns, J. (2010). Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. Revista de Física Médica, 11(3).

Espitia Mendoza, Ó. J., Mejía Melgarejo, Y. H., & Arguello, H. (2016). Tomografía computarizada: proceso de adquisición, tecnología y estado actual. Tecnura, 20(47), 119-135.

5.1. ESTRUCTURA DE LAS ACTIVIDADES PARA DE LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMÓGRAFODEL LABORATORIO DE FÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Las actividades propuestas para presentar en la clase de tomografía computacional están estructuradas en tres partes, la primera está planteada en forma de clase magistral, la segunda de forma tipo taller en el laboratorio de física en el tomógrafo computacional y la ultima una mesa redonda que pueda tener una retroproyección del desarrollo de la primera y segunda actividad propuesta en los módulos de aprendizaje que de describirá a continuación:

Tabla 18

MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA PRIMERA ACTIVIDAD

Objetivos de la actividad	Actividad	Resultados esperados
Identificar los procesos físicos que tiene la interacción radiación materia Explicar el cambio de concepto de los modelos atómicos a lo largo del tiempo Comprender los principales teorías y estructura del átomo	Se inicia con una presentación tipo PowerPoint, en caso de no tener ayudas audiovisuales o (tic) se utilizará el tablero o pizarrón las diapositivas se encuentra en el (ANEXO 5), los temas que se presentarían son: Concepto del átomo Estructura del átomo Relación del átomo y la cuantización de la energía Espectro Electromagnéticos Producción de rayos X Interacción radiación materia (R-A) Descripción de la Radiografía	Comprender el cambio histórico del modelo atómico y relación con la radiación electromagnética Entender los principios físico involucrados en la emisión e interacción de los rayos X con la materia Comprender los fundamentos de la tomografía computarizada y la importancia de la escala de Hounsfield en la construcción de la imagen Los estudiantes logran identificar todos los fenómenos físicos comprendidos en la tomografía computacional

Analizar la cuantificación de la energía en el átomo. Describir el procedimiento e historia de la tomografía computacional Describir el proceso de emisión de los rayos X Explicar la importancia del tubo de Crookes en el descubrimiento de los rayos X Analizar el espectro de los rayos X y la importancia de los diferentes tubos de rayos X en la imagen. Explicar la ley de Beer-Lambert y su explicación en la absorción	Historia y fundamentos de la tomografía computacional La actividad tiene una duración de (40 min) en la cual se busca también la participación de los estudiantes y un dialogo que retroalimentación entre el docente-estudiante y se complementara con lecturas relacionadas con los temas propuestos	Los estudiantes comprenderán todo el desarrollo tecnológico en el tiempo de la tomografía computacional

y dispersión de la radiación ionizante Describir los diferentes fenómenos que se genera en la interacción radiación-materia (dispersión de Thomson y Rayleigh, fotoeléctrico, Compton)		

Tabla 19

MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA SEGUNDA ACTIVIDAD

Objetivos de la actividad	Actividad	Resultados esperados
	La actividad comienza organizando a los estudiantes en grupos de trabajos (4-5 personas)	

	A partir de los grupos establecidos se iniciará con la lectura del manual del tomógrafo de rayos X y su funcionamiento de la universidad distrital (10 min)	
Identificar los diferentes énfasis de que se pueden concluir a partir de la aplicación de la tomografía computacional a los diferentes objetos de estudio descritos en el capítulo (4).	A cada grupo se le entregara un Phamton o objetos del kit materiales mencionado en el capítulo (4) Muy brevemente se mencionará que cada objeto tiene una característica única Se trasladará al grupo hasta el área donde se encuentra el tomógrafo y se iniciaría la prueba de encendido y la obtención de información del objeto del	Los estudiantes comprenderán la función fundamental de la tomografía computacional y sus estudios derivados correspondientes a cada objeto del kit de herramientas

kit como la radiografía finalmente la tomografía de este

Al pasar todos los grupos y aplicarle la tomografía a su respectivo objeto (15-20 min) por cada grupo en pasar dependiendo de los estudiantes del aula en formar los grupos de (4-5 estudiantes) se demora al pasar todos los grupos.

Al terminar la tomografía se le entrega la información correspondiente en usb o en la nube para que el estudiante siga con las actividades

Se le entrega un taller para que pueda responder y complementar en grupo

Y posteriormente un pequeño manual de software de las funciones importantes y computadores portátiles prestados del laboratorio de física (que son para el uso de la academia y la clase) se estudiará el objeto correspondiente a cada grupo Esta actividad tendrá el tiempo faltante al terminar el taller relacionado al estudio del objeto la clase, en caso de no

Tabla 20

MÓDULOS DE APRENDIZAJE DE LA TERCERA ACTIVIDAD

Objetivos de la actividad	Actividad	Resultados esperados
Concluir con datos, imágenes, tomografías e información de los objetos mencionados en la Actividad (2)	Cada grupo hará una pequeña exposición del objeto que les toco aplicarle la tomografía computacional y sus características relevantes Esta pensado esta exposición por grupo por un tiempo de 15-20 minutos	Los estudiantes tendrán un panorama más amplio de ser los diferentes usos y aplicaciones que tiene la tomografía computacional

5.2.DISEÑO DE TRES ACTIVIDADES PARA LOS RAYOS X BAJO EL USO DEL TOMOGRAFO

El diseño de actividades está establecido en la entre tres actividades la primera está enfocada en la introducción que conlleva a la contextualización de los conceptos físicos, matemáticos relacionados con el tomógrafo, un taller de laboratorio en el tomógrafo de rayos X.

DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES

El desarrollo de las actividades se llevó a cabo de la siguiente manera: se dio la bienvenida al grupo y se dio un pequeño resumen del todo el contenido o que se tenía preparado, se empezó la actividad con un cuestionario que se puede ver en el anexo (3), por lo que se dio un tiempo

prudente en responder, seguido en un apoyo audiovisual se presentó las diapositivas en el anexo (5) toda la información relacionada en tomografía, cuando se terminó la exposición se dio un tiempo prudente para responder preguntas y respuestas de los estudiantes en general, pero enfocado a la física que se experimenta gracias al tomógrafo de rayos X.

Se presentó al grupo, un sencillo y resumido manual del funcionamiento del tomógrafo, por lo que los estudiantes lo pudieron observar y detallar todos los factores implícitos como su uso su funcionamiento y se mostró el kit de materiales

Se expuso el kit de materiales en la cual se caracterizó y se explica su funcionalidad cada uno y que los estudiantes pudieran observarlo y cada grupo escogió su objeto, se ejecutó el taller propuesto en el anexo (4) con acompañamiento del docente y el encargado del laboratorio de física se pasó a los estudiantes en grupo menos de cinco personas por lo que se explicó el funcionamiento del tomógrafo, y como se genera las radiografía y tomografías.

La secuencia de la actividad se expone al generar los resultados del taller por lo que se muestra las radiografía y tomografías captadas en el proceso, también hay que observar que también hay un repositorio que se muestra los siguientes enlaces https://drive.google.com/drive/folders/15lYImvjQpUzD6it76zeuqg7bOzKXlcxd?usp=drive_link

https://drive.google.com/drive/folders/1w8PR5iW6YBu2dr8uCD_ta7Q-rYAkkxTf

Por último, se muestra un crucigrama ver anexo (2)

5.3.IMPLEMNTACION DE LAS ACTIVIDADES EN UN GRUPO CONTROL

INTRODUCCIÓN

En el siguiente informe se relata los conocimientos encontrados en la vivencia al ejecutar *las actividades entorno a la Actividades para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad distrital francisco José de caldas*

5.3.1. CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN:

Se planteo una serie de actividades entorno al tomógrafo computacional y la enseñanza de los rayos X en la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

INSTITUCIÓN EDUCATIVA: el centro educativo que se utilizó para la ejecución de las actividades fue la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS en dos facultades de ciencias matemáticas y naturales y la facultad de ciencia y educación en la cual se dictó en la materia: *ciencia de los materiales* de código 25146 del noveno semestre del pregrado de física, y *física moderna* con el código 135-701 del semestre séptimo en los laboratorios de física ubicados en Dirección: Carrera 3 No. 26A – 40, sede Macarena A Teléfono:3239300 Ext:3005 E-mail: labfisica@udistrital.edu.co o labfisicaservicios@udistrital.edu.co el día de 4 de diciembre del 2024, el miércoles de 12-2 pm.

Nivel educativo: carácter universitario de pregrado de física y licenciatura en física

Número de estudiantes participantes: 9 y 11 estudiantes

Duración de las actividades: una clase de 2 horas (se recomienda 3 clases de 2 hora) en este caso se comprimió y se omitieron actividades para su ejecución, mientras en la otra clase se realizó en una franja de cuatro horas con quince minutos de descanso cada dos horas

DOCENTE RESPONSABLE: el docente encargado de la materia de ciencia de materiales es el docente Triana Martínez Rudolf Arthur, y el docente de física moderna es Salamanca Bernal Julián Andrés y el Coordinador: Henry M. Ortiz S. del laboratorio de física y el encargado del manejo del tomógrafo: Andrés R. Barón A.

JUSTIFICACIÓN: La justificación se encuentra fundamentado en los pilares mencionados en el "*ptg"* proyecto de trabajo de grado y al inicio de este trabajo de grado, la implementación de las actividades responde a la necesidad de fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje en la física moderna, específicamente en el ámbito de la interacción radiación-materia con énfasis en los rayos X. Esta necesidad surge debido a la carencia de recursos didácticos que integren tanto los aspectos teóricos como prácticos, lo que limita el aprovechamiento de los equipos disponibles en laboratorios universitarios, como el tomógrafo de rayos X.

En el contexto educativo, el estudio de la física moderna frecuentemente se aborda desde una perspectiva teórica y estructurada a partir de libros de texto y estándares curriculares, dejando de lado la experiencia práctica que es esencial para la comprensión profunda de los fenómenos físicos. En este sentido, la propuesta busca superar esta limitación mediante el diseño e implementación de actividades didácticas que permitan a los estudiantes y docentes en formación explorar y comprender los principios físicos asociados a la interacción radiación-materia.

El uso del tomógrafo de rayos X como herramienta central responde también al objetivo de aprovechar las capacidades tecnológicas disponibles en el laboratorio de licenciatura en física y física. Estas capacidades no solo facilitan el entendimiento de conceptos complejos como la generación de imágenes espaciales y temporales derivadas de la interacción de rayos X con la

materia, sino que también permiten conectar la física moderna con aplicaciones prácticas en áreas como la física médica y el análisis de materiales.

De esta manera, la propuesta no solo enriquece la enseñanza de la física moderna, sino que también fomenta el desarrollo de competencias científicas en un contexto experimental, permitiendo que los estudiantes y docentes en formación se apropien del conocimiento desde una perspectiva fenomenológica y aplicada. Esto contribuye a consolidar una formación integral en física que responde a las demandas educativas actuales y promueve el uso efectivo de los recursos tecnológicos en el aprendizaje.

5.3.2. SOCIALIZACIÓN Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 1

ACTIVIDAD 1:

Se da la bienvenida al grupo, mientras se organiza las herramientas digitales (tic) para la presentación de las diapositivas y se entrega unas preguntas de opción múltiple para tener un conocimiento previo de cada estudiante sobre tópicos de física con énfasis en la tomografía que se encuentra en el anexo (4) para conocer sus conceptos previos, y se hace una presentación del docente y su motivación a dar las actividades, seguido se hace una cantidad de preguntas focalizadoras como: ¿Qué materia es de esta clase?, ¿Qué temas de física moderna conocen?, ¿Qué aplicaciones conocen sobre la física moderna ?, ¿alguien ha tenido un accidente para que le genere una radiografía?, ¿si conocen las radiografías ?, ¿Cómo se produce una imagen?, ¿Qué son los rayos X?, ¿Qué es la radiación ionizante?, ¿Qué creen que es el cáncer?, ¿Qué es un procedimiento

no invasivo ?, ¿Cómo se hacen la tomografía computacional?, ¿Cuáles son su aplicaciones? Entre otras más preguntas que iban saliendo entre el dialogo entre estudiante y docente.

Se presenta en los dispositivos electrónicos como la pantalla una diapositiva que se encuentra en el anexo (5). En él se muestra la historia de la física implicada en el descubrimiento de los rayos X, y la aplicación en la radiografía y el desarrollo de la tomografía con el siguiente contenido muy resumido:

En la sección se muestra la historia y el concepto principal que interviene en cada uno de los conceptos de los átomos, y sus principales categorías desde la idea primitiva del modelo átomo de Leucipo de Mileto, el modelo átomo de Dalton, el modelo átomo de Thompson, El modelo atómico de Rutherford, el modelo atómico de Bohr y el modelo atómico Schrödinger, haciendo enfoque entre sus partes del átomo al encontrar en los últimos modelos como el núcleo, y electrones

Después de unas preguntas y respuestas epistemológicas del cambio de paradigma de cada época y su relación con el cristianismo de desarrollo un pequeño debate, pero se siguió adelante de la presentación de la clase magistral con la cuantificación del campo electromagnético y de su espectro y sus partes, como ondas gamma, radio y los rayos X, y a continuación se describió la interacción de la cuantización de la energía con el átomo, describiendo los parámetros establecidos en el modelo del átomo de Bohr.

El descubrimiento de la emisión de rayos X por el físico Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) con el estudio en el tubo de crookes, y su aplicación en las radiografías en especial la medicina en hacer diagnóstico y estudios del cuerpo humanos, también se mostró, en la clase las diferentes radiografías en la lampara de la figura (142 y 143).

Después de la demostración de las radiografías en la lampara, se siguió con el contenido propuesto, por lo que se describió los fenómenos físicos que interviene en la interacción de los rayos X con un material, por lo que se nombró los fenómenos como el fotoeléctrico, Compton, dispersión de Raleigh y Thomson y la descripción de cada una de ellas y su implicación en la dispersión, y atenuación de los rayos X en la materia.

También se mostró como se produce los rayos X, des un ambiente natural con fenómenos de la radioactividad , y condiciones físicas extremas como lo que se produce en astronomía en la formación y dinámica estelar, y su emisión de rayos X, al generar electrones por emisión termoiónica, y acelerarlo por campo electromagnéticos acelerando hasta interaccionar con el material de impacto generando radiación ionizante por medio de radiación de frenado, y los fotones característicos y describiendo los tubos de rayos X, y la descripción del aparato electrónico del tomógrafos de rayos X.

Por lo que se explicó en la imagen la distinción entre forma por la atenuación en escala de grises Escala Hounsfield (HU) por la densidad de los elementos químicos al atravesar el material por lo que se forman imágenes y se puede distinguir de parte del cuerpo como la diferencia entre la estructura del diente o las diferentes partes de la estructura ósea del roedor.

Se presentaron pregunta relacionados con los temas propuestos de cómo se crean las radiografías y su uso en otras ramas de la ciencia como en la industria metalúrgica y revisión en la seguridad en los aeropuertos al inspeccionar las maletas de los pasajeros, y seguido se describió los fundamentos de la tomografía computarizada historia y Fundamentos, desde las primeras generaciones del tomógrafo, hasta su fundamento en el algoritmo de la reconstrucción de imagen

Al terminar la presentación se cedió un tiempo a preguntas e inquietudes

OBJETIVO: El objetivo de la primera actividad en la presentación fue identificar los procesos físicos que tiene la interacción radiación materia.

Comprender los conceptos del átomo y los fotones.

Describir el procedimiento e historia de la radiografía y tomografía computacional

5.3.3. SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 2

ACTIVIDAD 2:

en la segunda actividad, se llevó al salón de clase la lámpara y los diferentes radiografías, que se habían mostrado en la clase pasada, se habló sobre uno de los propósitos que tiene la tomografía computacional y su método no invasivo en los objetos y paciente para poder ver en su interior por los cortes axiales que se compila en planos que al adjuntarlo forman una estructura en 3D

Después se llevó el kit de materiales y que los estudiantes puedan observar cada uno de los objetos que contenía el kit , por lo que se describió con detalle cada uno, como por ejemplo el roedor , la cabeza de la gallina, la rana entre los diferentes objetos, seguido se presentó un manual de guía y práctica, funcionamiento del tomógrafo de rayos X de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, ver el anexo 9 por lo que se observó y se realizó lectura del mismo, sin antes hacer grupos para poder entrar al laboratorio de física seguido de recomendaciones en cuanto al ingreso.

Cuando se estableció formalmente los grupos de trabajo para el ingreso y el uso del tomógrafo cada grupo escogió un objeto del kit de materiales y nos dirigimos a desarrollar el taller

para sea implementado en la tomografía que se puede encontrar en el anexo (4), con el kit del material por lo que cada grupo de estudiantes puede observarlo y conocer cada uno del kit se procede a ejecutar en el taller y obteniendo la información general de la aplicación del tomógrafo como radiografía y tomografía

Dentro del laboratorio de física, del recinto que se encuentra del tomógrafo y se lleva al grupo junto al objeto para aplicarle radiografía y tomografía, se presentó también al encargado del dispositivo y se explicó cada uno las partes del tomógrafo mostrando el panel de control, y se abrió la recamara donde se encuentra el tubo de rayos X, se explica nuevamente todo el funcionamiento en la cual con guantes de señala las partes del tubo así como el filamento que al pasar una corriente eléctrica que se puede manipular desde el panel hace que el filamento se caliente y genere radiación electromagnética como luz visible y también se genera una nube de electrones o electrones libres por el fenómeno termoiónico o efecto Édison.

Al mostrar el tubo de rayos X al tener los electrones libres se genera un campo electromagnético en forma de placa con una variación de cero a 35 KeV que se puede variar desde el panel acelerando los electrones con una pequeña distancia los electrones son acelerados por el campo.

Al interaccionar o chocar con el material opuesto que está constituido por metales como, el hierro, wolframio, molibdeno, oro y cobre que al interaccionar con el material o chocar hace que los electrones al estar acelerado interactúan con los campos electromagnéticos de los átomos del metal generando cambio en su aceleración y dirección emitiendo fotones por el método llamado como radiación de frenado y al interactuar con el electro ionizándolo y haciendo que el átomo este

en su estado natural de mínima energía emitiendo fotones, este fenómeno se conoce como electrones característicos que se puede apreciar en los espectros de los rayos X.

Junto al grupo se responden preguntas e inquietudes que estén presente en la descripción, se empieza a describir el panel de control y para qué sirve cada uno de los botones, así como de su función, seguido de mostrar el sistema de refrigeración ya que se menciona que es un sistema muy deficiente en términos termodinámicos, porque casi toda la energía se genera en calor por lo que es necesario un sistema de refrigeración, aunque los metales tienen un alto punto de fusión se puede dañar sus componentes

Se señala el orificio donde se emite los rayos X desde la cámara donde se encuentra los rayos X y la cámara de experimentación donde se muestras diferentes filtros y colimadores para otros diferentes casos de experimentación como cristalografía, se muestra el goniómetro y la pinza donde se sujeta el objeto a investigar, se muestra la pantalla fluorescente y cuál es su función por lo que absorbe la emisión de los rayos X, y lo emite a diferente a diferente frecuencia por lo que al otro lado se emite por medio de sombras, de forma tenue o traslucido y opaco generando la imagen que adquiere la cámara.

Se muestra los cables que se conecta al portátil desde el tomógrafo y la cámara para que se pueda manipular desde el computador sin antes introducir el objeto a investigar y con las pinzas sujetadoras y se cierra las puertas corredizas de vidrio, se menciona que los vidrios tienen una aleación o en sus componentes están conformado como materiales de plomo "*plomado*" para que pueda detener la radiación ionizante hacia afuera del tomógrafo que pueda intervenir en el docente, estudiantes y encargados, ya que al utilizar el contador Geiger se puede percibir radiación ionizante

por lo que es recomendable a los usuarios que cuando este encendido el tubo de rayos X tenga una distancia prudente de 10 cm a 1.5 metros de distancia radial, para no afectar la salud.

Terminado el discurso de precaución y del funcionamiento del tomógrafo de rayos X se enciende el tomógrafo desde del computador y los estudiantes puede observar la imagen del programa y la radiografía, hace una pequeña descripción de cada una de las funciones, y se resalta las actividades propuestas en el taller empezando con la actividad 1.1que consiste en aplícale variar radiografías al objeto a diferente ángulo, que se puedan modificar por medio del panel de control o desde el computador

La actividad 1.2 consiste en variar la diferencia de potencial (eV) y extraer la información en forma de radiografía, por lo que los estudiantes observaron que la imagen se hacía más opaca por lo que se discutió temas de la energía cinética de los electrones y emisión en radiación electromagnética, después se apagó todas las luces del recinto y se mostró lo que captaba la cámara al abrir el recipiente de la cámara y ver la otra cara de la pantalla fluorescente y poder ver la imagen, que estudiantes quedaron sorprendidos y emocionados de como se genera la imagen a partir de los rayos X, se empezó a genera una tomografía por lo que los estudiantes observaron como el objeto empezaba a rotar al ver en la pantalla y al escuchar la explicación de la reconstrucción de imagen de la tomografía, al esperar aproximadamente más de 20 minutos se generó la información de la tomografía y como se puede abrir el programa.

Al abrir el archivo en ct y ct3d se muestra la imagen en 3D y como se puede manipular por lo que hay una función en forma de variable de mover que hace que el objeto se corte paralelo a un eje postrando el interior del objeto, en la actividad 3 se genera una radiografía y se busca medir distancias dentro del programa del tomógrafo y comparar con medidas del objeto afuera del

tomógrafo con una regla o con más precisión como lo es el pie de rey o calibrador digital, para esta actividad está pensado el objeto del kit de materiales conocido como regleta de varios objetos o placa con diferente diámetros de arandela.

En la tercera actividad se muestra diferentes opciones del programa que se puede manipular

Objetivo: Identificar los diferentes énfasis que se pueden concluir a partir de la aplicación de la tomografía computacional a los diferentes objetos de estudio en el kit de materiales.

5.3.4. SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3

ACTIVIDAD 3:

Por último, con los estudiantes que formaron grupo en la anterior actividad dará una pequeña exposición mostrando los resultados del taller seguido de una pequeña mesa redonda en la cual se aclaran dudas e inquietudes producidas en la realización del taller, también se busca un espacio a la retro alimentación en cuanto a las actividades propuestas para mejora y cambios que se pueda causar y e intercambiar información de cada objeto del kit de materiales

OBJETIVO: Concluir con datos, imágenes, tomografías e información de los objetos mencionados en la Actividad (2).

5.4.INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL CUESTIONARIO SOBRE TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

Al final y después de aplicar las *actividades para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad distrital francisco José de caldas se* aplicó un cuestionario de cinco preguntas y el resultado que se van a mostrar continuación.

En la tabla 21. Se observa que las personas que participaron en el cuestionario de opción múltiples fueron 20 personas entre la clase de física de los materiales y física moderna, el cuestionario fue de 5 pregunta con cuatro opciones múltiples los temas se escogiendo ya que fueron porque abarca una gran cantidad de temas a partir de estudiantes que se le preguntaron y que se encontraba en el salón de extra clase de diferentes materias y semestres y de la actividad 1, en conclusión se formuló cada una de las preguntas predominante de cada tema columna (A) se encuentra enumeradas las personas que participaron, en las filas de B6-E6 se encuentran la primera pregunta, dividida en cuatro partes, para que se pueda contestar libremente ya que fueron 4 opciones posibles, tomemos un ejemplo, la participante 1 que se encuentra en la fila 7 y la opción que el participante que elija se escribe como 1 si marco la primera opción, 2 la segunda opción así sucesivamente

Tabla 21

Se muestra la estadística de las opciones en cada tema que se marcaron en el cuestionario

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
4																					
5		Pregunta 1				Pregunta 2				Pregunta 3				Pregunta 4				Pregunta 5			
6	# Personas	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
7	1	1						3			2				2			1			
8	2	1					2				2			1				1			
9	3	1						3			2				2			1			
10	4	1							4		2				2			1			
11	5	1							4		2				2			1			
12	6	1					2				2				2			1			
13	7	1							4		2				2			1			
14	8	1							4		2				2			1			
15	9	1							4		2				2			1			
16	10	1							4			3		1				1			
17	11	1							4		2				2					3	
18	12	1					2				2				2			1			
19	13	1						3			2				2			1			
20	14	1					2				2				2			1			
21	15	1					2				2				2			1			
22	16			3			2				2				2			1			
23	17	1							4		2				2			1			
24	18	1							4		2				2			1			
25	19			3			2				2				2			1			
26	20			3					4		2			1						3	

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PREGUNTA 1.

La primera pregunta está planteada de la siguiente forma:

¿NOMBRE ALGUNOS TIPOS DE INTERACCIÓN EN LA RADIACIÓN-MATERIA?

Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares

Efecto Doppler, dispersión Rayleigh y absorción de energía

Desintegración radiactiva, dispersión de Rutherford y emisión de partículas alfa

Absorción, reflexión y transmisión de radiación

Lo que busca con esta pregunta es si los estudiantes al escuchar la primera actividad y ver diapositiva anexa (5) y entendieron cuáles fueron las interacciones entre los rayos X y la materia la pudieron comprender como se muestra en la tabla 22.

Tabla 22

La primera pregunta y sus opciones múltiple y cuantas personas escogieron su respuesta con su personaje

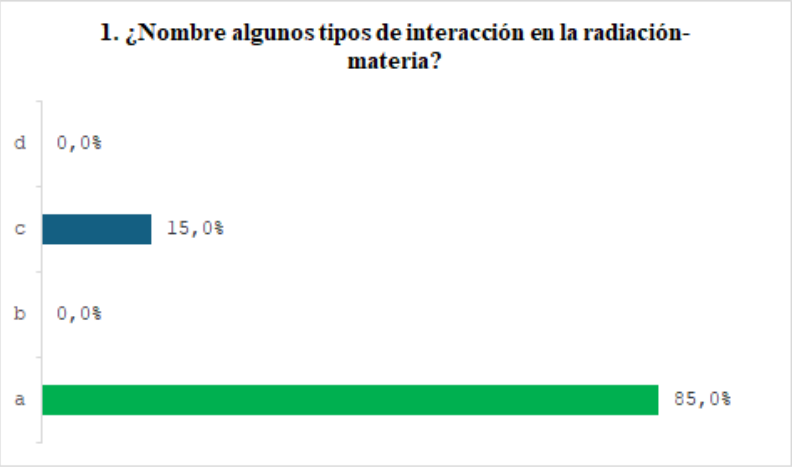
	A	B	C	D	E
1	Pregunta 1.				
2	¿Nombre algunos tipos de interacción en la radiación-materia?	Encuestados	20		
3	Pregunta de opcion multiple:		f	%	
4	a) Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares	a	17	85,0%	1
5	b) Efecto Doppler, dispersión Rayleigh y absorción de energía	b	0	0,0%	2
6	c) Desintegración radiactiva, dispersión de Rutherford y emisión de partículas alfa	c	3	15,0%	3
7	d) Absorción, reflexión y transmisión de radiación	d	0	0,0%	4

Por lo que las 20 personas escogieron por la opción a) Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares fueron 17 y tres escogieron la b) Desintegración radiactiva, dispersión de Rutherford y emisión de partículas alfa

Donde *la respuesta correcta es la a)* y su acierto fue de 85% y al terminar las actividades se hizo la retroalimentación y dialogando sobre las respuestas y se mencionó en cuanto a la tercera pregunta por qué se confundieron o la eligieron por la palabra *dispersión y emisión* para una mejor visualización de los datos de la primera pregunta se puede observar la figura (146).

Figura 145

La frecuencia de opciones que respondieron en la pregunta 1.



RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PREGUNTA 2.

La pregunta está orientada al conocimiento de aplicación de los rayos en la radiografía y tomografía temas que se presentaron en la primera actividad, la pregunta esta de la siguiente forma:

¿PORQUE SE UTILIZA LOS RAYOS X PARA LA RADIOGRAFÍA Y TOMOGRAFÍA?

Porque no pueden atravesar los tejidos del cuerpo humano

Porque tienen la capacidad de ionizar átomos en los tejidos

Porque interactúan fuertemente con los electrones de los tejidos

Porque permiten obtener imágenes de alta resolución sin dañar los tejidos

Al ver los resultados de la encuesta podemos observar que las personas eligieron de la opción b) Porque tienen la capacidad de ionizar átomos en los tejidos eligieron siete veces, la opción c) Porque interactúan fuertemente con los electrones de los tejidos con tres veces y la d)

Porque permiten obtener imágenes de alta resolución sin dañar los tejidos fue con la más alta participación con diez veces como se muestra en la tabla 23.

Tabla 23

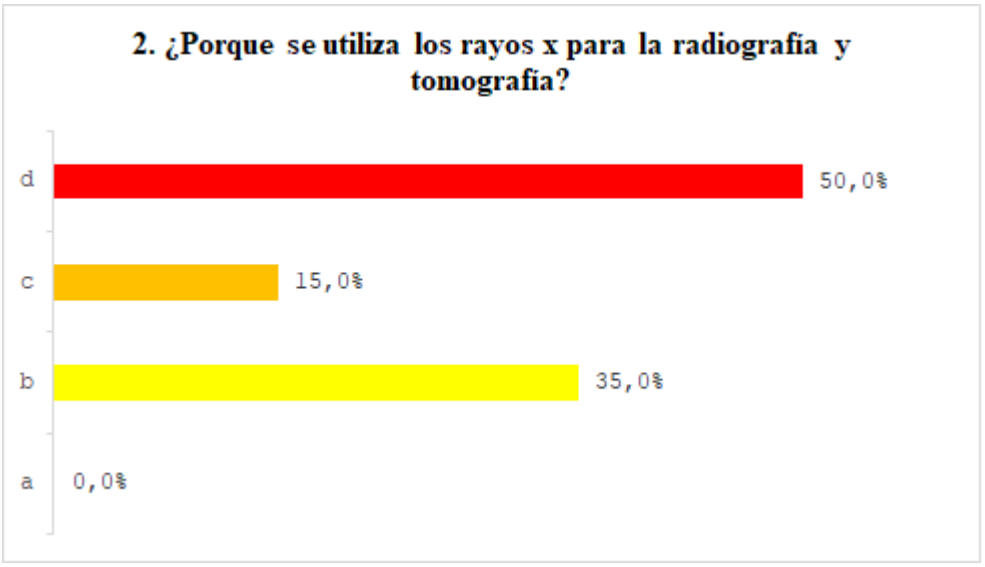
Muestra la cantidad de opciones que escogieron los participantes de la pregunta 2

	A	B	C	D	E
1	Pregunta 2.				
2	¿Porque se utiliza los rayos x para la radiografia y tomografia?	Encuestados	20		
3	Pregunta de opcion multiple:		f	%	
4	a) Porque no pueden atravesar los tejidos del cuerpo humano	a	0	0,0%	1
5	b) Porque tienen la capacidad de ionizar átomos en los tejidos	b	7	35,0%	2
6	c) Porque interactúan fuertemente con los electrones de los tejidos	c	3	15,0%	3
7	d) Porque permiten obtener imágenes de alta resolución sin dañar los tejido	d	10	50,0%	4

Teniendo en cuenta la frecuencia de las votaciones se ven que hay una dispersión ya que casi todas las opciones tuvieron calificación excepto la a) como se muestra en la figura (147).

Figura 146

Estadística del porcentaje de las opciones escogidas por el estudiante en la pregunta 2



Al tener en cuenta que la *respuesta correcta es la d)* con un acierto de 10 personas con un porcentaje de 50 % de la población encuestada y teniendo en cuenta la retroalimentación una de

las hipótesis del porque seleccionaba la c) era la parte conceptual de los rayos X era que tenía la energía suficiente para ionizar un átomo, "extracción *de un electro al interactuar un fotón de rayos X con el átomo"* pero no era la opción correcta de acuerdo con el enunciado.

En cuanto a la opción c) pues hubo una parte en la cual se nombró los peligros al ser humano a la exposición de radiación ionizante además de producir cáncer, quemadura de tejido, pero al tener en cuenta el enunciado de la segunda pregunta está fuera de contexto en su principal función de los rayos X en la tomografía y radiografía enfocado en la obtención de imagen de la pregunta d).

RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PREGUNTA 3.

El tema de la pregunta está enfocado en los peligros que se enfrenta los seres vivos a la exposición de la radiación ionizante, la pregunta y las diferentes opciones se muestran a continuación:

¿PORQUE SON PERJUDICIAL PARA LA SALUD DEL SER VIVO LA RADIACIÓN IONIZANTE?

Porque genera calor y puede desintegrar las moléculas del cuerpo

Porque puede causar daño en el ADN, lo que puede llevar a mutaciones y cáncer

Porque causa cambios en el color de la piel y el cabello

Porque aumenta la presión arterial y puede generar fatiga

En cuanto a la frecuencia de las cuatro opciones que se presentaron, solo dos fueron seleccionadas, la b) con 19 aciertos por los estudiantes y en la c) votaron una persona como se observa en la tabla 24.

Tabla 24

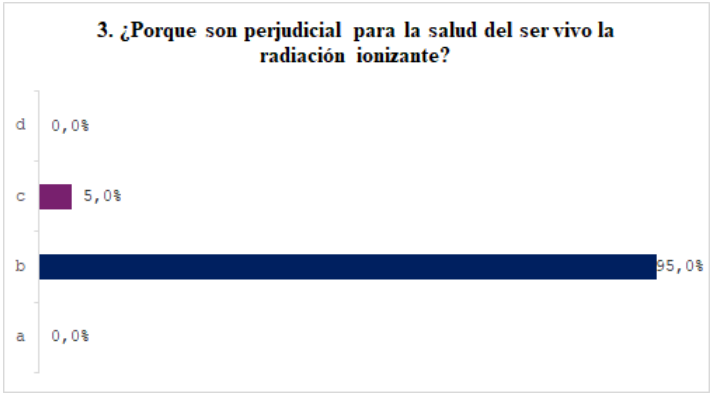
Frecuencia de las opciones contestadas de la pregunta 3 y su porcentaje

	A	B	C	D	E
1	Pregunta 3.				
2	¿Porque son perjudicial para la salud del ser vivo la radiación ionizante?	Encuestados	20		
3	Pregunta de opcion multiple:		f	%	
4	a) Porque genera calor y puede desintegrar las moléculas del cuerpo	a	0	0,0%	1
5	b) Porque puede causar daño en el ADN, lo que puede llevar a mutaciones y cánc	b	19	95,0%	2
6	c) Porque causa cambios en el color de la piel y el cabello	c	1	5,0%	3
7	d) Porque aumenta la presión arterial y puede generar fatiga	d	0	0,0%	4

En cuanto a la *opción correcta es la b)* en la exposición se presentó el efecto adverso de la radiación de rayos X en los seres vivos, por esta pregunta en especial tuvo un acierto significativo de 95% del estudiante, en la retrospectiva con los estudiantes después de las actividades y en la opción c) se encontró la hipótesis que, al haber la quemadura de la piel, está por la radiación esta cambia su color, pues se mencionó las otras consecuencias que tenía la opción b) como daño en el *ADN* y cáncer como se muestra en la figura (148). La frecuencia de las opciones que de la pregunta 3.

Figura 147

Frecuencia de votación de las opciones múltiples de la pregunta 3



RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PREGUNTA 4.

La pregunta cuatro está enfocadas en la sección de la tomografía computacional, en la cual se habló sobre su principio y su concepto desde la historia y fundamentos físicos entre otros subtemas la pregunta esta formulada de la siguiente manera:

¿QUÉ ES LA TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL?

Un proceso en el que se utilizan imágenes por resonancia magnética para crear cortes transversales del cuerpo

Un proceso que utiliza rayos X para obtener imágenes de alta resolución de cortes del cuerpo humano

Una técnica para medir la temperatura del cuerpo humano a través de rayos infrarrojos

Un tipo de examen que usa electrocardiogramas para crear imágenes en 3D

En cuanto a la estadística de cuantas personas eligieron una opción el espectro podemos observar que la pregunta a) Un proceso en el que se utilizan imágenes por resonancia magnética para crear cortes transversales del cuerpo la seleccionaron tres personas y la b) Un proceso que utiliza rayos X para obtener imágenes de alta resolución de cortes del cuerpo humano la escogieron 17 personas como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25

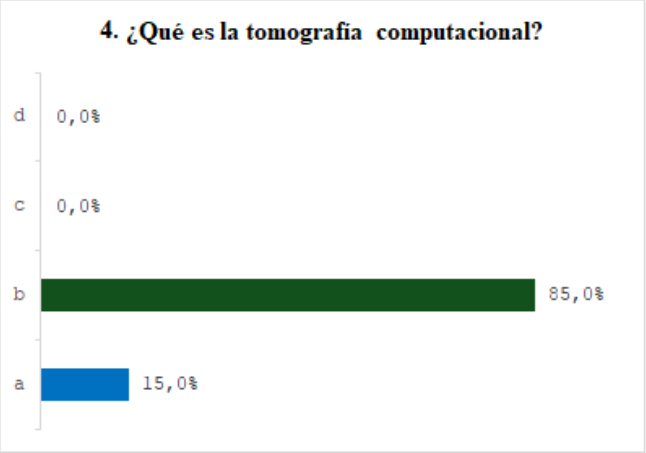
Frecuencia de las personas que escogieron las opciones en la pregunta 4

	A	B	C	D	E
1	Pregunta 4.				
2	¿Qué es la tomografia computacional?	Encuestados	20		
3	Pregunta de opcion multiple:		f	%	
4	a) Un proceso en el que se utilizan imágenes por resonancia magnética para crear cortes transversales del cuerpo	a	3	15,0%	1
5	b) Un proceso que utiliza rayos x para obtener imágenes de alta resolución de cortes del cuerpo humano	b	17	85,0%	2
6	c) Una técnica para medir la temperatura del cuerpo humano a través de rayos infrarrojos	c	0	0,0%	3
7	d) Un tipo de examen que usa electrocardiogramas para crear imágenes en 3D	d	0	0,0%	4

La respuesta *correcta de a la pregunta 4, es la b),* b) Un proceso que utiliza rayos X para obtener imágenes de alta resolución de cortes del cuerpo humano, ya que así es que la genera tomografía a partir de los slice o rebanadas con un 85 % de aprobación con el grupo y con tres personas que eligieron a), después del laboratorio se diálogo sobre los resultados y la conclusión fue que se eligió la tres porque *se crean cortes trasversales del cuerpo...* pero aunque se mencionó sobre imagenología y se explicó las diferentes métodos físicos de crear las imágenes se habló del ultrasonido y la resonancia magnética por lo puntual es totalmente diferentes por que la adquisición de datos es muy diferente, en la figura (149) se muestra la información sintetizada.

Figura 148

Estadística de las opciones que escogieron en la pregunta 4.



RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LA PREGUNTA 5.

En la última pregunta la 5 está enfocada en la aplicación de la tomografía computacional, el ser humano para que se realiza o realizar un tomógrafo y la pregunta con sus múltiples opciones:

¿QUÉ APLICACIONES CONOCES SOBRE LA TOMOGRAFÍA DE RAYOS X?

Diagnóstico de fracturas óseas, detección de tumores y análisis de estructuras internas

Determinación de la temperatura corporal, análisis de la presión arterial y detección de enfermedades respiratorias

Estudio de la actividad cerebral, tratamiento de enfermedades cardíacas y monitoreo de la función renal

Evaluación de la masa muscular, análisis de fluidos corporales y detección de intoxicaciones alimentarias

La frecuencia de los estudiantes que escogieron en las opciones es que en la opción a) Diagnóstico de fracturas óseas, detección de tumores y análisis de estructuras internas con 18 personas que lo eligieron, mientras que en la c) Estudio de la actividad cerebral, tratamiento de enfermedades cardíacas y monitoreo de la función renal que fueron dos personas, las demás opciones fueron nulas que ninguna las escogió como se muestra en la tabla 26.

Tabla 26

Frecuencia de opciones elegidas por los estudiantes en la pregunta 5.

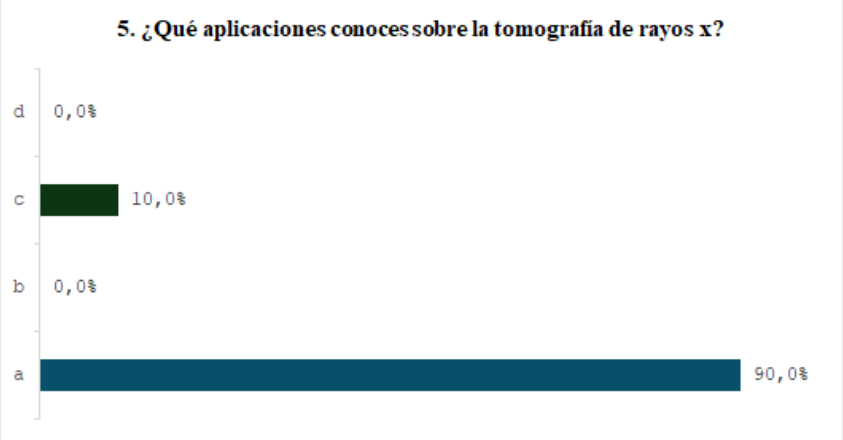
	A	B	C	D	E
1	Pregunta 5.				
2	¿Qué aplicaciones conoces sobre la tomografia de rayos x?	Encuestados:	20		
3	Pregunta de opcion multiple:		f	%	#
4	a) Diagnóstico de fracturas óseas, detección de tumores y análisis de estructuras internas	a	18	90,0%	1
5	b) Determinación de la temperatura corporal, análisis de la presión arterial y detección de enfermedades respiratorias	b	0	0,0%	2
6	c) Estudio de la actividad cerebral, tratamiento de enfermedades cardíacas y monitoreo de la función renal	c	2	10,0%	3
7	d) Evaluación de la masa muscular, análisis de fluidos corporales y detección de intoxicaciones alimentarias	d	0	0,0%	4

En la opción a) Diagnóstico de fracturas óseas, detección de tumores y análisis de estructuras internas con 18 personas que escogieron y la opción c) Estudio de la actividad cerebral, tratamiento de enfermedades cardíacas y monitoreo de la función renal con una votación de dos personas, la repuesta correcta es *a* por su aplicaciones física médica y en cuanto a las opciones que se escogió la *c* se puede confundir porque en la primera actividad se mencionó que en las aplicaciones de los rayos X en la física medica había mencionado que cuando el coeficiente de

atenuación son muy parecido entre dos objetos casi no se puede distinguir en la escala de hounsfield por lo que se utiliza sustancias para que se genere contraste para que se pueda diferenciar por la parte de angiografía pero no es la correcta en la figura (150). Podemos ver la frecuencia de votaciones entre las opciones de la pregunta 5.

Figura 149

La frecuencia de las opciones escogidas de la pregunta 5



ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LAS PREGUNTAS DE OPCIÓN MÚLTIPLE

Teniendo en cuenta la frecuencia de las opciones elegida en el cuestionario de opción múltiple, y tener su porcentaje de cada una de las cinco respuestas podemos observar que en la pregunta 1 tuvo un acierto de *85%*, la segunda tuvo un acierto de *50%*, la tercera tuvo una precisión de *85%*, la cuarta pregunta tiene un acierto de *95%* y la quinta tiene un porcentaje de *90% como* se observa en la tabla 27.

Tabla 27

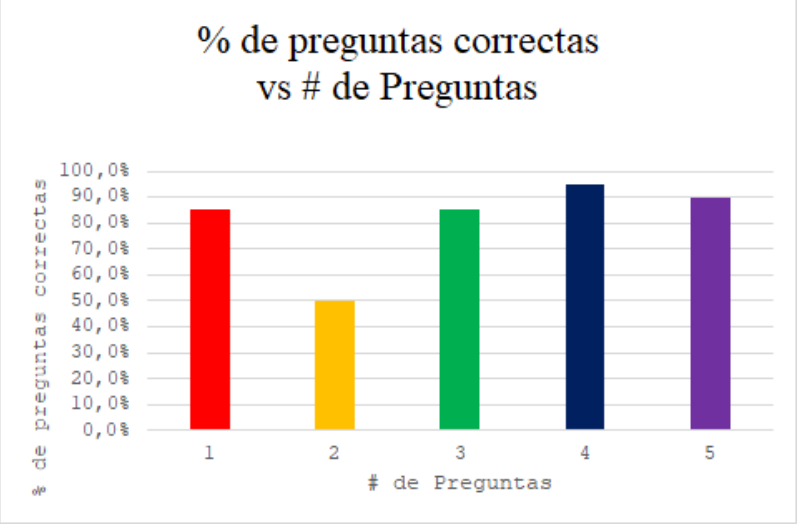
Porcentaje de las preguntas correctas del cuestionario con su porcentaje

# de Preguntas	% de preguntas correctas
1	85,0%
2	50,0%
3	85,0%
4	95,0%
5	90,0%

Al tener los porcentajes de las opciones correcta tenemos un acierto de mayor de 50% o igual lo que da entender que las personas que votaron aprendieron e interiorizaron el conocimiento del tema relacionada con la primera actividad como los fenómenos que se presenta en la interacción radiación materia, la utilización de los rayos X , los problemas de la radiación ionizante, el funcionamiento del tomógrafo y las aplicaciones de la radiografía y tomografía en la figura (151), podemos ver el porcentaje de las preguntas correctas

Figura 150

Porcentaje de las opciones correctas del cuestionario



5.5. SOCIALIZACION Y DESAROLLO DE LA ACTIVIDAD DEL TALLER DE TOMOGRAFIA COMPUTACIONAL

Después de terminar la primera actividad de la exposición de toda la parte teórica y desarrollo físico entorno a la tomografía computacional y sus aplicaciones, se mostró el kit de materiales ver sección (4) en la cual los estudiantes pudieron escoger su objeto para incursionar en la tomografía y hablar de las propiedades de cada uno de ellos, vemos que los grupos están listos para ir al laboratorio de física donde se encuentra el tomógrafo y desarrollar el taller en el laboratorio.

El taller de laboratorio tiene una gran cantidad de temas relacionados con la tomografía la primera actividad consiste en extraer radiografía con diferentes grados de rotación, variar la diferencia de potencial al tubo de rayos X, en la segunda actividad está relacionada con la tomografía de un objeto al generar rebanadas dentro del mismo, hacer comparaciones de distancias al experimentar y con el software y agregar características de trasparencia e intensidad del objeto

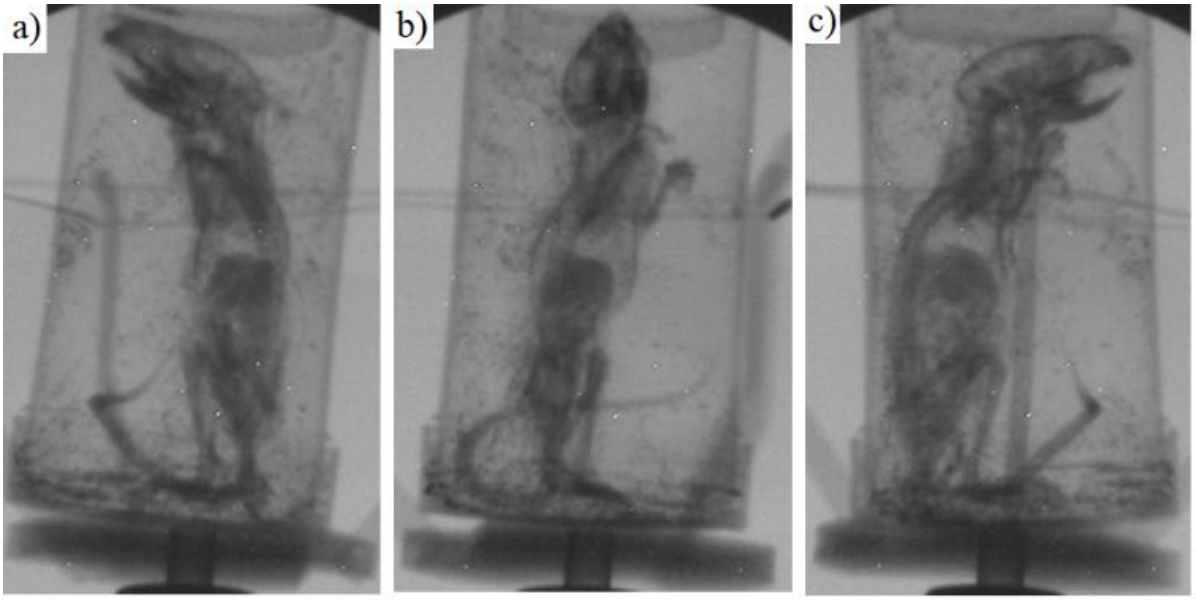
SOCIALIZACION Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 1.

Desarrollo de la actividad 1.1

Cuando el objeto del kit de materiales esté dentro del tomógrafo genere tres radiografías con diferente ángulo como se muestra en la figura 152.

Figura 151

Radiografías del roedor a diferente ángulo a) 0°, b) 103° y c) 167°

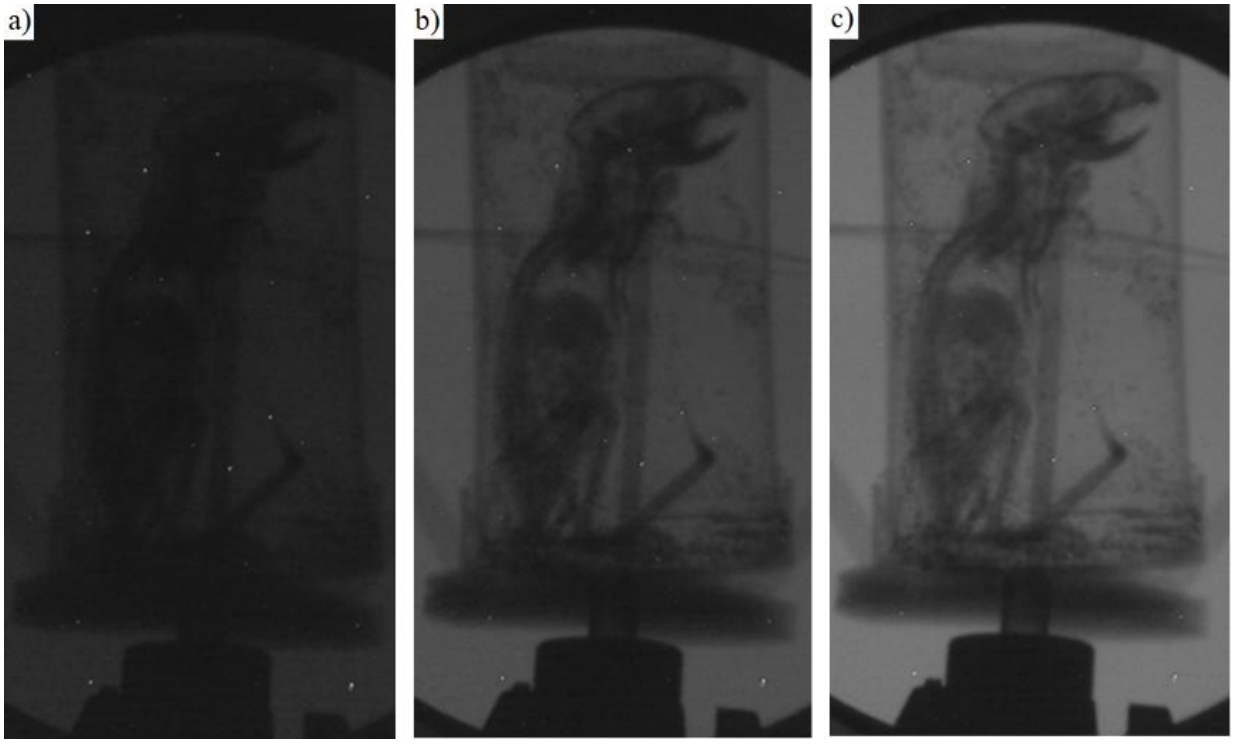


DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 1.2

Aplique tres diferentes distintos de potenciales eléctrico (eV) y tome la información en imágenes como se muestra en la figura 153.

Figura 152

Radiografía con diferentes potenciales eléctrico a)25 keV, b) 30 keV y c) 35 keV con una constante de 1 mA del tubo de rayos X



DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 2.

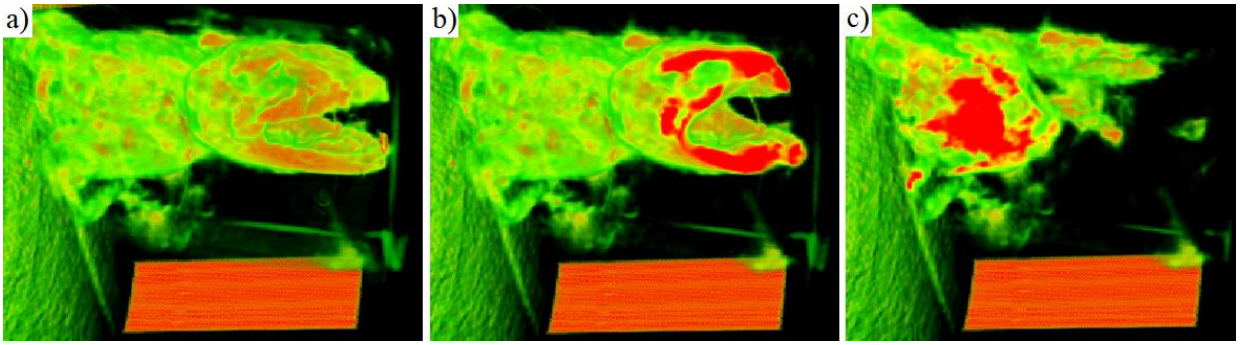
Desarrollo de la actividad 2.1

Realice la tomografía computacional del Phantom y capture tres diferentes imágenes del objeto a diferentes distancias paralelas del eje axial del objeto

Para esta actividad vamos a utilizar el lagarto del kit de materiales como se observa en la figura 154.

Figura 153

Cortes axiales de la tomografía del lagarto del kit de materiales

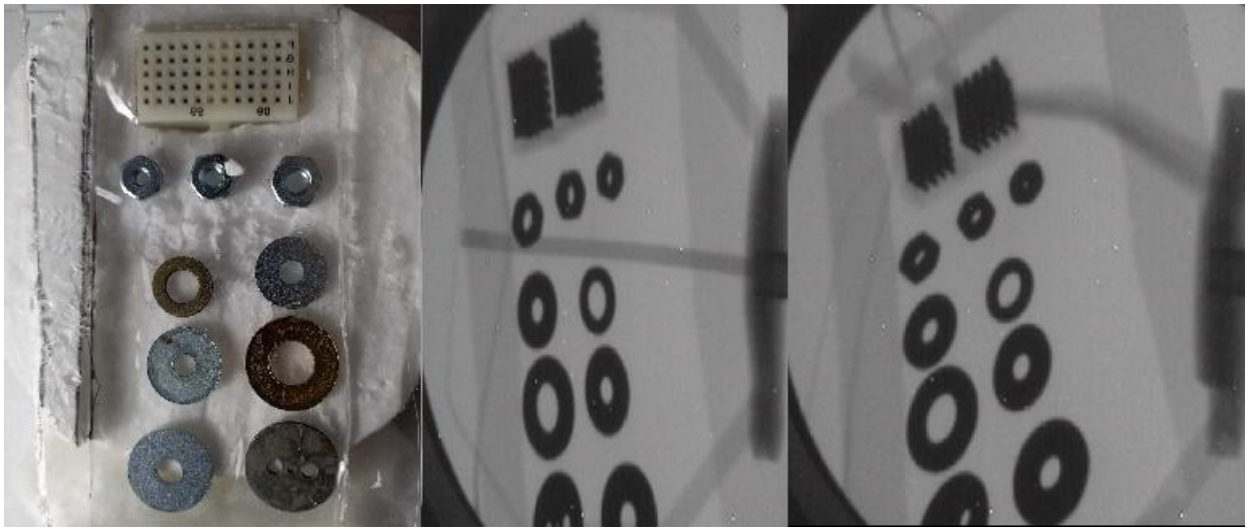


DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 2.2

Una vez hecha tomografía computacional del Phantom y capturé tres tomas de diferentes distancias del objeto y comparé con el objeto "real" con instrumentos del laboratorio de física como el calibre, o pie de rey determinando el error absoluto y relativo (Nota: si se puede abrir el recipiente para tomar la medida, esto no se puede aplicar a los Phantom de carácter biológicos) como se observa 155.

Figura 154

Fotografía y radiografía de la regleta de varios objetos del kit de materiales



Nota: se deja al lector para realizar esta actividad consiste en medir los radios interno y externo de las arandelas con un medidor de distancia como regla, metro o vernier y al medir los mismos radios de las arandelas en la tomografía o radiografía y para hacer una comparación

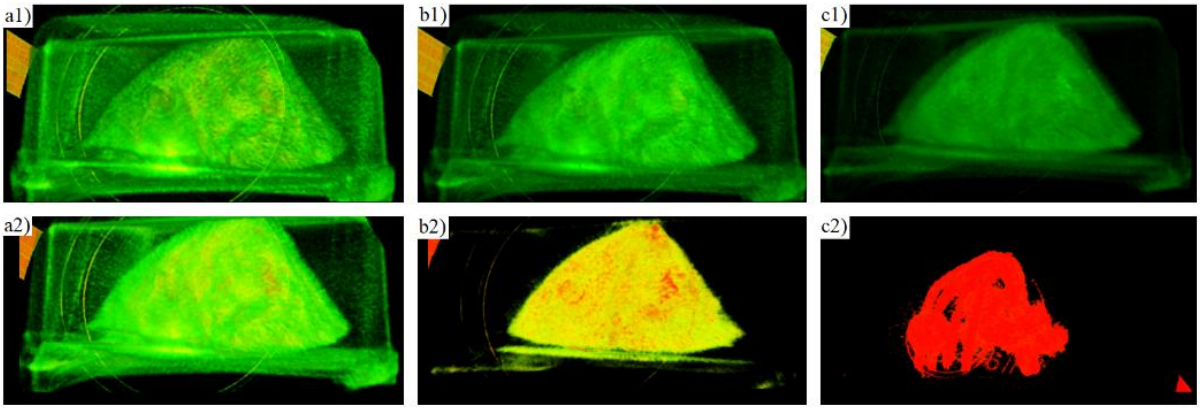
DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD 3.

Teniendo en cuenta la tomografía computacional del Phantom genere tres imágenes con diferentes parámetros de intensidad y trasparencia y determine el rango del coeficiente de atenuación (μ) del objeto.

Para esta actividad lo que se hace es generar una tomografía a un objeto del kit de materiales y variar la intensidad y la trasparencia como se muestra en la figura 156.

Figura 155

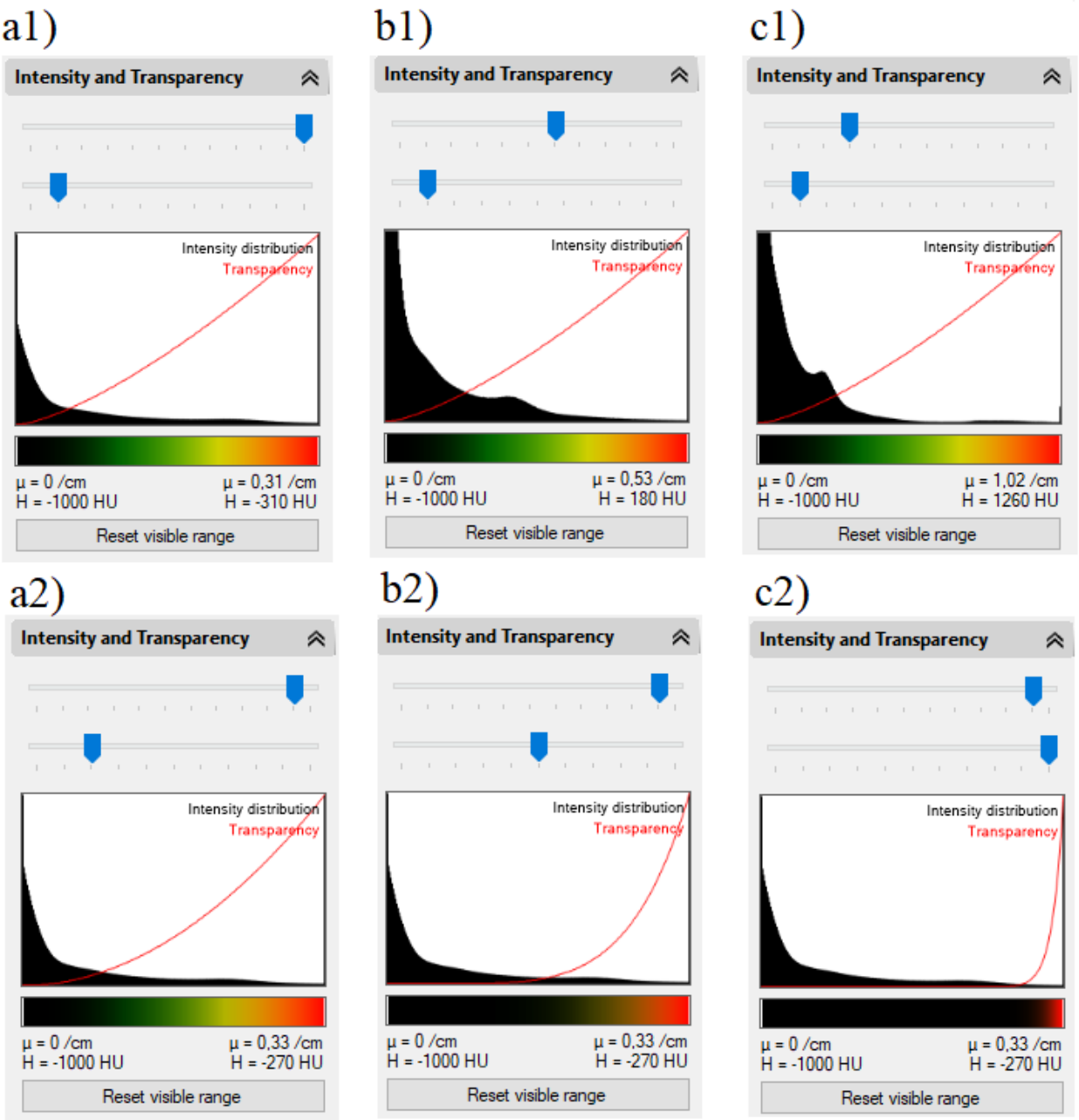
Fotografía en la variación de la intensidad a1), b1), c1) y variación de trasparencia en a2), b2), c2)



En el software se puede variar los parámetros de intensidad y trasparencia como se observa en la figura 157.

Figura 156

Captura de los parámetros de variación de intensidad y trasparencia de la figura 157.



5.6.SOCIALIZACION DEL DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DEL CRUCIGRAMA

En el desarrollo del crucigrama ver anexo (2) es una actividad para la enseñanza en la serie de actividades propuestas con temas relacionados en la tomografía computarizada y su desarrollo y solución se encuentra en la siguiente tabla 28.

Tabla 28

Desarrollo del crucigrama con su descripción y su respuesta

Crucigrama	
Vertical	
Descripción	Respuesta
1. Fenómeno en el que un átomo libera un electrón al absorber un fotón a una determinada energía.	**Efectofotoeléctrico**
2. Procesos matemáticos que convierten los datos de imagen en una representación visual en tomografía computarizada.	**Algoritmo de reconstrucción**
3. Medida de cómo una sustancia reduce la intensidad de radiación que la atraviesa.	**Coeficiente de atenuación**
4. Rama médica que utiliza imágenes de rayos x y otras radiaciones para diagnosticar y tratar enfermedades.	**Radiología**
7. Ciencia que mide la cantidad de radiación absorbida por los tejidos del cuerpo.	**Dosimetría**
9. Electrodo positivo en un tubo de rayos x que atrae electrones para producir la radiación	**Ánodo**
Horizontal	
Descripción	Respuesta
5. Modelo físico que simula el cuerpo humano o partes de él para pruebas de radiología y calibración de equipos.	**Fantom**
6. Dispersión de fotones por interacción con electrones libres, causando una pérdida de energía y cambio de dirección del fotón.	**Efectocompton**
8. Unidad tridimensional de un volumen en una imagen digital, usada en tomografía.	**Vóxel**
10. Energía suficiente para extraer un electrón de un atomó	**Radiación ionizante**
11. Radiación electromagnética de alta energía capaz de penetrar materiales y usarse en diagnósticos médicos.	**Rayos x**
12. Electrodo negativo en un tubo de rayos x que emite electrones hacia el ánodo.	**Cátodo**
13. Enfermedad caracterizada por el crecimiento descontrolado de células anormales en el cuerpo.	**Cáncer**

6. CONCLUSIONES

En el trabajo de grado presentado en modalidad de monografía, desarrollado en *actividades para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad distrital francisco José de caldas.* Las principales conclusiones son:

En el capítulo 1 se desarrolló una compilación de referentes pedagógicos en enseñanza-aprendizaje Basada en la Indagación, por lo que se escoge esta metodología teniendo una estructura del trabajo de grado, empezando el del mapeo de la información buscando que literatura nos podría ayudar, después de tener una solidad base en referentes se empezó con la construcción de todo el marco teórico, académico y científico, teniendo en cuenta lo anterior se empezó la ejecución de actividades desde la realización de los objetivos generales y específicos, por lo que se diseñó una estructura de recolección de registros y datos captados desde el desarrollo del mismo hasta su terminación, continuo a la sistematización de registros en la selección de los elemento del kit de materiales y que actividades de presentarían conforme al trabajo y por ultimo generar la conclusiones que se están describiendo ahora mismo.

Por el capítulo 2 se desarrolló todas la información físico y matemáticas que conlleva a un estudio amplio de los temas relacionados con los rayos X en la interacción radiación-materia bajo el uso del tomógrafos de rayos X, desde el aglomerado de fundamentos físicos e historia de los rayos X comprendiendo las trasformaciones o cambio conceptuales que ha tenido el concepto del átomo a través de la historia desde diferentes paradigmas científicos, también se recolectó información de las ondas electromagnéticas en general y de sus partes, también se mencionó los fenómenos físico relacionados con la desde la interacción radiación materia y todo el proceso en la tomografía

El capítulo 3 se genera y estructura un manual enfocado para el estudiante y docente que esté interesado en la utilización y funcionamiento del tomógrafo de rayos X de la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS que describe desde los fabricantes, y descripción por medio de secciones empezando desde el panel de control y la emisión de rayos X, la caja de experimentación y el recinto de recepción de imagen y video de la pantalla fluorescente, también se describe el funcionamiento y características del software al momento de generar una radiografía digital o tomografía, y por último se generó otro manual más simplificado y resumido del mismo que lo puede encontrar en el anexo 9 y por ultimo un diseño audiovisual que relaciona lo anterior junto a un ejemplo de la aplicación de una tomografía.

Para el capítulo 4 se diseñó una serie de objetos que se estableció en un kit de materiales para su aplicación en el tomógrafo de rayos X, creando una cantidad de 22 objetos con diferentes objetivos en su aplicación desde el estudio de fósiles, morfología, estructura, arqueología, anatomía, cuerpos biológicos y atenuación por distancia del mismo material, por lo que se generó de cada uno del kit de materiales una serie de radiografía de cada grado desde 0° a 359° y dos archivos con la tomografía almacenados en la nube en el enlace 1 y 2, junto otros objetos para su estudio y apoyo en un total de un promedio de 56 estudios en carpetas con el contenido mencionado anteriormente y para simplificar la enseñanza se generó un video de cada objeto del kit de material generando imagen de las radiografías a cada grado y reconstrucción de video respecto a tres planos y un video tutorial y la creación de una lampara de radiografías convencionales.

Con el capítulo 5 se plantó tres actividades enfocado en el uso del tomógrafo de rayos X, y el aprendizaje de la interacción radiación materia en las radiografía y tomografía partiendo de una clase magistral para ampliar y preparar al estudiante con los temas que abarca una visión ampliada de los conceptos físicos e históricos, describiendo la estructura del átomo y su relación

con la energía, los fenómenos cuánticos presente en la interacción radiación materia, el descubrimiento de los rayos X y la descripción teórica de los fundamentos de la tomografía y sus aplicaciones y desarrollo de tecnología que se presenta hasta el día de hoy seguido de un cuestionario de cinco pregunta de opción múltiple abarcando diferentes temas que se destacan en la conferencia.

En la segunda actividad de presenta un taller del anexo 4 para que su desarrolló en el tomógrafo, sin antes mostrar la visualización de las radiografías convencionales en la lampara y la demostración de cada uno de los objetos del kit de materiales y la presentación del manual del tomógrafo del anexo 9 para su conocimiento y uso previo ante el tomógrafo, por lo que al presentar el taller en grupos de estudiantes seleccionando un elemento del kit, se permite ejecutar las actividades propuestas por el mismo, con diferentes actividades como la variación de la diferencia de potencial, y aplicación de una radiografía o tomografía

Y la última actividad es la presentación del desarrollo del taller de cada uno de los grupos encontrando diferencias en los elementos del kit de materiales ya que cada grupo tenía un objeto diferente, y la retroalimentación e inquietudes de las dos actividades anteriores con la terminación de las actividades con un crucigrama, con palabras claves relacionado con la tomografía de rayos X

7. REFERENCIAS

Ávila, A. V. (2020). *Aplicación de la técnica de rayos X por contraste de fase para detección de lesiones mamarias*. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/24998

Avilán, J. D. (2021). *Análisis de los efectos radiobiologicos generados por haces de fotones de rx de 6 M e incidentes de un maniquí de pulmón simulados en geant4*. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28827

Compton effect: Measuring the energy of the scattered photons as a function of the scattering angle. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6372_e.pdf

Compton effect: verifying the energy loss of the scattered x-ray quantum. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6371_e.pdf

Cuesta, Y. J. (2018). *Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016. Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (44), 147-166. https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/issue/view/584. https://doi.org/10.17227/ted.num44-8995

Detecting x-rays using an ionization chamber. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6313_e.pdf

Determining the ion dose rate of the x-ray tube with molybdenum anode. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6314_e.pdf

Fine structure of the characteristic x-radiation of a copper anode. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6362_e.pdf

Fine structure of the characteristic x-radiation of a molybdenum anode. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6361_e.pdf

Fine structure of the characteristic x-radiation of an iron anode. (n.d.). Physics https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6363_e.pdf

Fluorescence of a luminous screen due to x-rays. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/p_index_e.html#

Hund, M. (2019, 7 26). *Computed Tomography Handbook*. Computed Tomography. https://www.ld-didactic.com/software/xraytomo2_en.pdf

International Atomic Energy Agency. (2014). *Diagnostic Radiology Physics: A Handbook for Teachers and Students* (D. R. Dance & International Atomic Energy Agency, Eds.). International Atomic Energy Agency.

Investigating the attenuation of x-rays as a function of the absorber material and absorber thickness. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6321_e.pdf

Investigating the relationship between the coefficient of attenuation and the atomic number Z. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6323_e.pdf

Investigating the wavelength dependency of the coefficient of attenuation. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6322_e.pdf

Investigating the wavelength dependency of the coefficient of attenuation. (n.d.). Physics Leaflets. https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6322_e.pdf

Juez, J. Y., & Sierra, N. C. (2016). *Determinación de los cambios estructurales morfológicos obtenidos con imágenes de transmisión de rayos X en una batería de ion litio cuando es sometida a ciclos de carga y descarga*. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/5300

Morales, S. A., & Lemus, C. C. (2016). *Trabajo de grado modalidad investigación en el marco del proyecto institucionalizado: diseño e implementación de un programa de aseguramiento de calidad en instalaciones de diagnóstico que empleen rayos X convencionales*. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/23629

Ramírez, J. C., Clavijo, C. A., & McCollough, C. H. (2008). *Tomografía computarizada por rayos X : fundamentos y actualidad*. *Revista Ingeniería Biomédica*, *2*(4), 54-72. https://doi.org/10.24050/19099762.n4.2008.54

Tole, I. J. (2019). *Práctica experimental en física moderna: diseño para la comprensión de la interacción radiación materia a partir de la caracterización de rayos X* . http://hdl.handle.net/20.500.12209/12015

Vasquez, M. (2017). *Proceso de aproximación y caracterización del funcionamiento de las baterías de ion litio mediante imágenes de rayos X* . Repositorio Institucional. https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/6602

Vo-Dinh, T. (Ed.). (2003). *Biomedical Photonics Handbook*. Taylor & Francis.

X-ray photography: fogging of film stock due to x-rays. (n.d.). Physics Leaflets. Retrieved November 2, 2022, from https://www.ld-didactic.de/literatur/hb/e/p6/p6313_e.pdf

L. A. Shepp and B. F. Logan, "The fourier reconstruction of a head section," IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. NS-21, pp. 21-43, 1974.

Eisberg, R. (2013). *Fisicia cuántica: Atomos, moleculas, solidos, nucleos y particulas* . Mexico: Limusa.

Eisberg, R. (2013). *Fisicia cuántica: Atomos, moleculas, solidos, nucleos y particulas* . Mexico: Limusa.

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (26 de 12 de 2024). Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado. Bogota, Colombia. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=CCkkcbd7jWY&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

REF

Hernández, R., & Baptista, M. . (2010) *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.

Silverman, D. (2015). *Interpretación de datos cualitativos*. Editorial SAGE

Brand, Mike; Sharon Neaves; Emily Smith (1995). "Lodestone" . Museo de Electricidad y Magnetismo, Mag Lab U . Laboratorio Nacional de Altos Campos Magnéticos de EE. UU. Archivado desde el original el 2009-05-01 . Consultado el 2009-06-21 .

Eisberg, R. (2013). *Fisicia cuántica: Atomos, moleculas, solidos, nucleos y particulas* . Mexico: Limusa.

Navarro, B. (30 de octubre de 2023). *kenhub*. Obtenido de https://www.kenhub.com/es/library/anatomia-es/vertebras-cervicales

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (26 de 12 de 2024). Guía práctica: Manejo y funcionamiento del tomógrafo computarizado. Bogota, Colombia. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=CCkkcbd7jWY&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (22 de marzo de 2025). Objeto #1 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=r6xr9tv76H4&t=27s&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #10 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=nnLK4T7r5Iw&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #11 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=PlEVvx21Ed4&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #12 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=LqdH1VWDM3E&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #13 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=9c9tTjcaykE&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #14 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=jNavybJhvNQ&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #15 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=IGc3Lxrxrlk&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #16 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Md2FQVHSBJI&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #17 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=CdxBaXdxRKs&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #2 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=4Akq9oj1IkE&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #24 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=HD6OlEmlIdg&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #3 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=s8JsSklsNsg&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #4 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=fACO1k70BSc&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #5 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=fyzP8IffrRk&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #6 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=29HV0b0-Pz8&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #7 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=yjwaXw4gLoc&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #8 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Rc3UiKzsNP0&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (24 de marzo de 2025). Objeto #9 del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=Xqr_BRpXPcI&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #Mandibula del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=ZxPkPmELeJM&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #Regleta del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de

https://www.youtube.com/watch?v=Xu7IT18eqlA&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Objeto #Roedor del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=B4hAb6sAmHs&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

RHONAL SMITH PATIÑO GUEVARA. (25 de marzo de 2025). Tutorial de los Objetos del kit de materiales, aplicación en radiografía y tomografía del objeto. https://www.youtube.com/. Obtenido de https://www.youtube.com/watch?v=2ZoEezuzMCY&ab_channel=RHONALSMITHPATI%C3%91OGUEVARA

8. ANEXOS

En esta sección se encontrará toda la información y documentación que ayuda a complementar y respaldar el trabajo principal en "*actividades para la enseñanza de los rayos X bajo el uso del tomógrafo del laboratorio de física de la universidad distrital francisco José de caldas" realizado* por lo que se clasica como anexo

8.1.ANEXO 1: SCRIPT DE PROGRAMA EN MATLAB EN TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

El programa consiste en tener una imagen, que debe estar en forma jpg y que sea muy pequeña porque se tiene problemas al ejecutar el problema en la cual se le aplica a la imagen herramienta en la tomografía computacional como genera el sinograma, reconstrucción de imagen y aplicar métodos inversos en la reconstrucción de imagen, otro factor importa es que se ejecute en pequeñas partes para que se pueda compilar por completo el programa las línea que empieza con (**%**) son instrucciones o explicaciones de las líneas del script.

```
I=imread('kael.jpg');
 %
theta1 = 0:10:170;
[R1,~] = radon(I,theta1);
num_angles_R1 = size(R1,2)

theta2 = 0:5:175;
[R2,~] = radon(I,theta2);
num_angles_R2 = size(R2,2)

theta3 = 0:2:178;
[R3,xp] = radon(I,theta3);
num_angles_R3 = size(R3,2)

N_R1 = size(R1,1)
```

```
N_R2 = size(R2,1)
N_R3 = size(R3,1)

P_128 = I(128);
[R_128,xp_128] = radon(P_128,theta1);
N_128 = size(R_128,1)

imagesc(theta3,xp,R3)
colormap("gray")
colorbar
xlabel('Parallel Rotation Angle - \theta (degrees)');
ylabel('Parallel Sensor Position - x\prime (pixels)');

output_size = max(size(I));

dtheta1 = theta1(2) - theta1(1);
I1 = iradon(R1,dtheta1,output_size);

dtheta2 = theta2(2) - theta2(1);
I2 = iradon(R2,dtheta2,output_size);

dtheta3 = theta3(2) - theta3(1);
I3 = iradon(R3,dtheta3,output_size);

figure
montage({I1,I2,I3},'Size',[1 3])
title(['Reconstruction from Parallel Beam Projection ' ...
'with 18, 24, and 90 Projection Angles'])
```

```
D = 350;
dsensor1 = 2;
F1 = fanbeam(I,D,'FanSensorSpacing',dsensor1);

dsensor2 = 1;
F2 = fanbeam(I,D,'FanSensorSpacing',dsensor2);

dsensor3 = 0.25;
F3 = fanbeam(I,D,'FanSensorSpacing',dsensor3);
[F3,sensor_pos3,fan_rot_angles3] = fanbeam(I,D, ...
    'FanSensorSpacing',dsensor3);

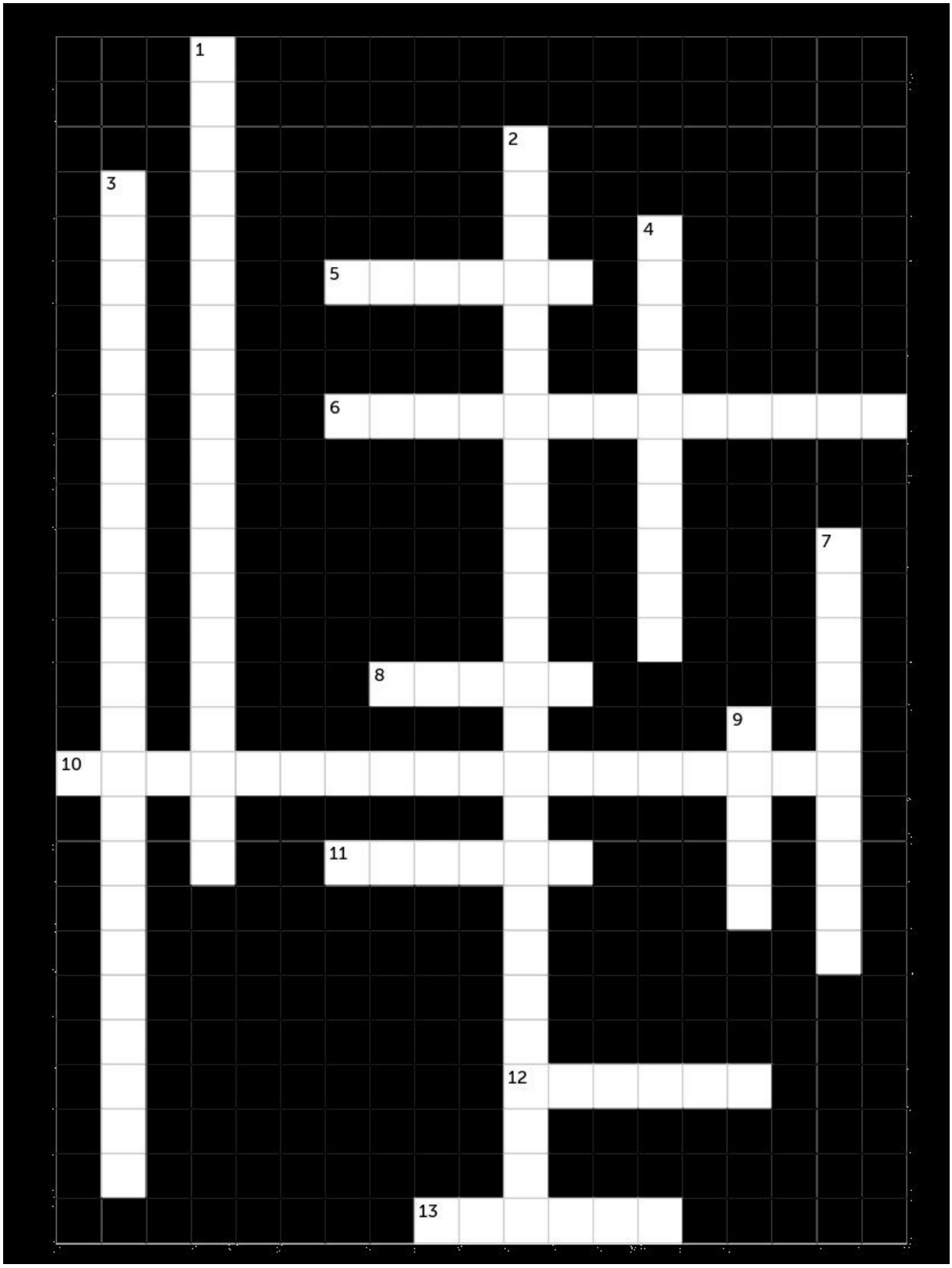
imagesc(fan_rot_angles3,sensor_pos3,F3)
colormap("gray")
colorbar
xlabel('Fan Rotation Angle (degrees)')
ylabel('Fan Sensor Position (degrees)')

Ifan1 = ifanbeam(F1,D,'FanSensorSpacing',dsensor1, ...
    'OutputSize',output_size);
Ifan2 = ifanbeam(F2,D,'FanSensorSpacing',dsensor2, ...
    'OutputSize',output_size);
Ifan3 = ifanbeam(F3,D,'FanSensorSpacing',dsensor3, ...
    'OutputSize',output_size);

montage({Ifan1,Ifan2,Ifan3},'Size',[1 3])
title(['Reconstruction from Fan Beam Projection with '...
```

'18, 24, and 90 Projection Angles'])

8.2. ANEXO 2: CRUCIGRAMA


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

Horizontal

5 Modelo físico que simula el cuerpo humano o partes de él para pruebas de radiología y calibración de equipo

6 Dispersión de fotones por interacción con electrones libres, causando una pérdida de energía y cambio de dirección del fotón

8 Unidad tridimensional de un volumen en una imagen digital, usada en tomografía

10 Energia sufiencte para extraer un electron de un atomó

11 Radiación electromagnética de alta energía capaz de penetrar materiales y usarse en diagnósticos médicos

12 Electrodo negativo en un tubo de rayos X que emite electrones hacia el ánodo

13 Enfermedad caracterizada por el crecimiento descontrolado de células anormales en el cuerpo

Vertical

1 Fenómeno en el que un átomo libera un electrón al absorber un fotón a una determinada energía.

2 Procesos matemáticos que convierten los datos de imagen en una representación visual en tomografía computarizada

3 Medida de cómo una sustancia reduce la intensidad de radiación que la atraviesa

4 Rama médica que utiliza imágenes de rayos X y otras radiaciones para diagnosticar y tratar enfermedades

7 Ciencia que mide la cantidad de radiación absorbida por los tejidos del cuerpo

9 Electrodo positivo en un tubo de rayos X que atrae electrones para producir la radiación

8.3. ANEXO 3: PREGUNTAS DE OPCIÓN MÚLTIPLE

Universidade Distrital Francisco José de Caldas
Facultad Ciencias Matemáticas y Naturales

José de Caldas - Facultad de Ciencias y Educación

Nombre : _____

Código: _____

1. **¿Nombre algunos tipos de interacción en la radiación –materia?**
   A) Efecto fotoeléctrico, dispersión Compton y producción de pares
   B) Efecto Doppler, dispersión Rayleigh y absorción de energía
   C) Desintegración radiactiva, dispersión de Rutherford y emisión de partículas alfa
   D) Absorción, reflexión y transmisión de radiación
2. **¿Porque se utiliza los rayos x para la radiografía y tomografía?**
   A) Porque no pueden atravesar los tejidos del cuerpo humano
   B) Porque tienen la capacidad de ionizar átomos en los tejidos
   C) Porque interactúan fuertemente con los electrones de los tejidos
   D) Porque permiten obtener imágenes de alta resolución sin dañar los tejidos
3. **¿Porque son perjudicial para la salud del ser vivo la radiación ionizante?**
   A) Porque genera calor y puede desintegrar las moléculas del cuerpo
   B) Porque puede causar daño en el ADN, lo que puede llevar a mutaciones y cáncer
   C) Porque causa cambios en el color de la piel y el cabello
   D) Porque aumenta la presión arterial y puede generar fatiga
4. **¿Qué es la tomografía computacional?**
   A) Un proceso en el que se utilizan imágenes por resonancia magnética para crear cortes transversales del cuerpo
   B) Un proceso que utiliza rayos X para obtener imágenes de alta resolución de cortes del cuerpo humano
   C) Una técnica para medir la temperatura del cuerpo humano a través de rayos infrarrojos
   D) Un tipo de examen que usa electrocardiogramas para crear imágenes en 3D
5. **¿Qué aplicaciones conoces sobre la tomografía de rayos x?**
   A) Diagnóstico de fracturas óseas, detección de tumores y análisis de estructuras internas
   B) Determinación de la temperatura corporal, análisis de la presión arterial y detección de enfermedades respiratorias
   C) Estudio de la actividad cerebral, tratamiento de enfermedades cardíacas y monitoreo de la función renal
   D) Evaluación de la masa muscular, análisis de fluidos corporales y detección de intoxicaciones alimentarias

6. **Preguntas de evaluación y control del expositor**

a) Excelente: Todo fue claro y bien estructurado.
b) Bueno: Mayormente claro, con algunos puntos a mejorar.
c) Regular: Hubo partes confusas o desorganizadas.
d) Deficiente: La presentación fue difícil de entender.

7. **¿Qué tan preparado consideras que estaba el docente respecto al tema presentado?**

a) Muy preparado/a: Dominó el tema completamente.
b) Adecuadamente preparado/a: Mostró buen conocimiento con pequeños vacíos.
c) Poco preparado/a: Demostró un conocimiento limitado del tema.
d) Nada preparado/a: Mostró desconocimiento evidente.

8. **¿Cómo evalúas el manejo del tiempo durante la presentación?**

a) Excelente: El tiempo fue bien distribuido y suficiente.
b) Bueno: Hubo un pequeño desbalance, pero no afectó mucho.
c) Regular: No se cubrieron todos los puntos o fue apresurado.
d) Deficiente: El manejo del tiempo dificultó seguir la presentación.

9. **¿Qué aspectos consideras que el docente puede mejorar en futuras presentaciones?**

_____
_____
_____

10. **¿Qué fue lo que más te gustó de la forma en que el docente presentó el tema y por qué?**

_____
_____
_____

Gracias

8.4. ANEXO 4: TALLER DE TOMOGRAFÍA COMPUTACIONAL

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Ciencias y Educación

Proyecto Curricular Licenciatura en Física

TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA

Objetivos generales:

- Desarrollar y aplicar los recursos propuestos en el kit de materiales aplicado en la tomografía computacional para a su enseñanza y aprendizaje.

Objetivos específicos:

- Determinar el coeficiente de atenuación (μ) del objeto del kit de materiales.
- Construcción de una imagen en 3D de un objeto a partir de la tomografía computacional.

Curso: _____ grupo: _____ Año: _____

Nombres:

1). _____

2). _____

3). _____

4). _____

Nota: Estas son las condiciones y recomendación ante aplicación del taller

- Al estar al frente de tomógrafo del laboratorio de física siempre mantenga el orden y siga las instrucciones de seguridad, uso y explicaciones correspondientes a la practica
- Cada grupo tiene que adquirir anteriormente una **USB** con una capacidad minima de 2 gigas para guardar la información correspondiente a la práctica
- Descargue el software para que pueda manipular, analizar y desarrollar el taller en el enlace: https://www.leybold-shop.com/x-ray-apparatus-554800.html en la parte de

donwload MSI Software Computed Tomography (en, V2.11) en el portátil personal o prestado por parte del laboratorio de física

ACTIVIDAD 1. ADQUISION DE RADIOGRAFIA

Actividad 1.1.

Cuando el Phantom esté dentro del tomógrafo genere tres radiografías con diferente ángulo

Figura 1. ángulo: ____

Figura 2. ángulo: ____

Figura 3. ángulo: ____

Actividad 1.2.

Aplique tres diferentes diferencias de potenciales eléctrico (eV) y tome la información en imágenes

Figura 4. U1: ____

Figura 5. U2: ____

Figura 6. U3: ____

Actividad 2.1

Realice la tomografía computacional del Phantom y tome tres diferentes imágenes del objeto a diferentes distancias paralelas del eje axial del objeto

Figura 7.

Figura 8.

Figura 9.

Actividad 2.2

Al tener tomografía computacional del Phantom y tome tres diferentes distancias del objeto y compare con el objeto "*real*" con instrumentos del laboratorio de física como el calibre medidas o pie de rey determinado el **error absoluto** y **relativo** (Nota: si se puede abrir el recipiente para tomar la medida, esto no se puede aplicar a los Phantom de carácter **biológicos**)

Actividad 3

Al tener tomografía computacional del Phantom genere tres imágenes con diferentes parámetros de **intensidad y trasparencia** y determine el rango del coeficiente de atenuación (μ) del objeto

Figura 10.

Figura 11.

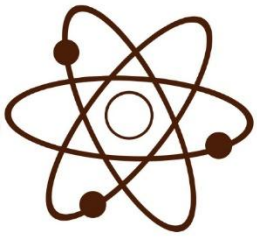
Figura 12.

8.5. ANEXO 5: DIAPOSITIVAS DE LA ACTIVIDAD 1.



Contenido

- Fundamentos y Estructura del átomo
- Producción de rayos x
- Interacción Radiación-materia
- Radiografía
- Escala Hounsfield (HU)
- Tomografía computarizada historia y Fundamentos







UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



Modelo físico del átomo a través del tiempo

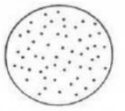


FIGURA 4-1
Modelo de Thomson del átomo-esfera de carga positiva con electrones incrustados.

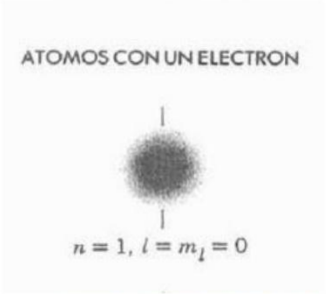
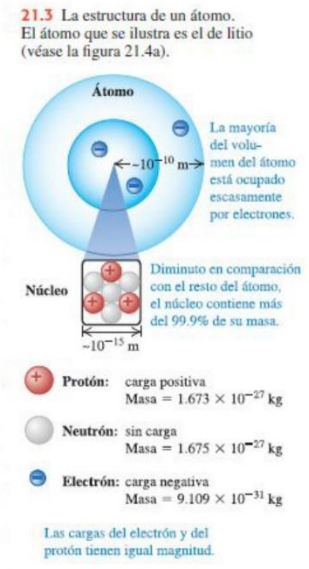


Figura 4.2 de Eisberg y Resnick (2013, p. 116)

Figura 7.10 de Eisberg y Resnick (2013, p. 132)

Figura 21.3 de Young y Freedman (2009, p. 711)



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

mas info.

Cuantificación de la energía en el átomo

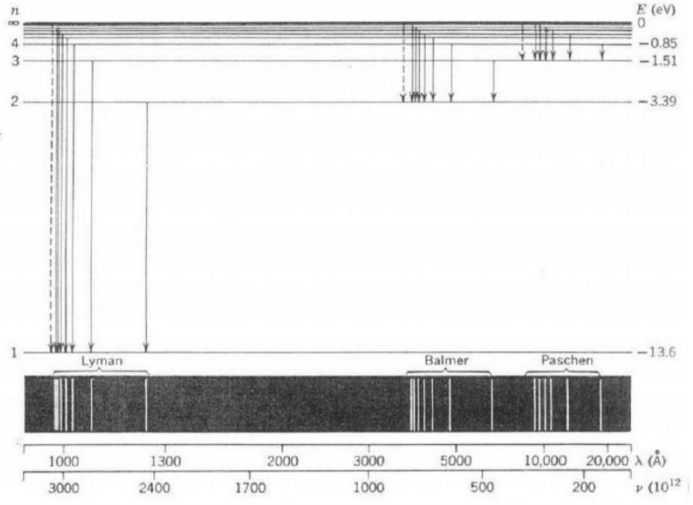
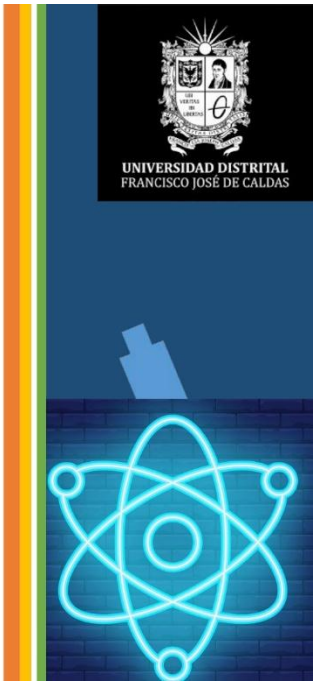
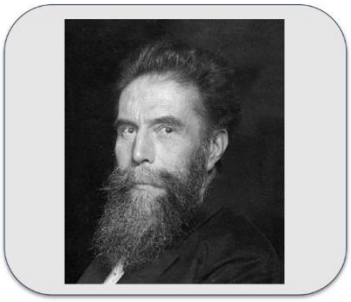


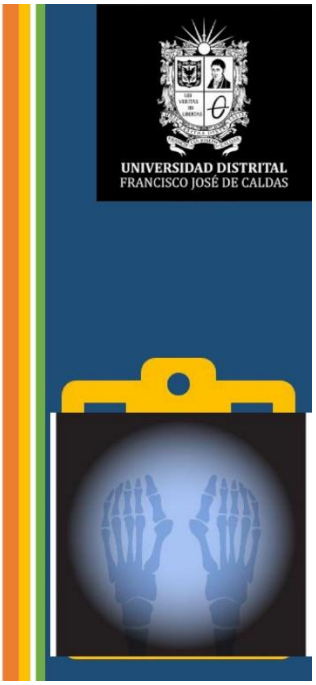
Figura 4.14 de Eisberg y Resnick (2013, p. 135)



Descubrimiento de los rayos x.

- Wilhelm Conrad Röntgen (1845–1923) descubrió los rayos X la noche del viernes 8 de noviembre de 1895.

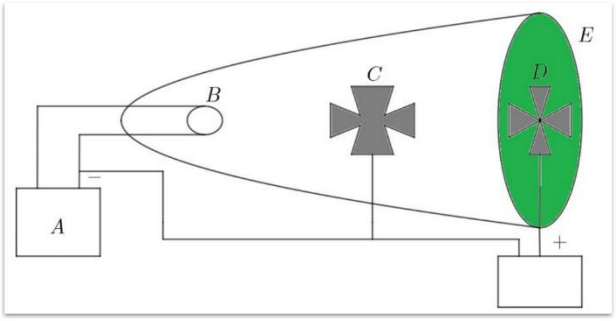




Wilhelm Röntgen. (2024). En *Wikipedia: La enciclopedia libre*. Recuperado el [fecha de consulta, por ejemplo: 10 de noviembre de 2024], de https://es.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_R%C3%B6ntgen

Descubrimiento de los rayos x.

- experimentación con un Tubo de Crookes o rayos catódicos .



Representación de un Tubo de Crookes elaboración propia.

Descubrimiento de los rayos x.



Figura 3. Radiografía de la mano de Anna Roentgen.

Figura 3 de García P. y García B. (2005, p. [180])



Producción de los rayos x.

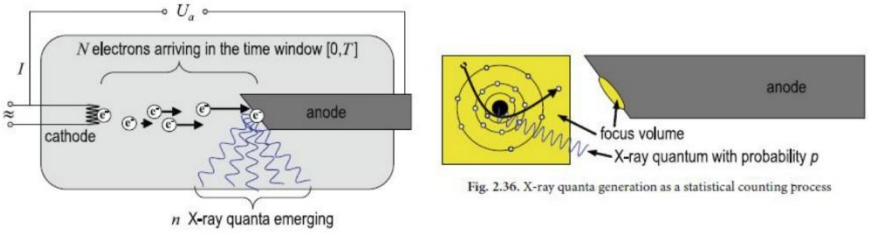
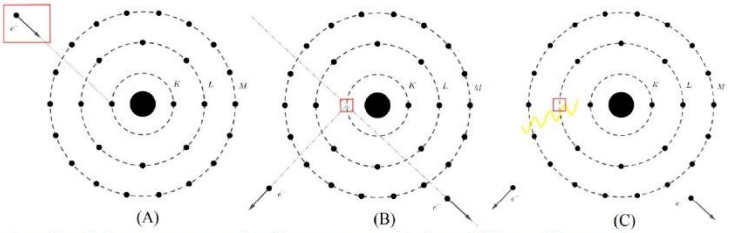


Fig. 2.36. X-ray quanta generation as a statistical counting process



la producción de los rayos x con los fotones característicos Elaboración propia
Figura 2.36 de Buzug,(2008, p. 70).

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Espectro de los rayos x.

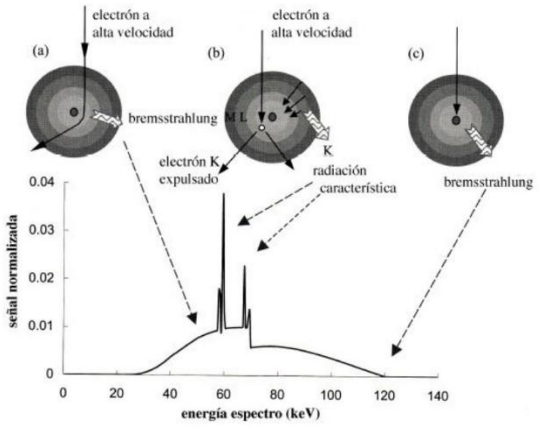


Figura 1.1 de Franco,(2008, p. 22).

Interacción radiación-materia .

- experimentación con un Tubo de Crookes o ravos catodicos .

$(E(\lambda_0), \vec{I}_0)$

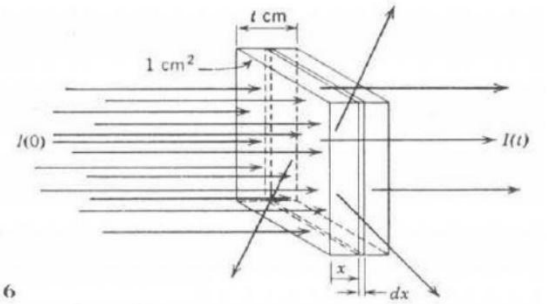


FIGURA 2-16
Haz de fotones atravezando una lámina.

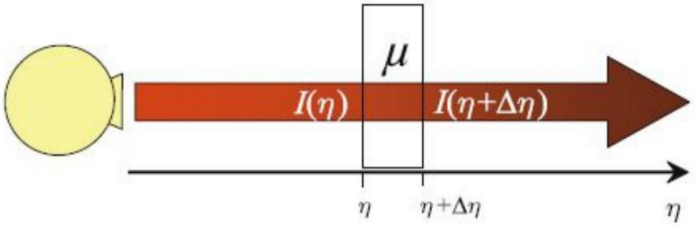
$(E(\lambda), \vec{I}_t)$

Figura 2.16 de Eisberg y Resnick (2013, p. 70)

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Ley de Beer-Lambert.

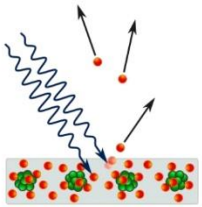
- La Ley de Beer-Lambert .

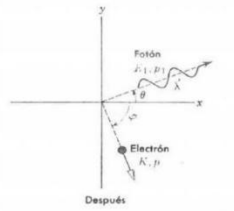


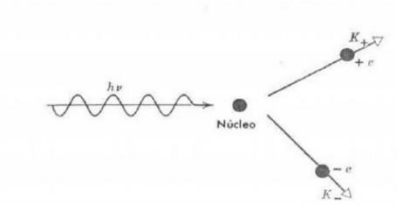
$$I(\eta) = I_0 \, e^{-\mu \, \eta}$$

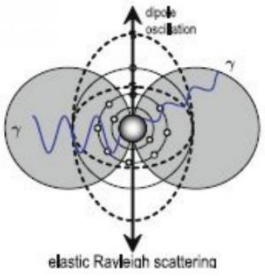
Figura 2.14 de Buzug (2008, p. 42) .

Interacción radiación-materia .









Efecto fotoeléctrico. (2024). En Wikipedia: La enciclopedia libre. Recuperado el 10 de noviembre de 2024, de https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_fotoel%C3%A9ctrico

Figura 2.7 de Eisberg y Resnick (2013, p. 57)

Figura 2.15 de Buzug,(2008, p. 45)

Figura 2.12 de Eisberg y Resnick (2013, p. 65)

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

- Efecto fotoeléctrico
- Efecto Compton
- La dispersión de Rayleigh
- Creación de pares de partículas
- Dispersión de Thomson

Escala Hounsfield (HU).

- Godfrey Newbold Hounsfield (1919-2004)

$$HU = \frac{\mu - \mu_{h2o}}{\mu_{h20}} \cdot 1000$$

Sustancia	HU
Aire	−1000
Pulmón	−500
Grasa	−100 a −55
Agua	0
Líquido cerebroespinal	15
Riñón	30
Sangre	30 a 45
Músculo	10 a 40
Sustancia Gris	37 a 45
Sustancia Blanca	20 a 30
Hígado	40 a 60
Medios de contraste	100 a 300

Tabla de "Escala Hounsfield" (2024)

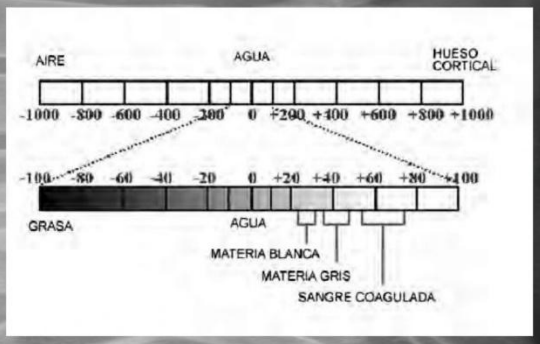
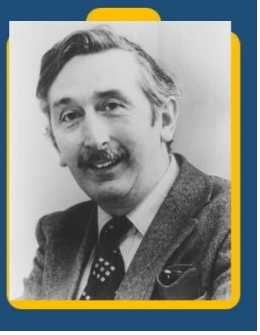
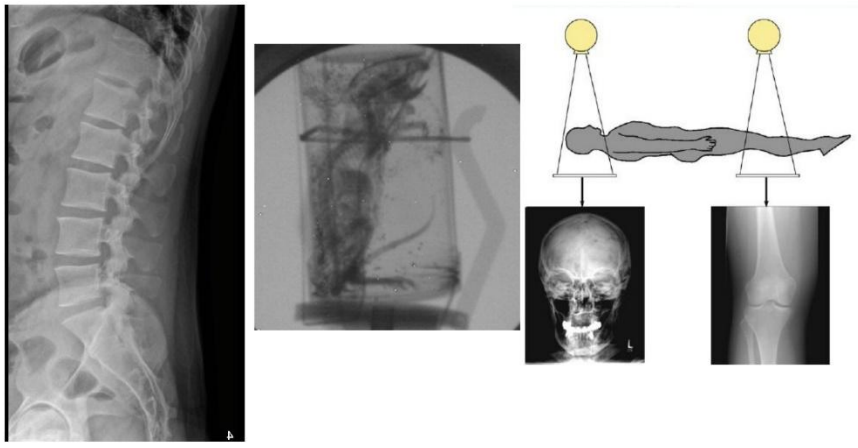


Figura 8 de J T Hathcock (1993, p. 8)

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS



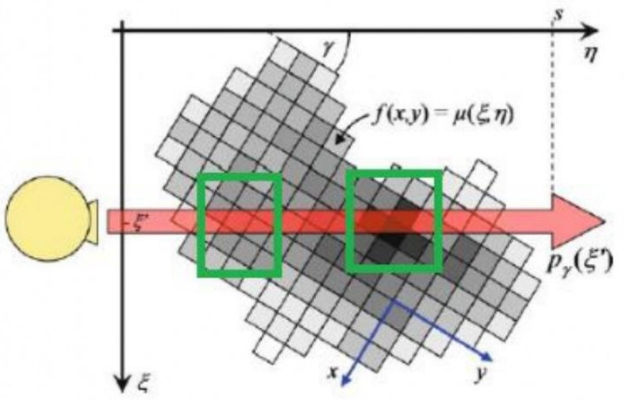
Producción de los rayos x.



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Figura 3.1 de Buzug,(2008, p. 85)
Radiografia realizada al autor
Radiografia de un ratón, elaboracion propia

Tomografia Computacial (TC).



Producción de los rayos x.

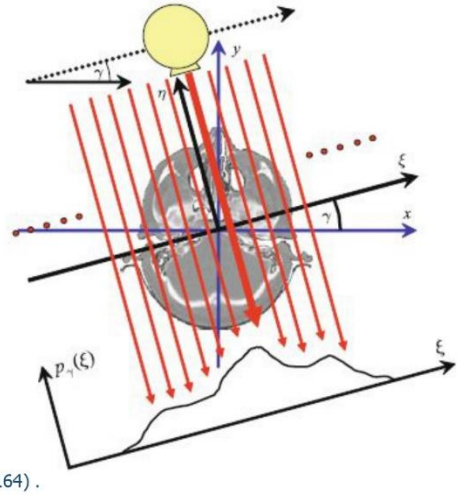


Figura 5.5 de Buzug,(2008, p. 164) .

TC y Construcción de imagen.

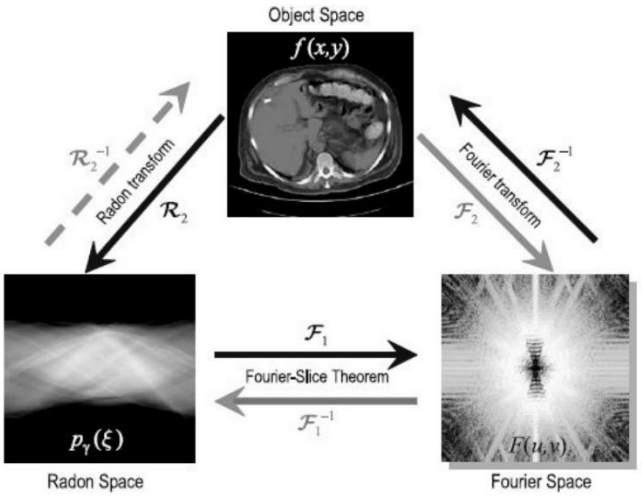


Figura 5.15 de Buzug,(2008, p. 175)

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Espacio de Radon

Espacio Fourier

TC y Construcción de imagen.

•

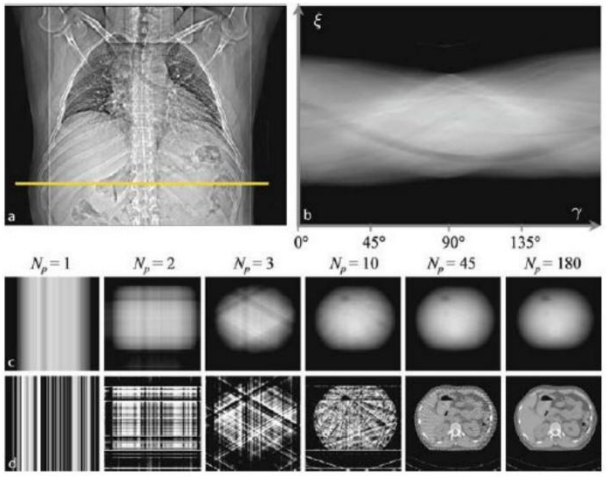


Figura 5.28 de Buzug,(2008, p. 194)

UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

A mayor Proyecciones mejor imagen. Aplicaciones filtros

Producción de los rayos x.

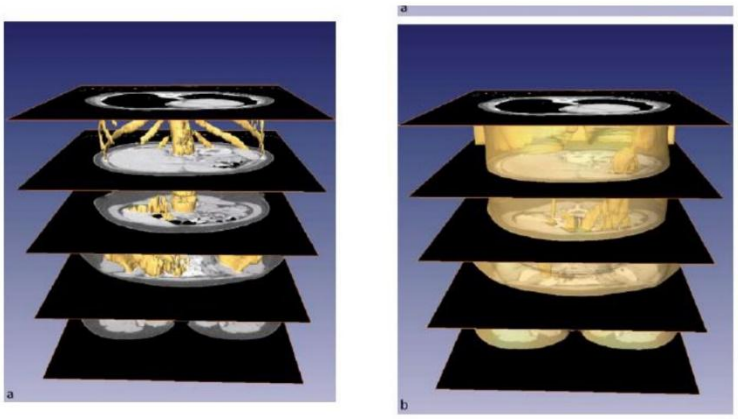


Figura 8.6a,b de Buzug,(2008, p. 315)

Producción de los rayos x.

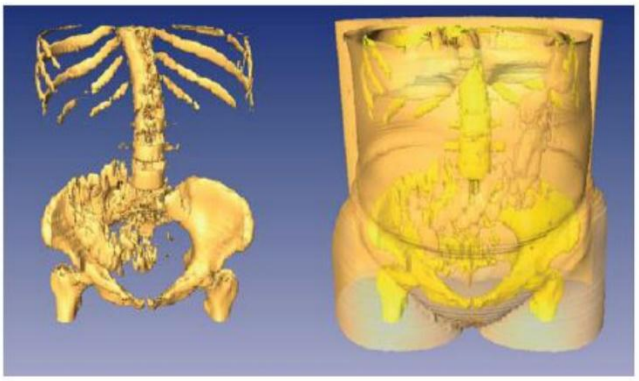


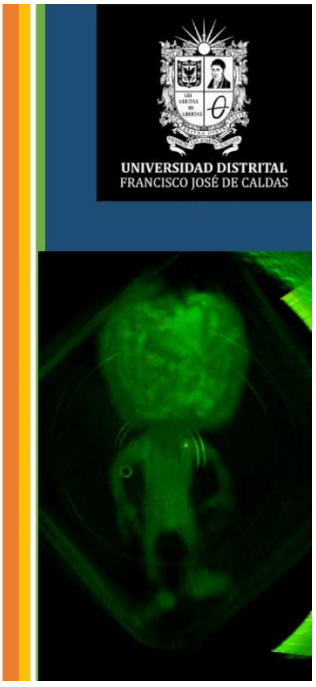
Figura 8.2 de Buzug,(2008, p. 312)

Tomografía Computacional al alien.





Elaboracion propia (tesis)



Referencia.

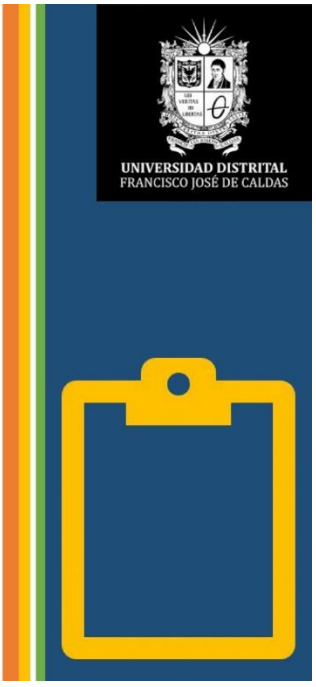
Buzug, T. M.(2008). Computed tomography: From photon statistics to modern cone-beam CT. Springer-Verlag.

Eisberg, R. M., & Resnick, R. (1985). Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas* (2.ª ed.). Limusa.

García P., I., & García B., C. (2005). Historia de la Radiología: Anna Bertha Roentgen (1833-1919): La mujer detrás del hombre. , 11(4), [página de la imagen].

Smith, J. A.(2010). Principles and concepts of computed tomography*. Springer.

joung, H. D., & Freedman, R. A.(2009). Física universitaria con física moderna* (12.ª ed., Vol. 2). Pearson/Addison-Wesley.




UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
Thank You!



8.6.ANEXO 6: DATOS OBTENIDOS A PARTIR DEL DETECTOR GEIGER DE LA RADIACIÓN DE LOS RAYOS X EN LOS TUBOS COMO AU Y W

8.6.1. DETECCIÓN GEIGER A UNA EMISIÓN DE RADIACIÓN CONSTANTE EN FUNCIÓN DE TIEMPO

Tabla 29

Detección del detector Geiger a una radiación constante en función del tiempo del tubo de Oro

35	1					
keV	Ma					
#/s	#/s	#/s	#/s	#/s	#/s	#/s
8704	8466	8178	7965	7638	7462	7375
8671	8468	8062	7859	7659	7481	7376
8720	8449	8173	7879	7744	7522	7374
8709	8450	8144	7832	7616	7466	7315

8701	8413	8086	7871	7682	7459	7323
8709	8455	8038	7797	7632	7508	7260
8714	8391	8162	7882	7643	7390	7370
8710	8378	8107	7840	7663	7422	7277
8704	8386	8052	7906	7708	7494	7337
8709	8393	7989	7828	7686	7442	7237
8705	8399	8027	7887	7643	7526	7244
8684	8358	8138	7889	7615	7467	7316
8682	8377	8106	7845	7602	7326	7317
8689	8365	8052	7794	7667	7419	7238
8671	8391	8050	7804	7617	7405	7227
8660	8350	8143	7818	7601	7524	7337
8625	8344	8026	7899	7651	7422	7312
8686	8354	8060	7815	7551	7478	
8641	8295	8013	7763	7702	7425	
8644	8288	7967	7748	7613	7489	
8635	8318	8047	7745	7561	7441	
8634	8271	8118	7804	7546	7448	
8573	8321	7965	7765	7598	7467	
8594	8277	8023	7729	7573	7308	
8628	8293	7985	7806	7562	7345	
8541	8306	7941	7741	7616	7342	
8590	8249	8002	7774	7491	7415	
8587	8229	7923	7732	7567	7483	
8560	8254	8030	7813	7569	7308	
8567	8299	7924	7768	7507	7420	
8576	8247	7971	7774	7564	7445	
8522	8265	7959	7766	7532	7489	
8552	8198	7976	7788	7518	7429	
8572	8265	7913	7741	7624	7445	

8541	8168	7960	7757	7540	7477
8567	8226	7928	7709	7490	7341
8520	8198	7955	7736	7573	7302
8501	8197	7872	7788	7544	7388
8513	8265	7939	7686	7535	7308
8516	8108	7870	7635	7569	7344
8465	8175	7898	7738	7549	7416
8540	8111	7939	7755	7464	7290
8461	8079	7902	7743	7542	7367

8.7. DETECCIÓN DE RAYOS EN FUNCIÓN DE KEV Y MA

1 Ma	Au		
keV	#/s	#/s	#/s
35	8431	8437	8361
34,5	8177	8209	8127
34	8056	7982	7907
33,5	7801	7811	7708
33	7631	7628	7629
32,5	7437	7416	7344
32	7256	7316	7238
31,5	7130	7049	7095
31	7073	6982	6964
30,5	6765	6848	6838
30	6687	6658	6653
29,5	6526	6488	6481
29	6379	6459	6467
28,5	6153	6255	6199
28	6116	6123	6091

27,5	5832	5941	5955
27	5884	5771	5750
26,5	5570	5683	5651
26	5489	5414	5401
25,5	5303	5325	5306
25	5171	5136	5133
24,5	5092	5027	5079
24	4765	4906	4894
23,5	4721	4844	4719
23	4649	4678	4581
22,5	4597	4581	4718
22	4330	4328	4395
21,5	4256	4206	4258
21	4161	4033	4149
20,5	3972	3953	3954
20	3820	3856	3892
19,5	3706	3789	3745
19	3618	3594	3559
18,5	3465	3444	3458
18	3365	3273	3298
17,5	3207	3211	3225
17	3061	3019	3069
16	2825	2849	2753
15,5	2682	2640	2616
15	2515	2568	2540
14,5	2359	2393	2395
14	2183	2169	2111
13,5	2116	2087	2089
13	1879	1951	1875
12,5	1758	1798	1781

12	1658	1601	1654
11	1290	1286	1286
10,5	1112	1145	1135
10	962	1021	1002
9,5	833	852	808
9	648	630	663
8,5	542	468	463
8	365	333	356
7,5	235	229	248
7	124	140	132
6	38	23	23
5,5	9	14	16
0,7mA	Au		
keV	conteo	conteo	conteo
35	7394	7425	7407
34,5	7033	7123	7043
34	6937	6917	6813
33,5	6755	6646	6661
33	6551	6575	6599
32,5	6352	6254	6271
32	6171	6192	6193
31,5	6015	6027	6025
31	5885	5738	5827
30,5	5778	5712	5613
30	5528	5501	5440
29,5	5421	5364	5422
29	5200	5115	5225
28,5	5138	5084	5134
28	4978	5000	4923

27,5	4852	4814	4812
27	4720	4741	4738
26,5	4652	4598	4620
26	4622	4485	4414
25,5	4370	4394	4384
25	4257	4266	4280
24,5	4135	4176	4094
24	4112	4061	4092
23,5	3929	3974	3986
23	3890	3897	3791
22,5	3704	3757	3726
22	3695	3592	3671
21,5	3573	3492	3526
21	3553	3403	3456
20,5	3329	3394	3338
20	3239	3247	3217
19,5	3136	3145	3053
19	3040	3026	3049
18,5	2822	2908	2948
18	2760	2792	2757
17,5	2630	2614	2686
17	2568	2596	2545
16,5	2431	2462	2453
16	2336	2251	2294
15,5	2210	2163	2168
15	2045	2033	2087
14,5	1943	1932	1932
14	1791	1769	1687
13,5	1647	1645	1655
13	1535	1502	1515

12,5	1457	1364	1393
12	1313	1368	1248
11,5	1132	1156	1157
11	1015	1010	1007
10,5	914	853	865
10	710	765	735
9,5	651	658	600
9	485	445	482
8,5	343	317	323
8	219	255	219
7,5	161	147	137
7	78	92	90
6,5	37	45	58
6	16	20	10
0,5mA	Au		
keV	conteo	conteo	conteo
35	6498	6498	6561
34,5	6432	6438	6399
34	6269	6261	6289
33,5	6182	6160	6158
33	6138	6031	5953
32,5	5975	6013	5880
31,5	5742	5660	5750
31	5545	5552	5664
30,5	5376	5441	5483
30	5296	5404	5350
29,5	5126	5232	5182
29	5084	5036	5030
28,5	4903	4907	4966

28	4764	4881	4800
27,5	4623	4743	4770
27	4501	4617	4578
26,5	4469	4408	4428
26	4277	4350	4299
25	4067	4059	4091
24	3928	3914	3942
23,5	3829	3802	3769
23	3715	3702	3645
22,5	3600	3609	3638
22	3545	3488	3477
21,5	3313	3436	3410
21	3264	3239	3281
20,5	3146	3242	3166
20	3048	3052	3074
19,5	2943	2912	2895
19	2804	2816	2796
18	2527	2582	2529
17	2269	2333	2287
16	2105	2080	2103
15	1749	1784	1856
14	1548	1577	1550
13,5	1431	1421	1436
13	1242	1309	1339
12	1032	1072	1064
11,5	972	939	889
11	886	856	822
10,5	747	715	734
10	621	624	628
9,5	478	487	524

9	358	366	361
8,5	276	294	282
8	179	194	203
7,5	119	121	117
7	60	63	70
6,5	34	37	31
6	16	13	14
0,3ma	Au		
keV	conteo	conteo	conteo
35	4713	4713	4757
34,5	4617	4521	4423
34	4358	4305	4329
33,5	4294	4361	4285
33	4200	4202	4246
32,5	4170	4183	4068
32	4062	4007	4054
31,5	3989	3980	3943
31	3850	3876	3882
30,5	3785	3748	3755
30	3731	3756	3765
29,5	3670	3695	3624
29	3601	3618	3637
28,5	3542	3552	3577
28	3472	3501	3906
27,5	3354	3395	3416
27	3361	3379	3405
26,5	3245	3202	3255
26	3207	3244	3220
25,5	3079	3130	3134

25	3072	3053	3003
24,5	3016	2976	2992
24	2880	2837	2886
23,5	2865	2837	2842
23	2712	2740	2777
22,5	2679	2657	2655
22	2563	2573	2610
21,5	2467	2437	2473
21	2376	2426	2481
20,5	2386	2265	2283
20	2192	2235	2259
19,5	2138	2107	2160
19	2133	2048	2049
18,5	1940	1945	1963
18	1901	1905	1916
17,5	1756	1797	1771
17	1696	1659	1740
16,5	1599	1567	1594
16	1475	1398	1454
15,5	1346	1339	1422
15	1323	1277	1253
14,5	1194	1190	1194
14	1040	1082	1074
13,5	972	1021	947
13	897	858	901
12	725	704	719
11,5	635	675	645
11	550	563	505
10,5	489	478	408
10	394	417	379

9,5	297	335	300
9	241	255	247
8,5	197	170	167
8	106	121	109
7,5	75	61	74
7	38	29	42
6,5	18	16	15

8.8.DATOS DEL TUBO DE RAYOS X DE WOLFRAMIO W

1mA	W		
keV	#/s	#/s	#/s
35	8743	8675	8743
34,5	8721	8730	8670
34	8637	8703	8668
33,5	8573	8560	8575
33	8476	8483	8539
32,5	8420	8402	8417
32	8330	8294	8256
31,5	8155	8187	8260
31	8016	8105	8113
30,5	7994	7996	7949
30	7860	7876	7907
29,5	7664	7727	7654
29	7581	7596	7533

28,5	7431	7432	7421
28	7234	7193	7242
27,5	7196	7172	7131
27	6908	6914	6964
26,5	6781	6779	6776
26	6661	6608	6604
25,5	6479	6483	6499
25	6278	6259	6219
24	5946	5819	5844
23,5	5745	5755	5754
23	5437	5422	5475
22,5	5267	5262	5254
22	5030	5124	5047
21,5	4932	4913	4946
21	4774	4645	4730
20,5	4523	4466	4590
20	4423	4441	4429
19,5	4252	4243	4183
19	4001	4088	4072
18,5	3915	3942	3935
18	3798	3787	3745
17,5	3620	3619	3614
17	3408	3426	3441

16,5	3298	3347	3353
15	2717	2745	2743
14,5	2596	2541	2572
14	2372	2393	2381
13,5	2221	2190	2220
13	2015	2047	2042
12,5	1841	1908	1860
12	1702	1685	1717
11,5	1570	1510	1514
11	1316	1316	1329
10,5	1161	1159	1180
10	1086	1063	1046
9,5	833	850	843
9	858	860	863
8,5	565	603	557
8	438	452	448
7,5	259	267	273
7	197	161	195
6,5	101	93	118
6	48	44	51
5,5	12	23	22
5	6	4	5

0,7mA	W		
keV	#/s	#/s	#/s
35	7343	7414	7495
34,5	7313	7334	7327
34	7198	7202	7201
33,5	7016	7025	7069
33	6823	7049	6860
32,5	6719	6696	6710
32	6576	6701	6520
31,5	6468	6450	6454
31	6195	6162	6130
30,5	6028	6153	6044
30	5917	5861	5978
29,5	5731	5708	5791
29	5673	5591	5608
28,5	5483	5545	5475
28	5278	5355	5333
27,5	5295	5234	5247
27	4996	5193	5153
26,5	4850	4953	4893
26	4764	4761	4778

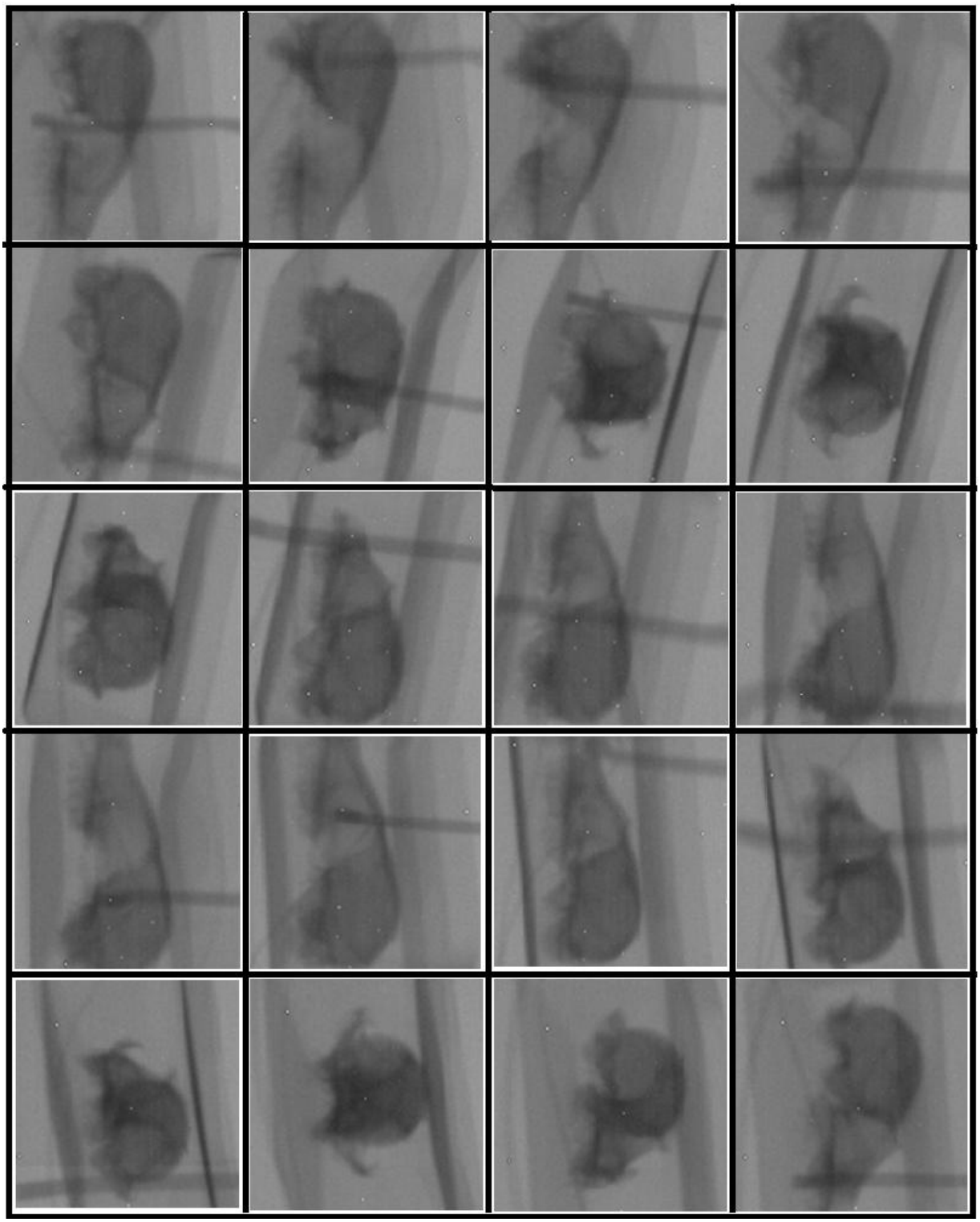
25,5	4614	4637	4726
25	4498	4443	4513
24,5	4494	4395	4387
24	4248	4193	4214
23,5	4123	4141	4103
23	4064	4048	4111
22,5	3928	3923	3941
22	3796	3864	3717
21,5	3721	3696	3725
21	3556	3586	3552
20,5	3480	3498	3456
20	3331	3348	3379
19,5	3214	3259	3169
19	3108	3182	3158
18,5	3048	3008	2983
18	2900	2901	2838
17,5	2823	2797	2814
17	2654	2634	2607
16,5	2535	2522	2532
16	2292	2369	2375
15,5	2166	2250	2203
15	2068	2050	2076
14,5	1936	1922	1885

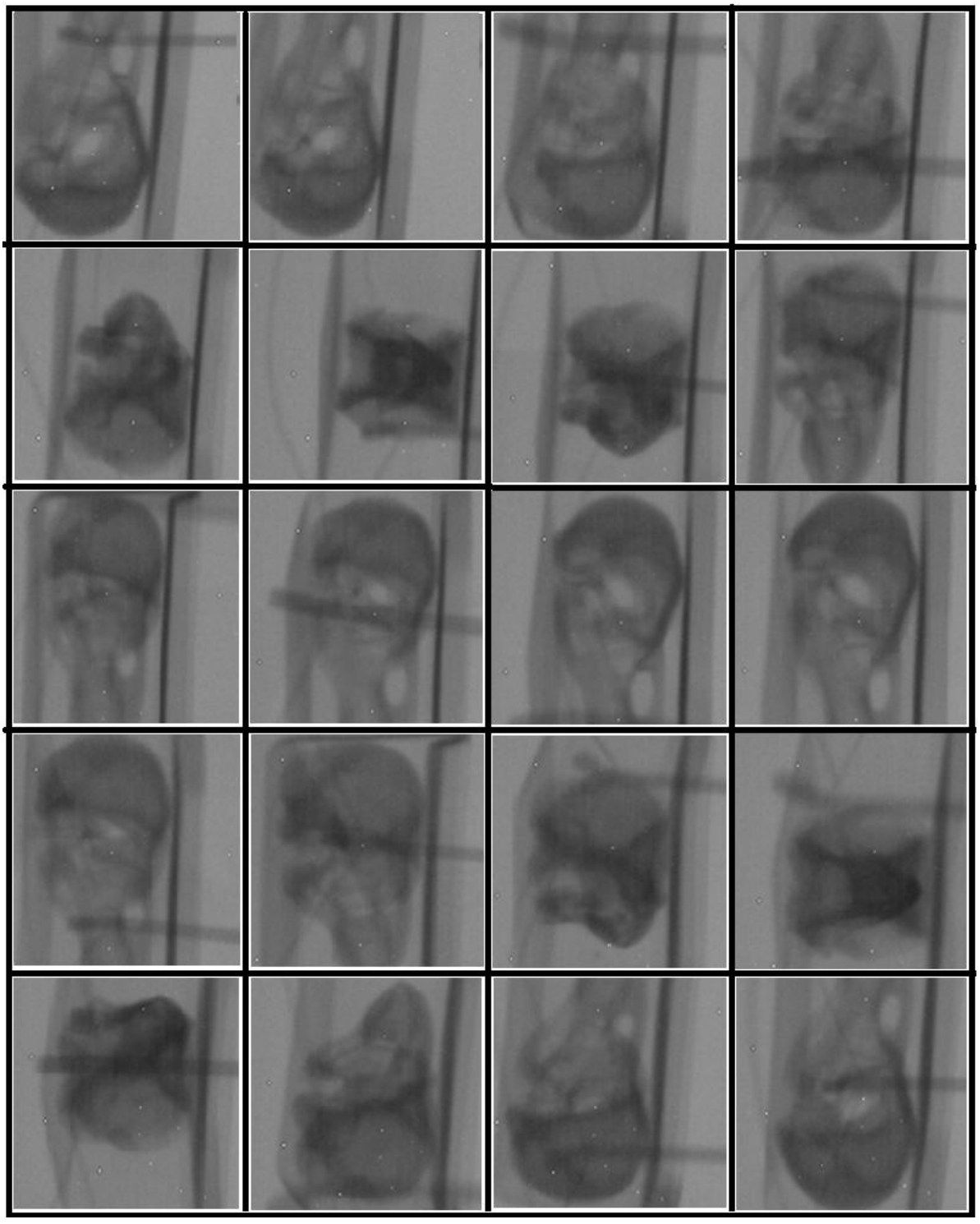
14	1767	1753	1755
13,5	1639	1634	1629
13	1496	1513	1483
12,5	1328	1339	1303
12	1248	1218	1180
11,5	1080	1052	1084
11	973	980	930
10,5	850	835	832
10	776	695	726
9,5	609	593	597
9	478	470	494
8,5	414	362	365
8	264	283	234
7,5	173	196	181
7	111	129	120
6,5	59	66	61

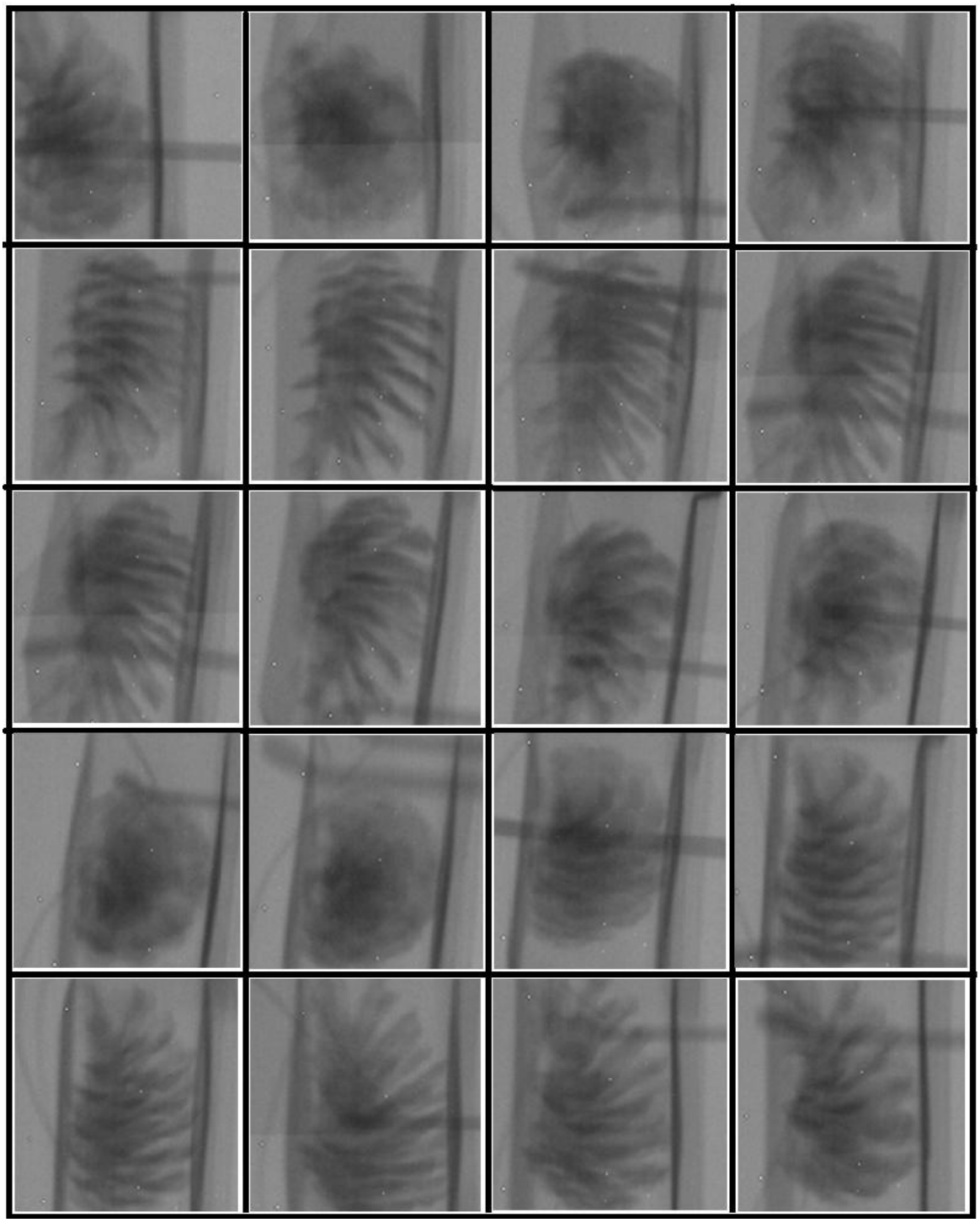
8.9.ANEXO 7: RADIOGRAFÍA DE CADA OBJETO

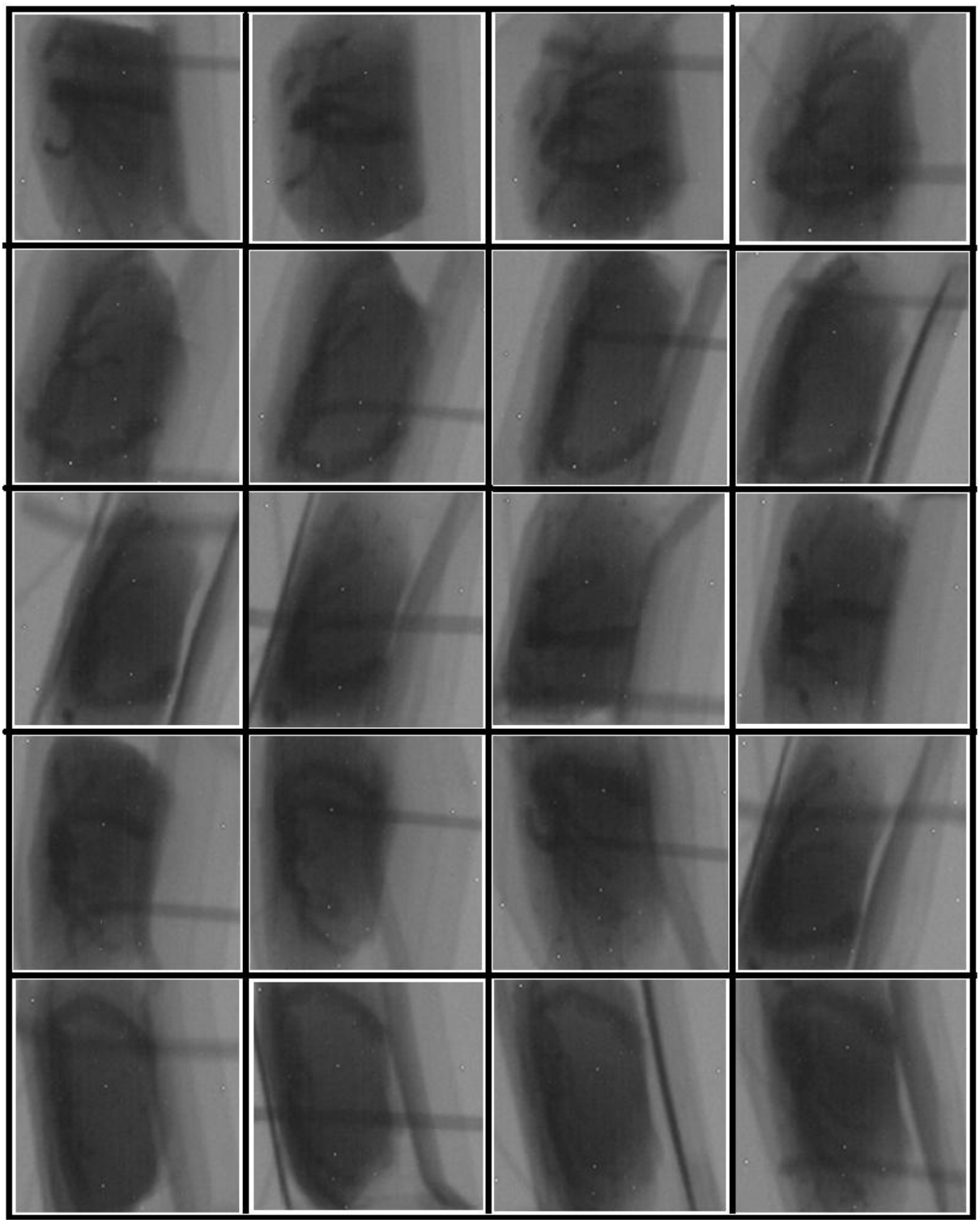
Se le aplicó radiografía a cada uno de los objetos del kit de materiales con proyecciones 18°

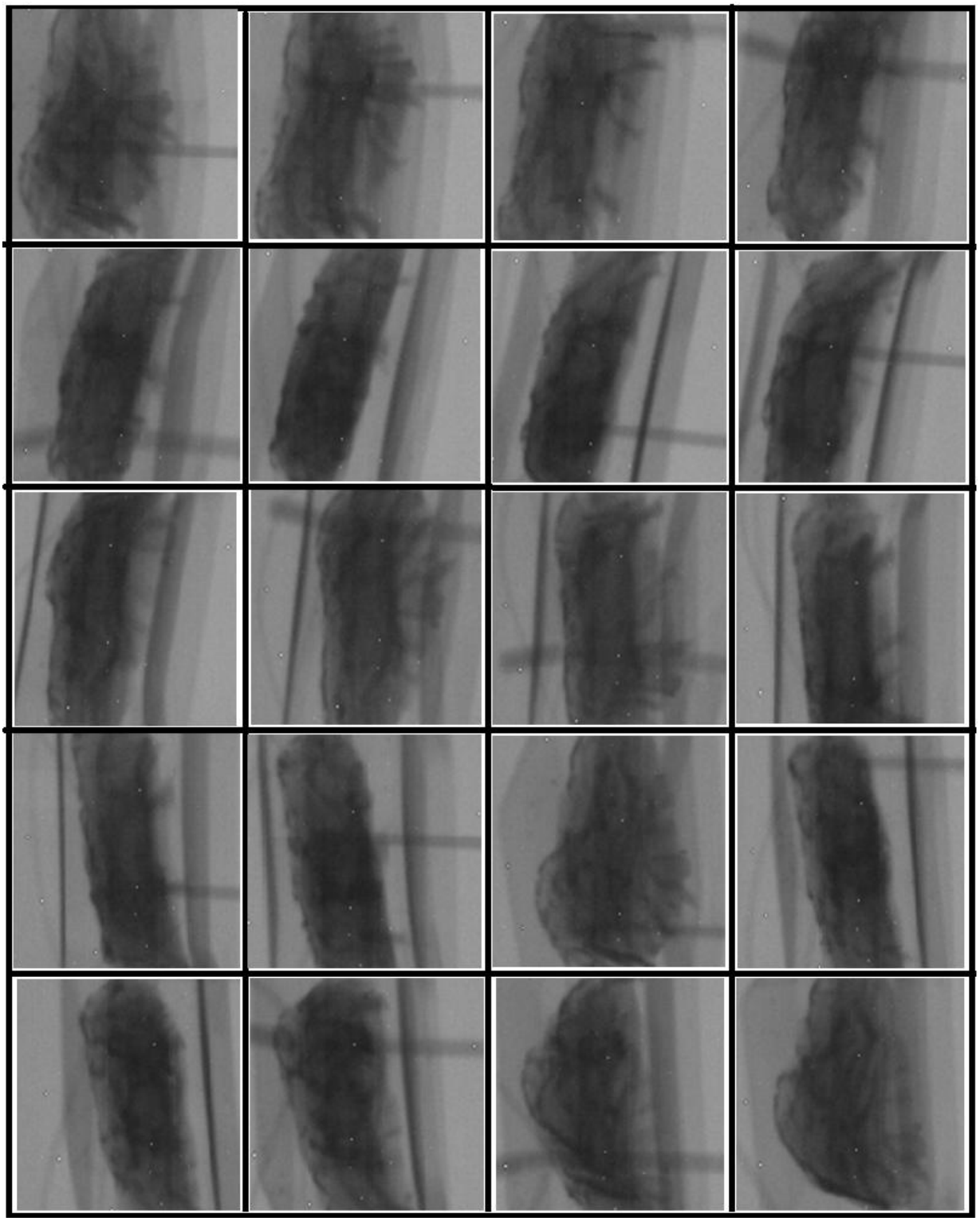
36°, 54°, 72°, 90°, 108°, 126°, 144°, 162°, 180°, 198°, 216°, 234°, 252°, 270°, 288°, 306°, 324°, 342°, 360°.

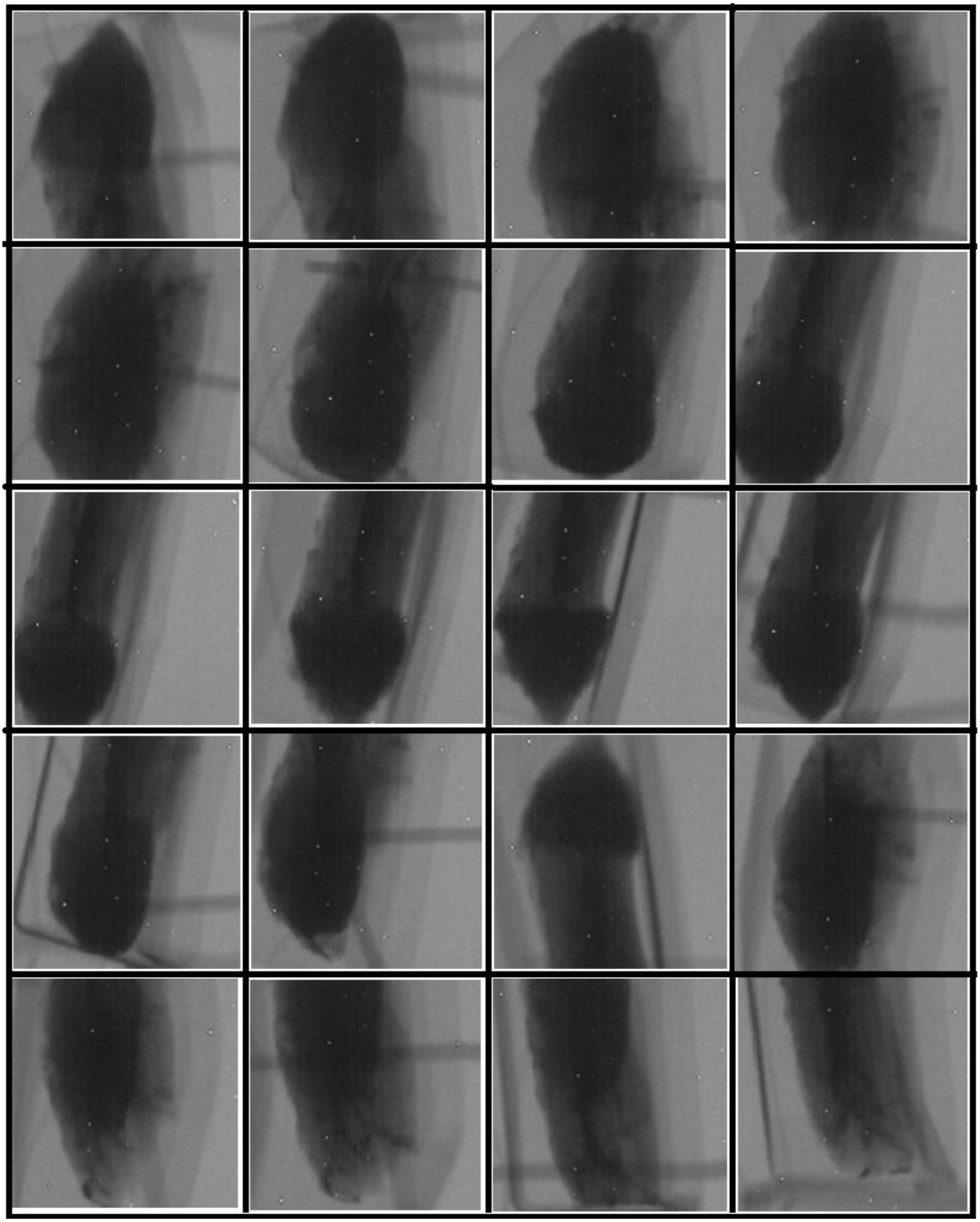


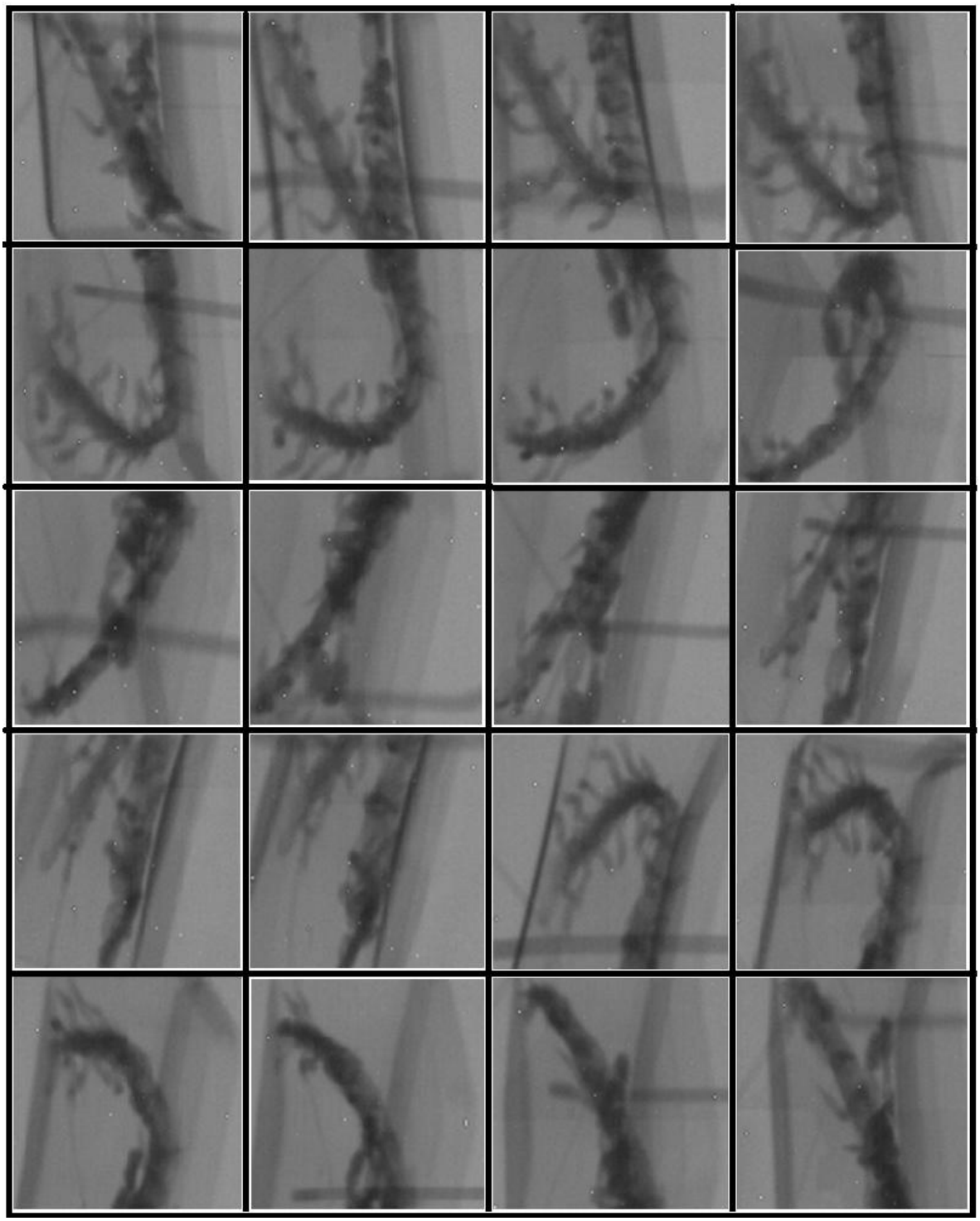


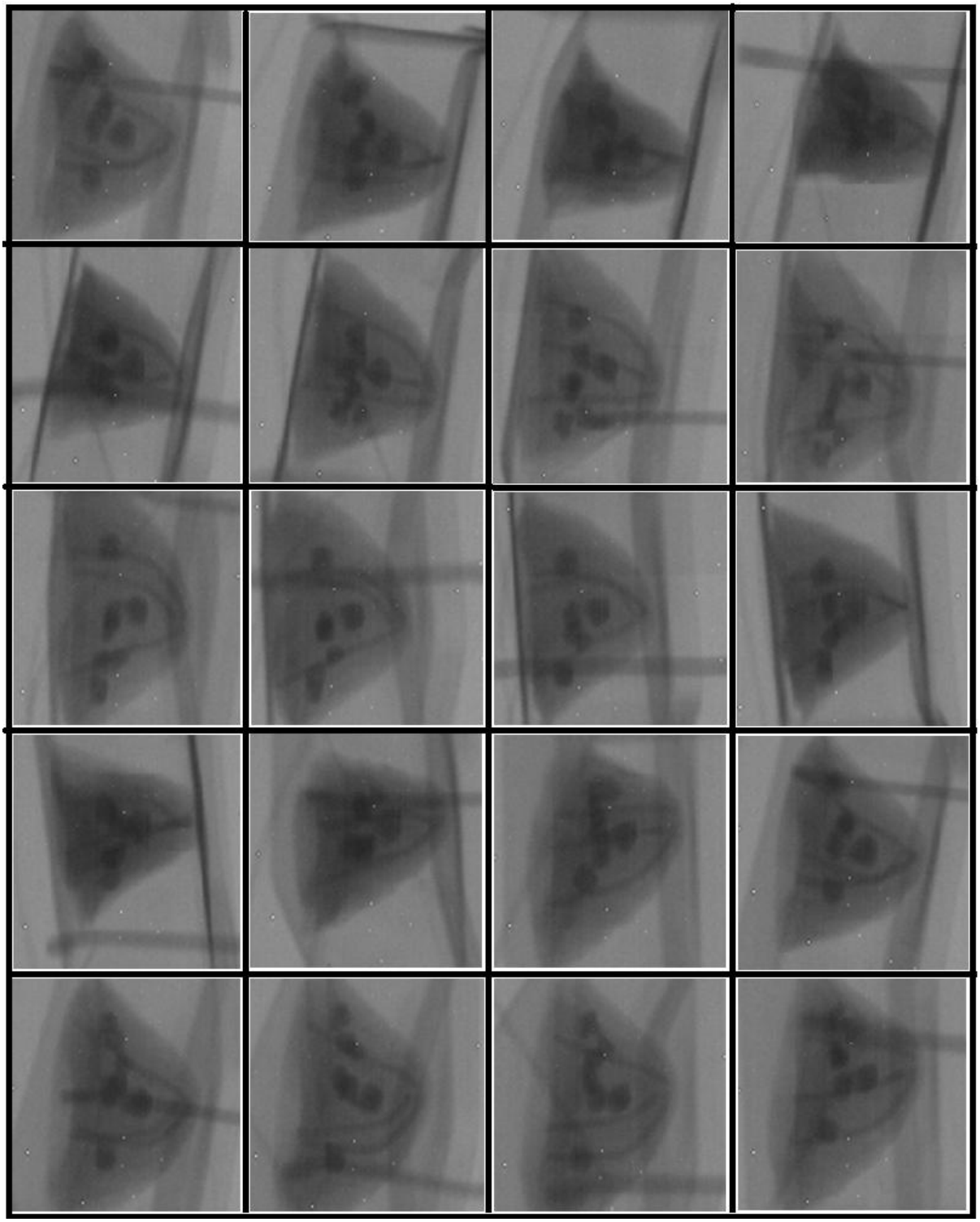


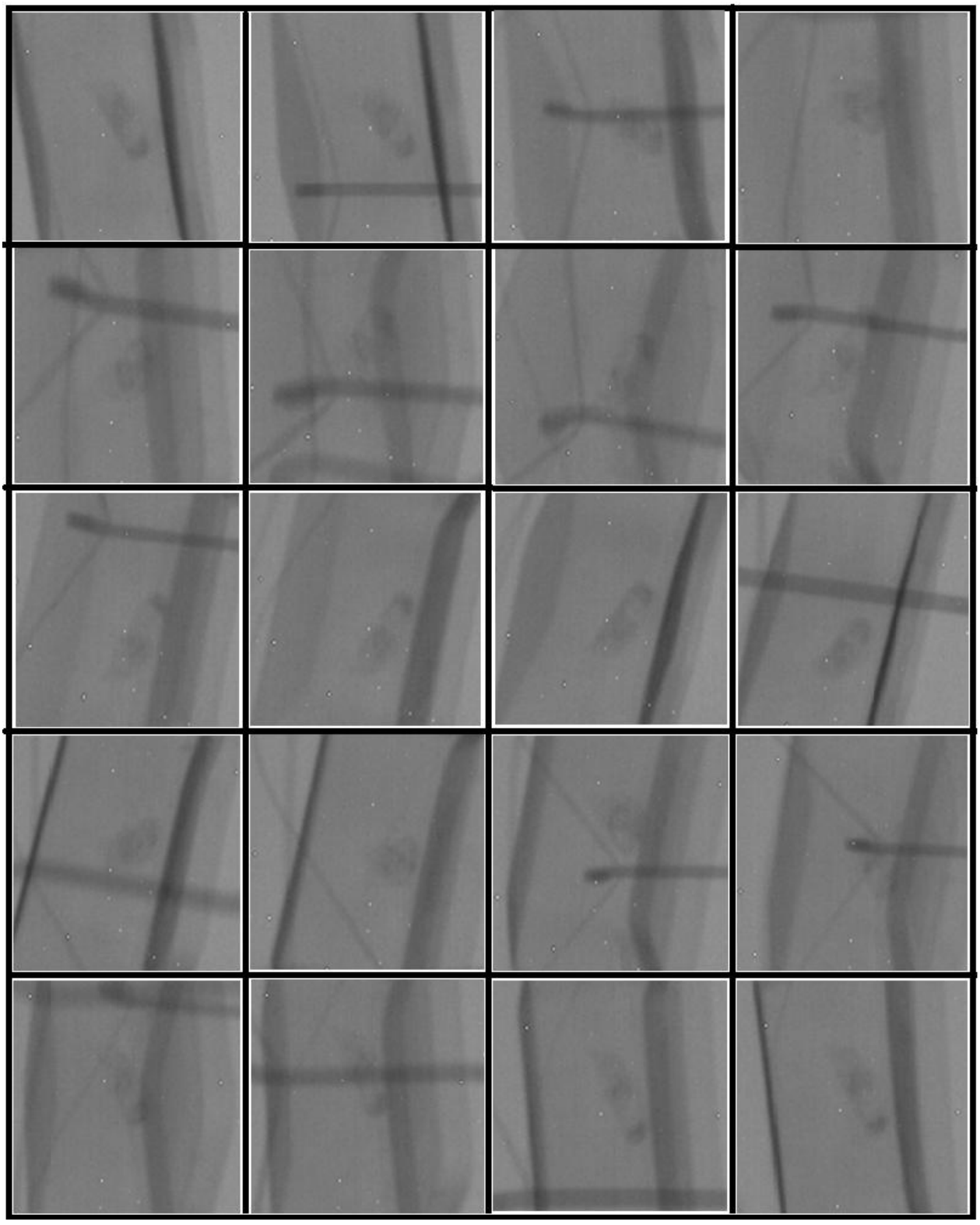


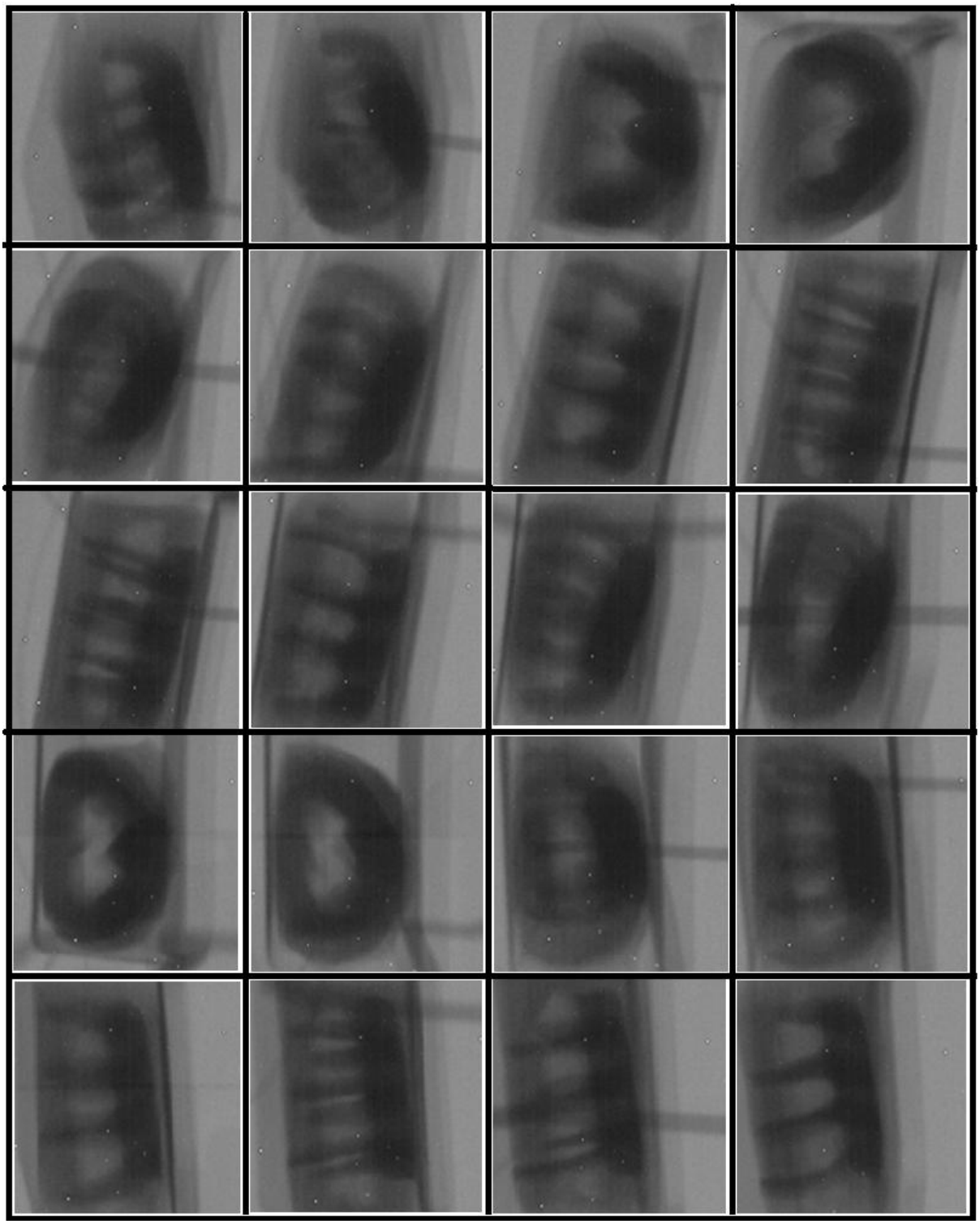


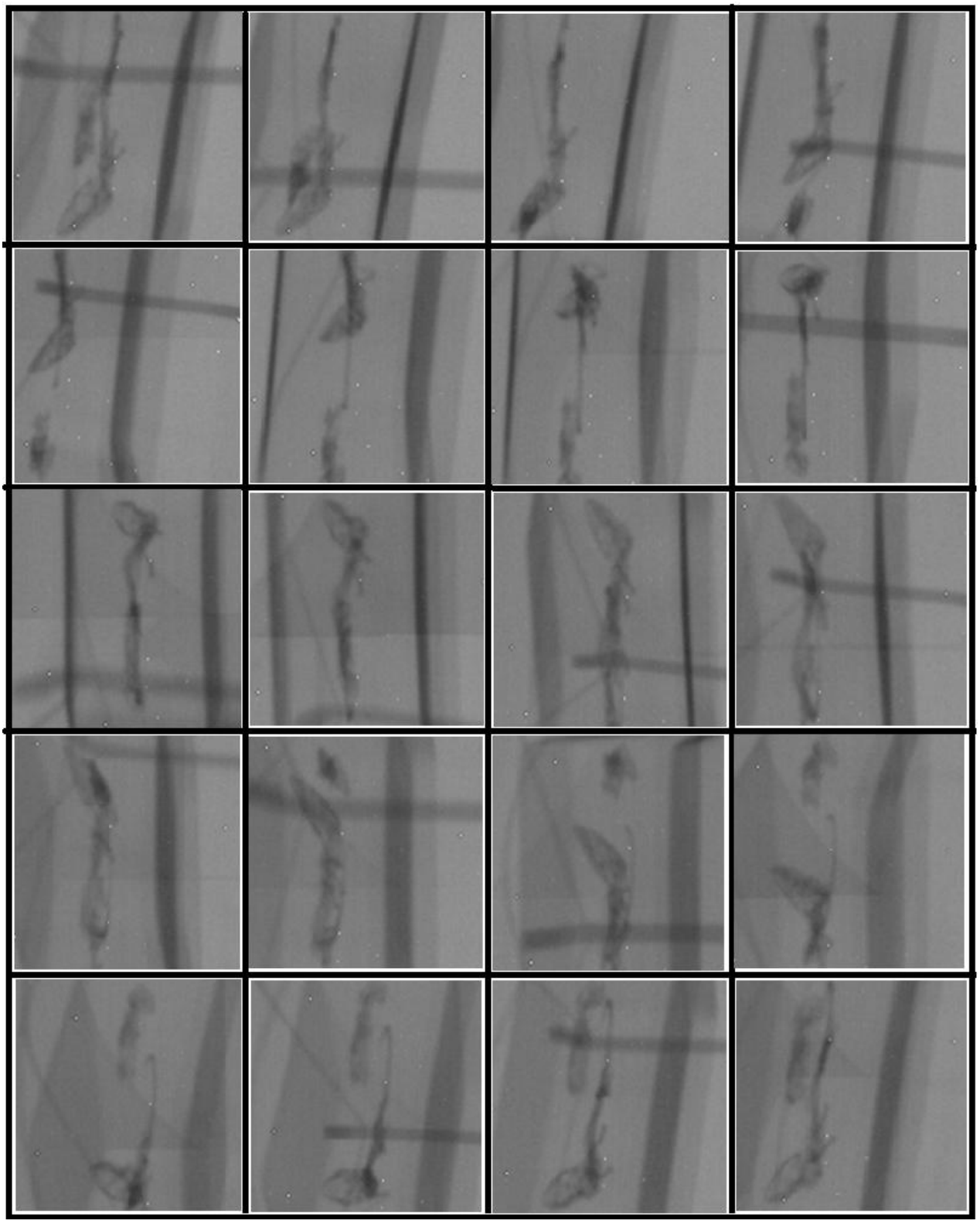


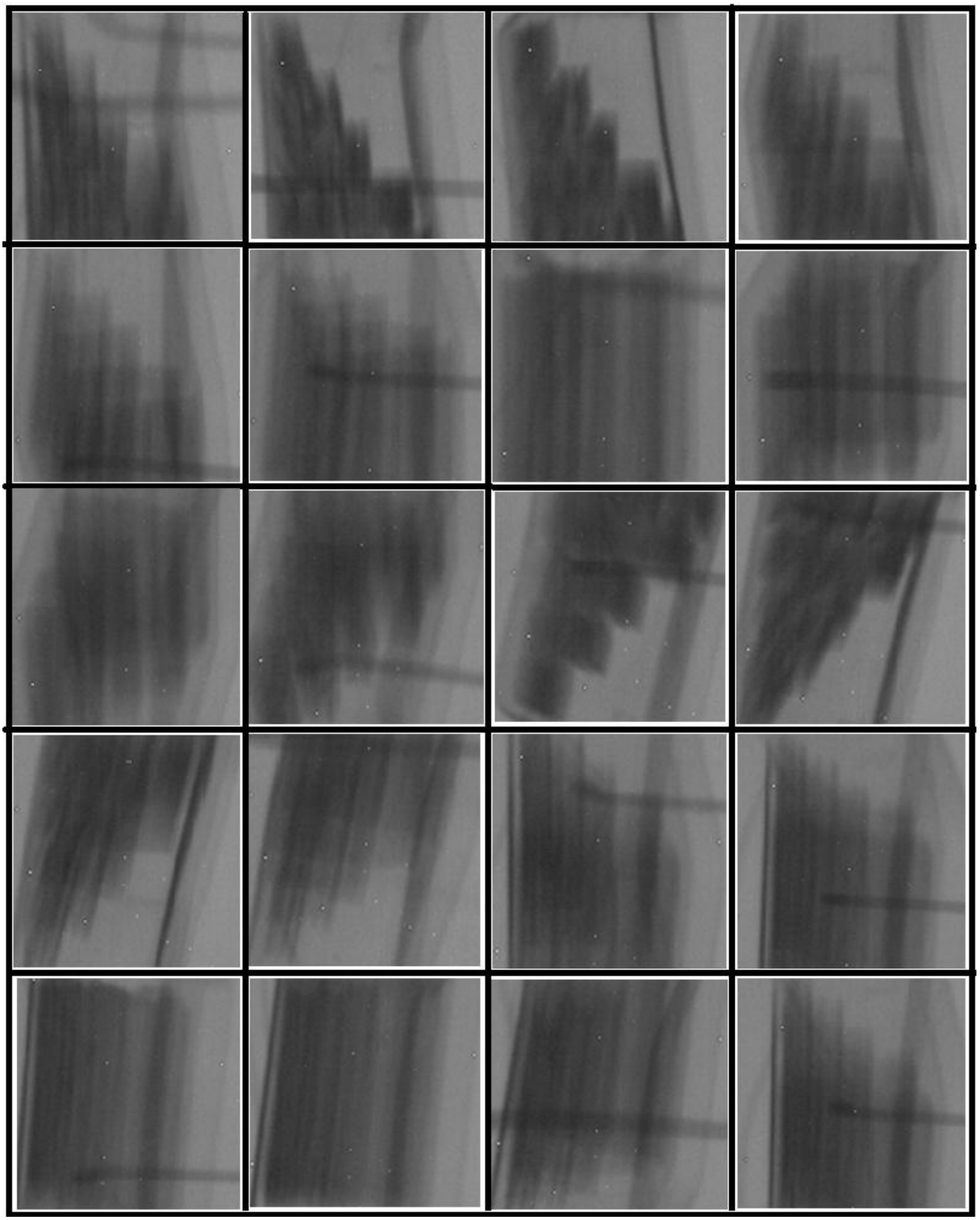


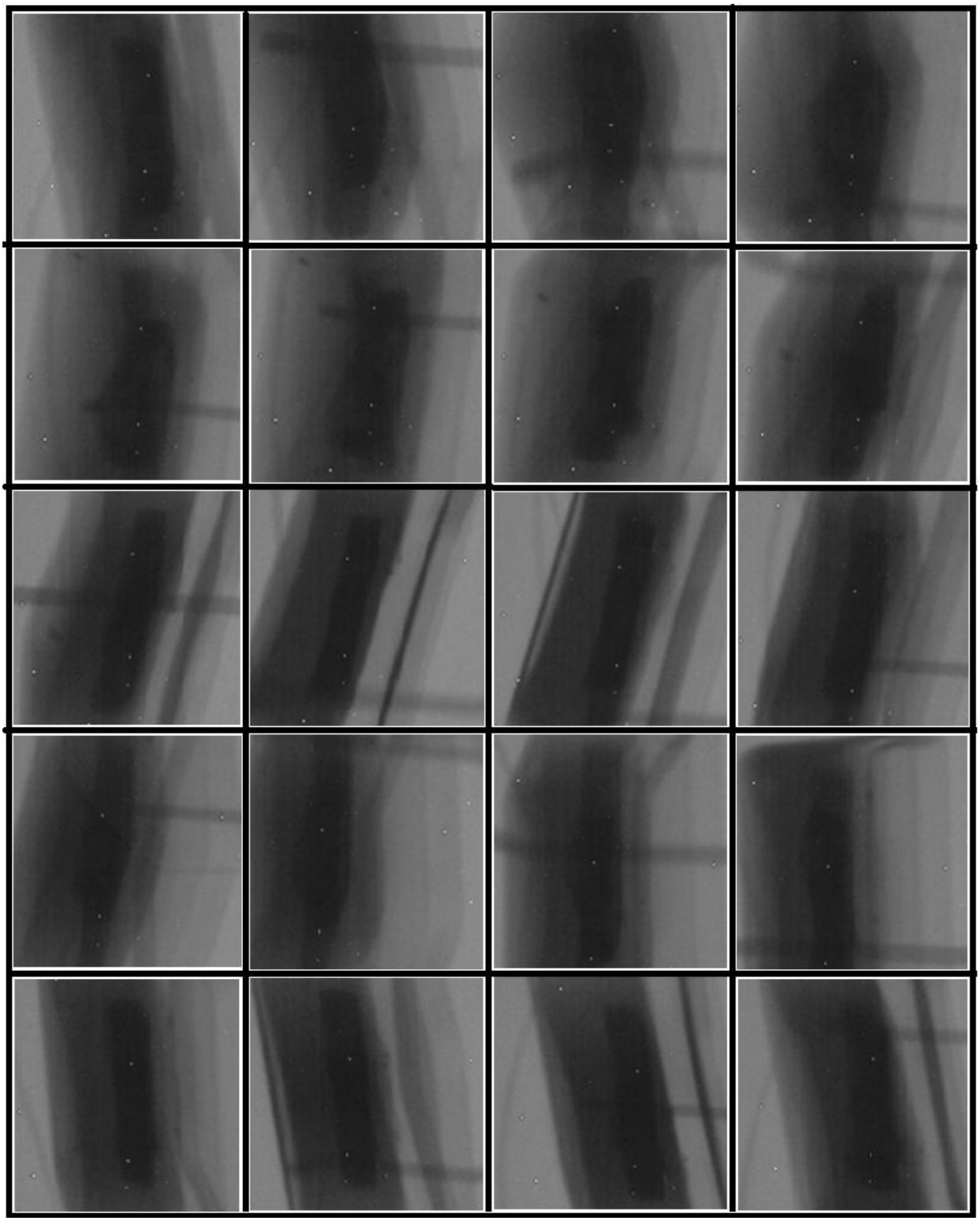


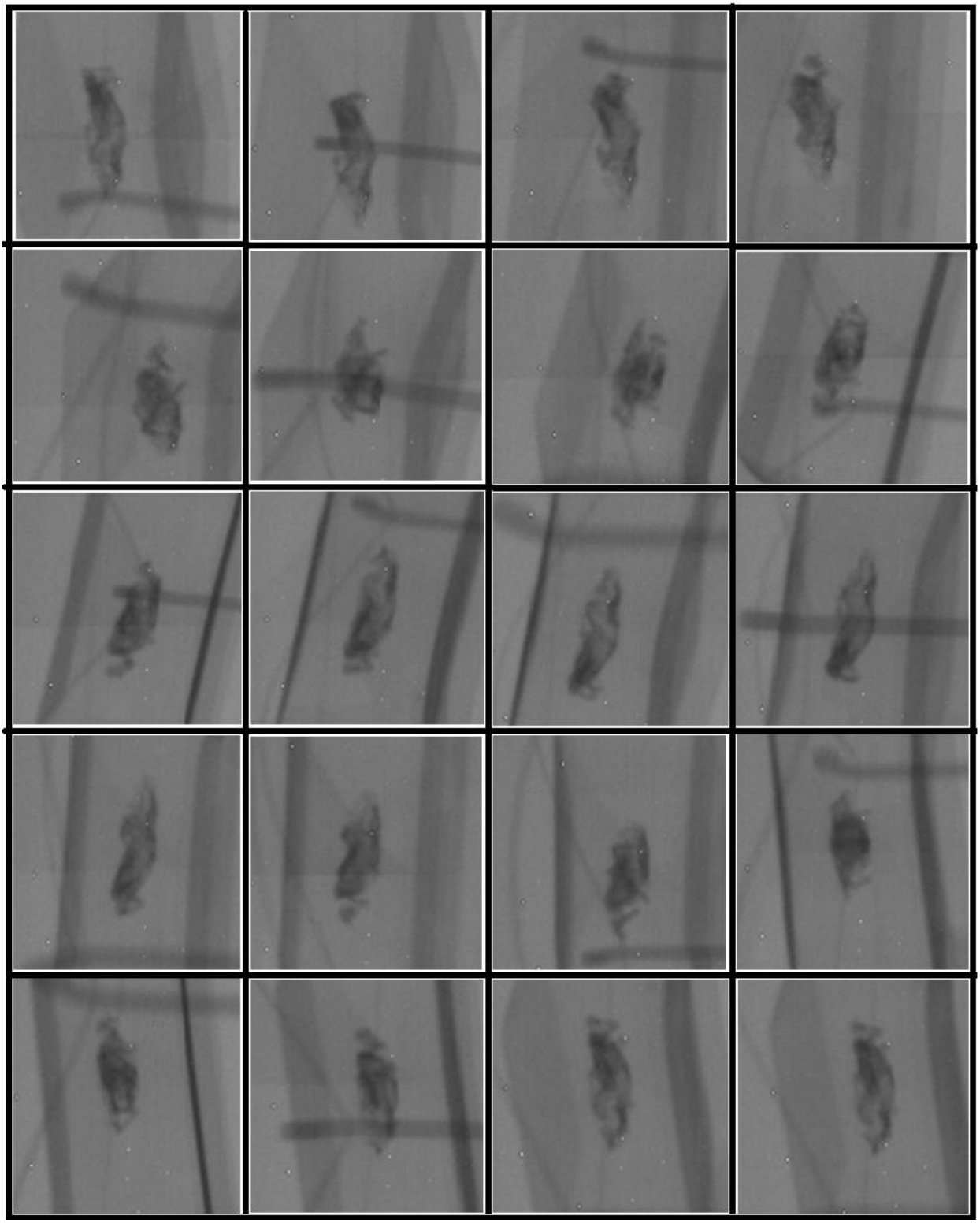


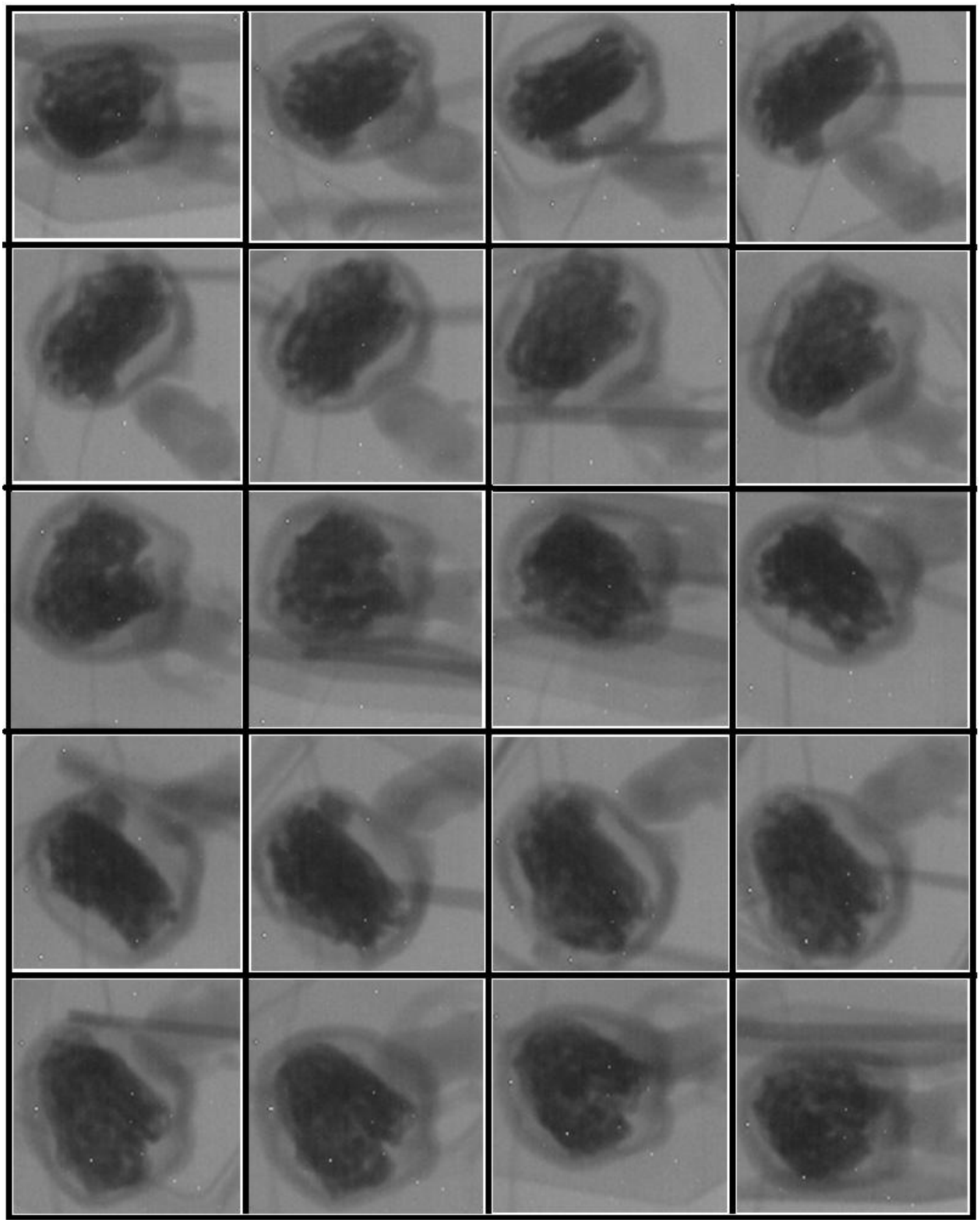


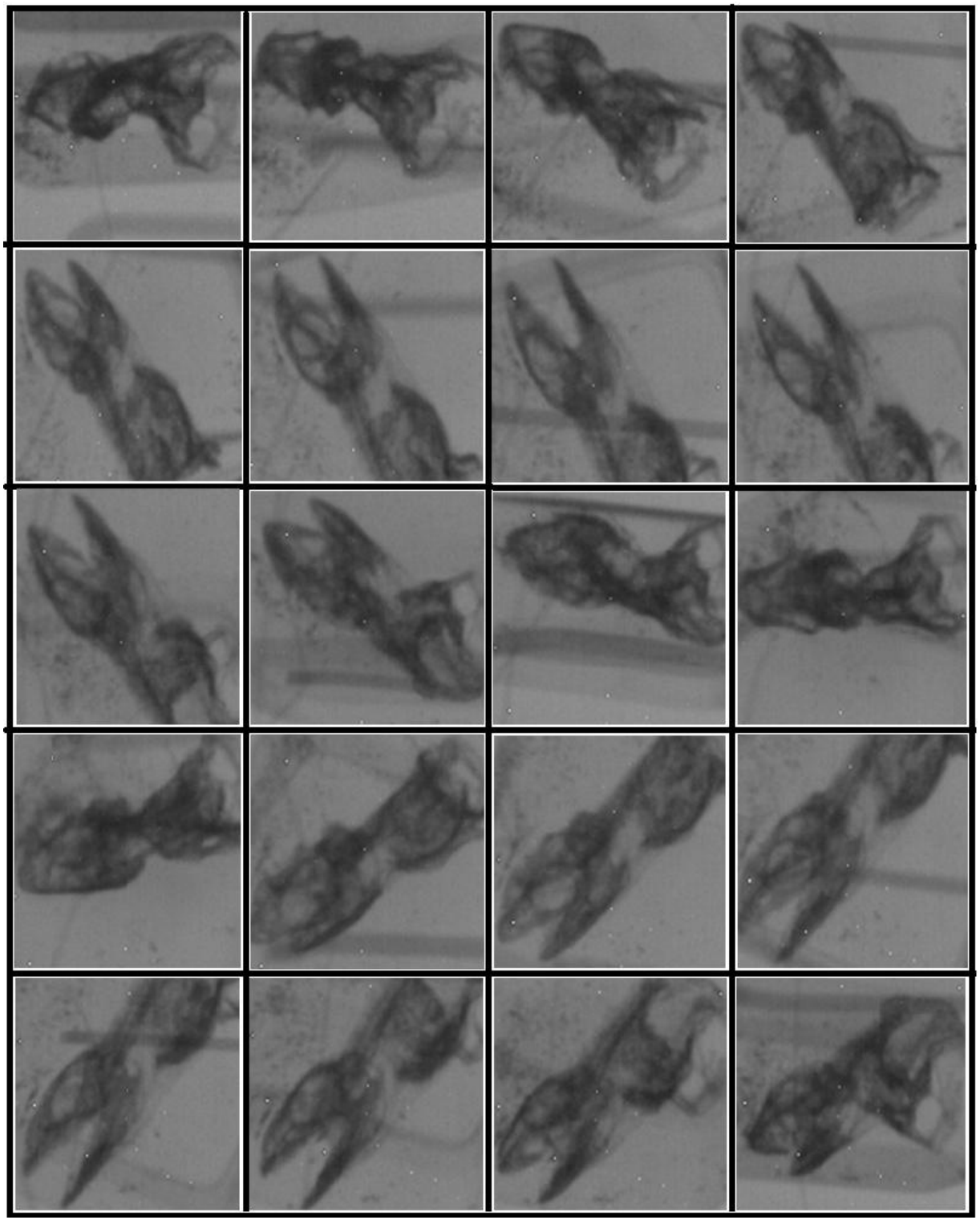


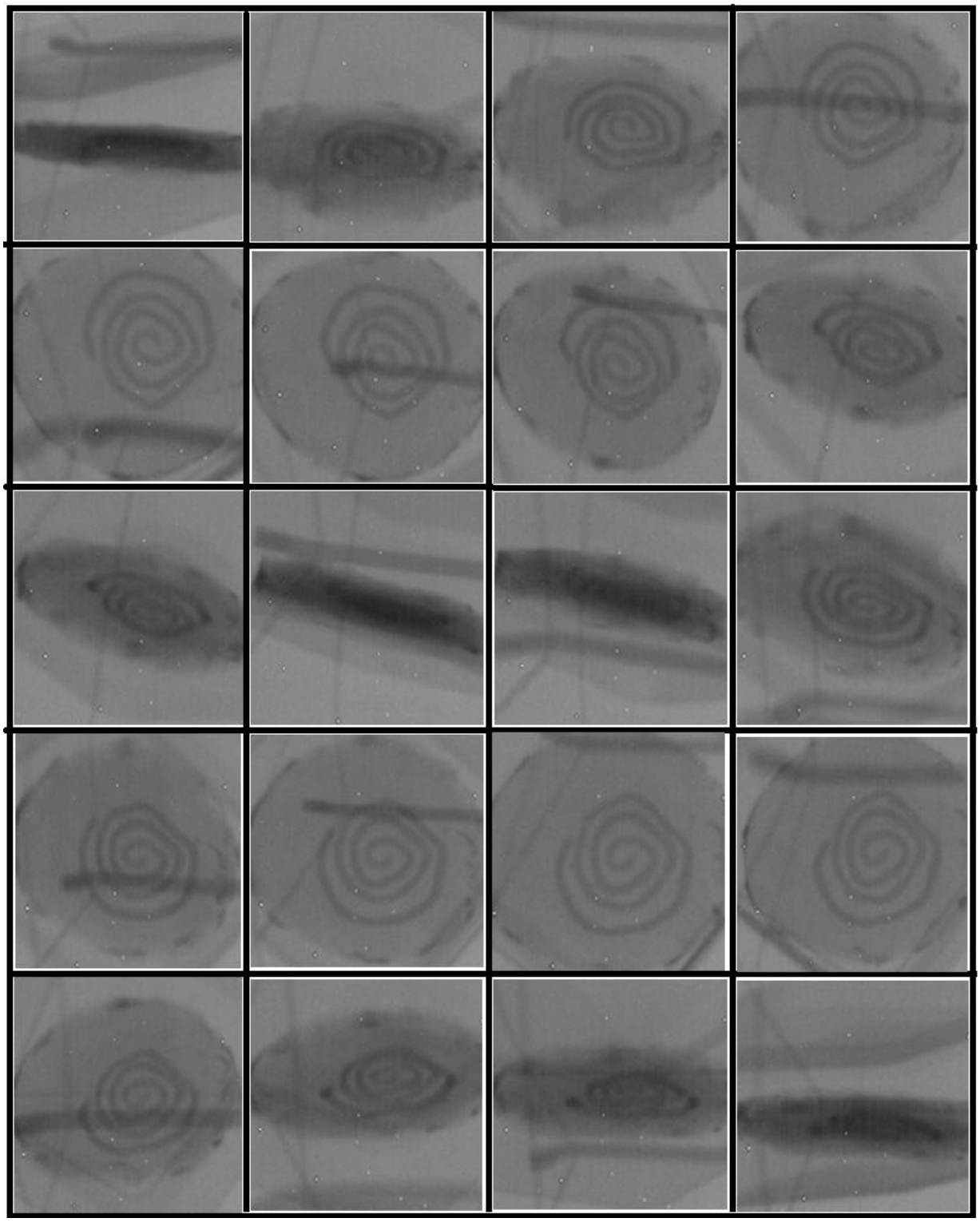


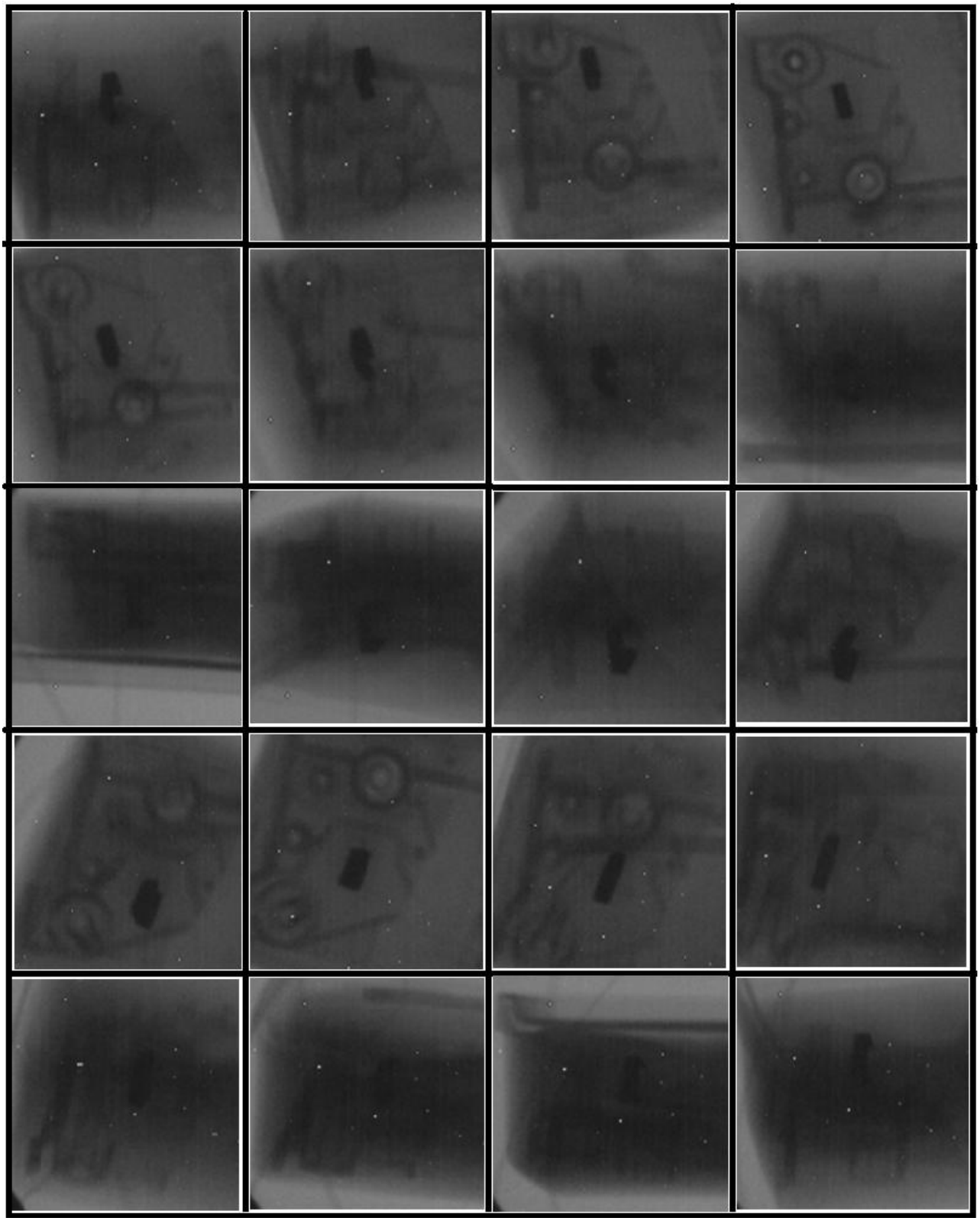


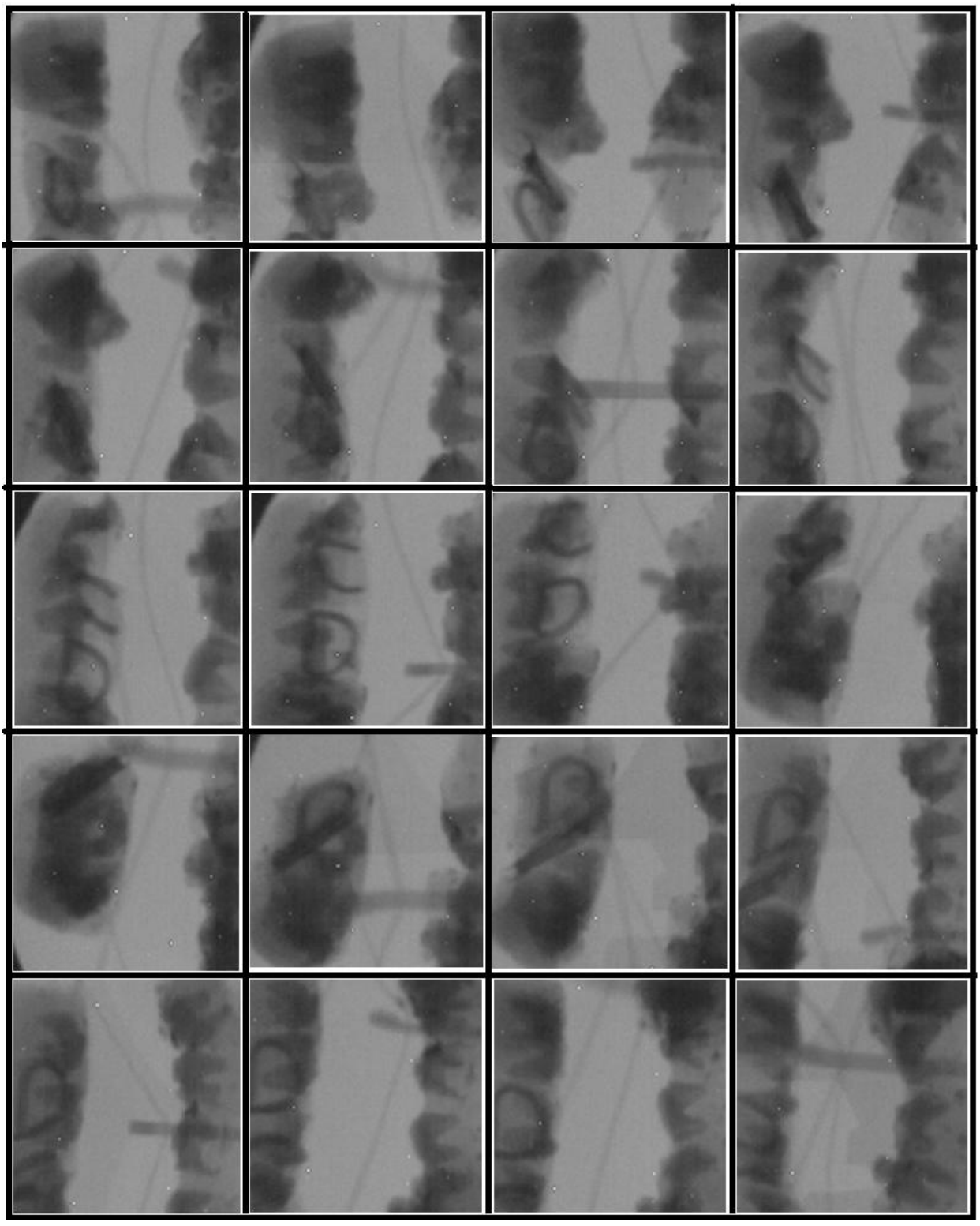


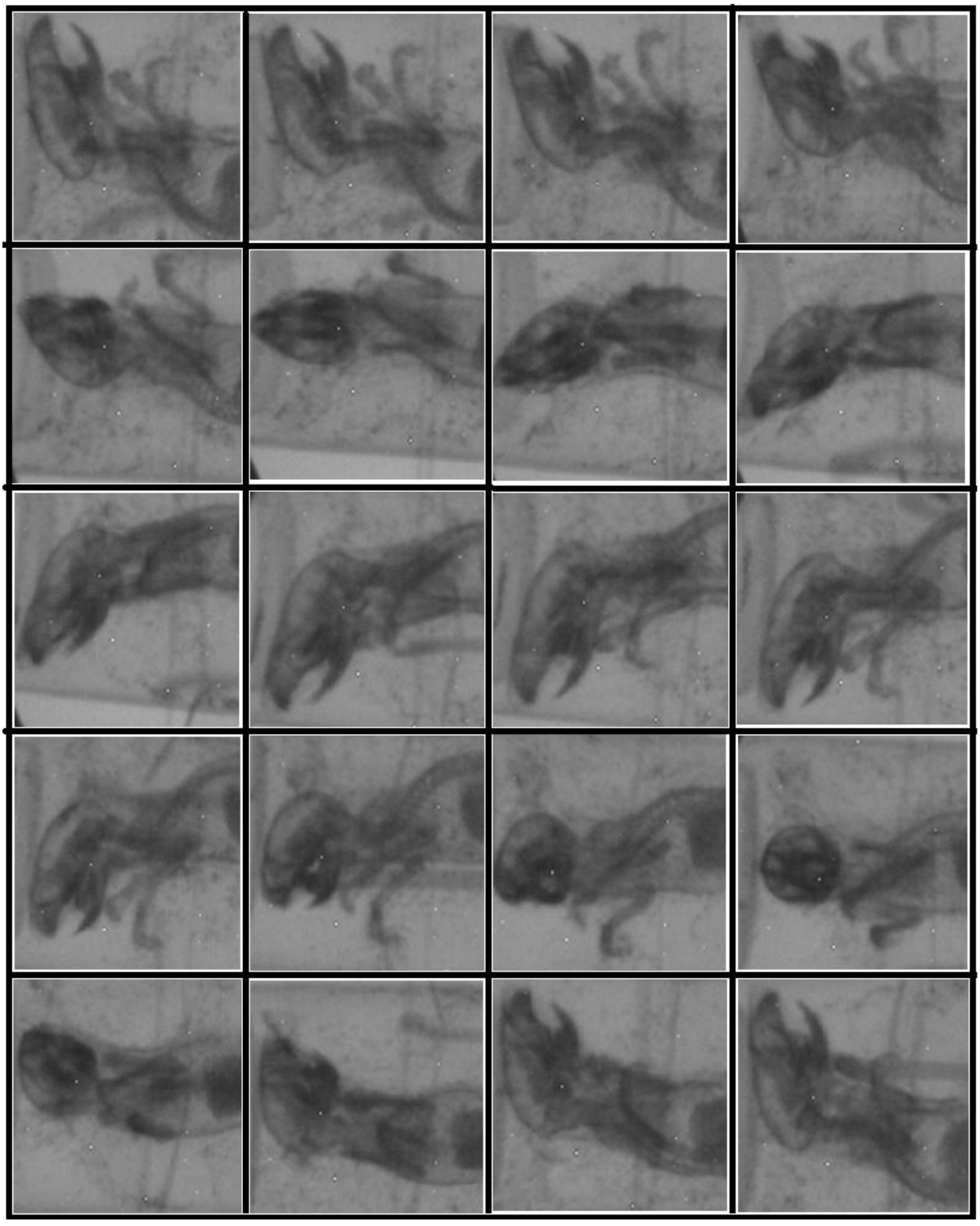


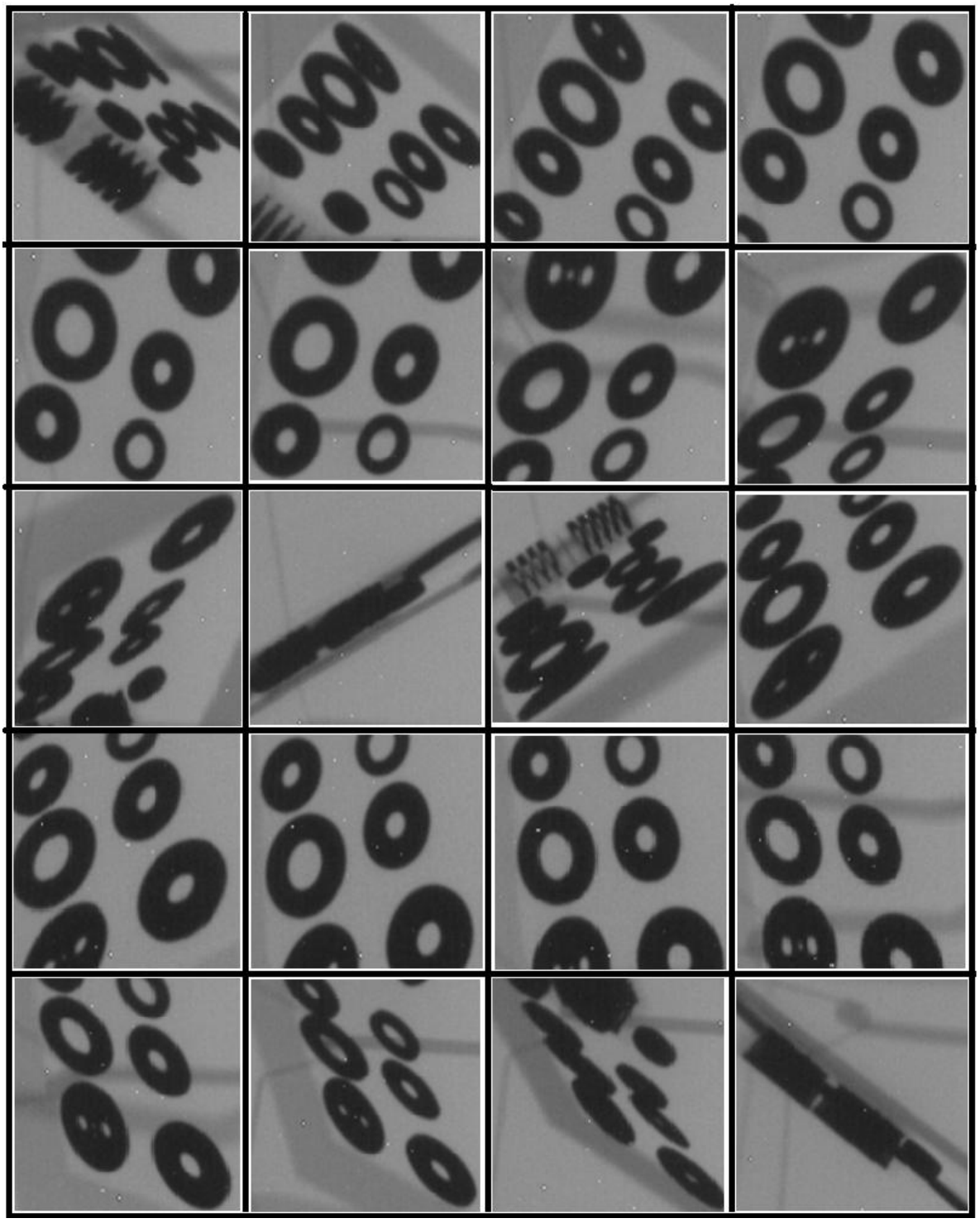




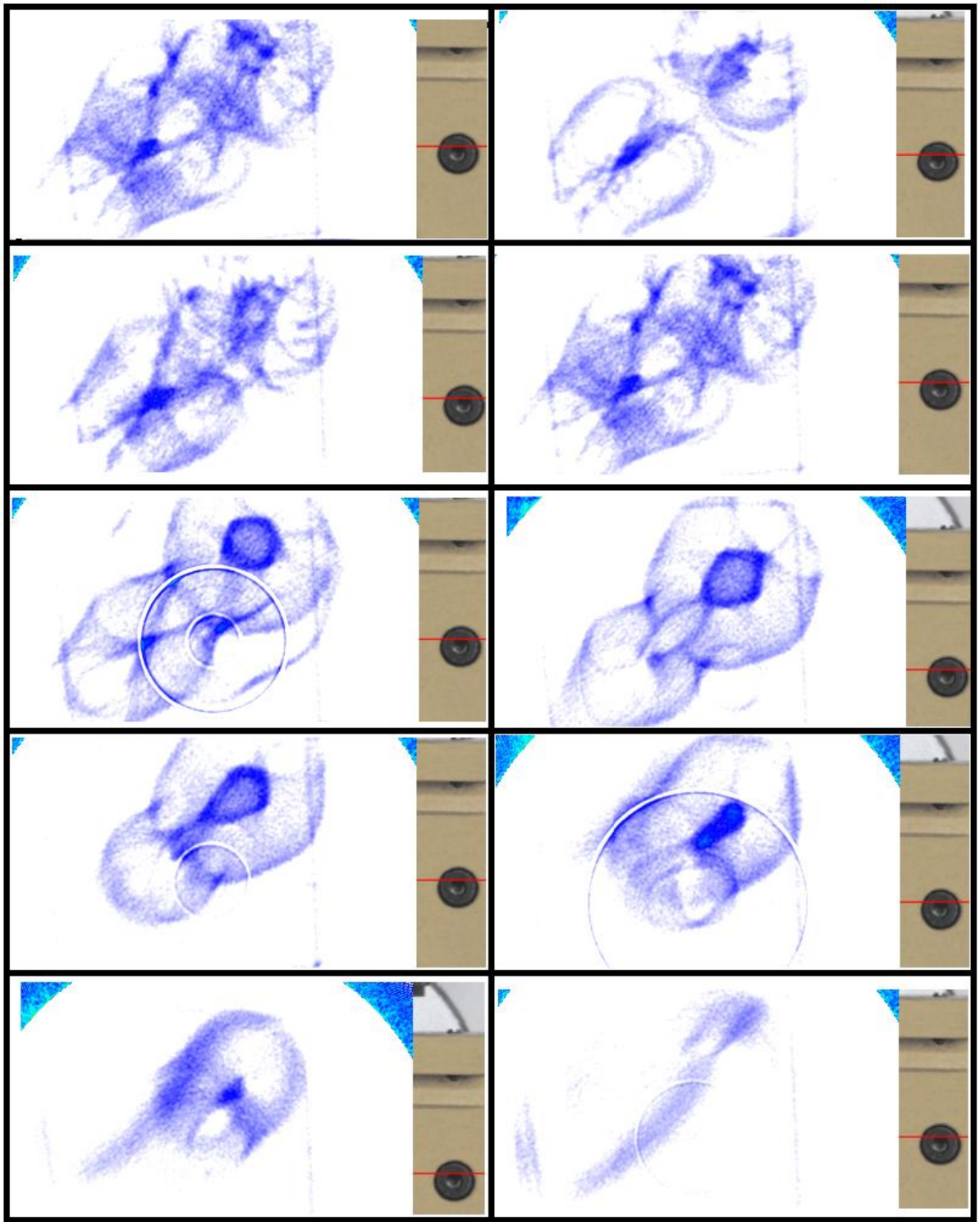


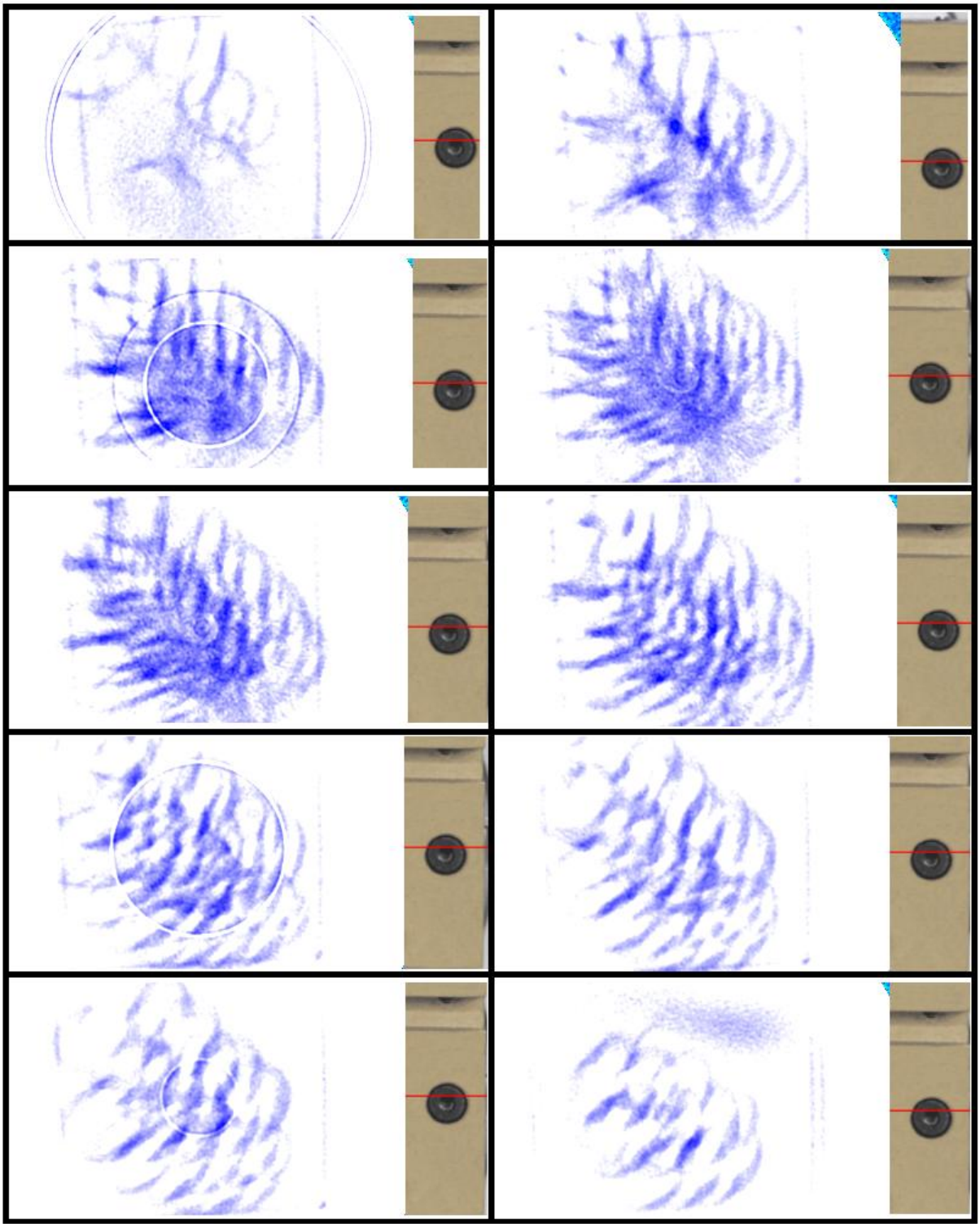


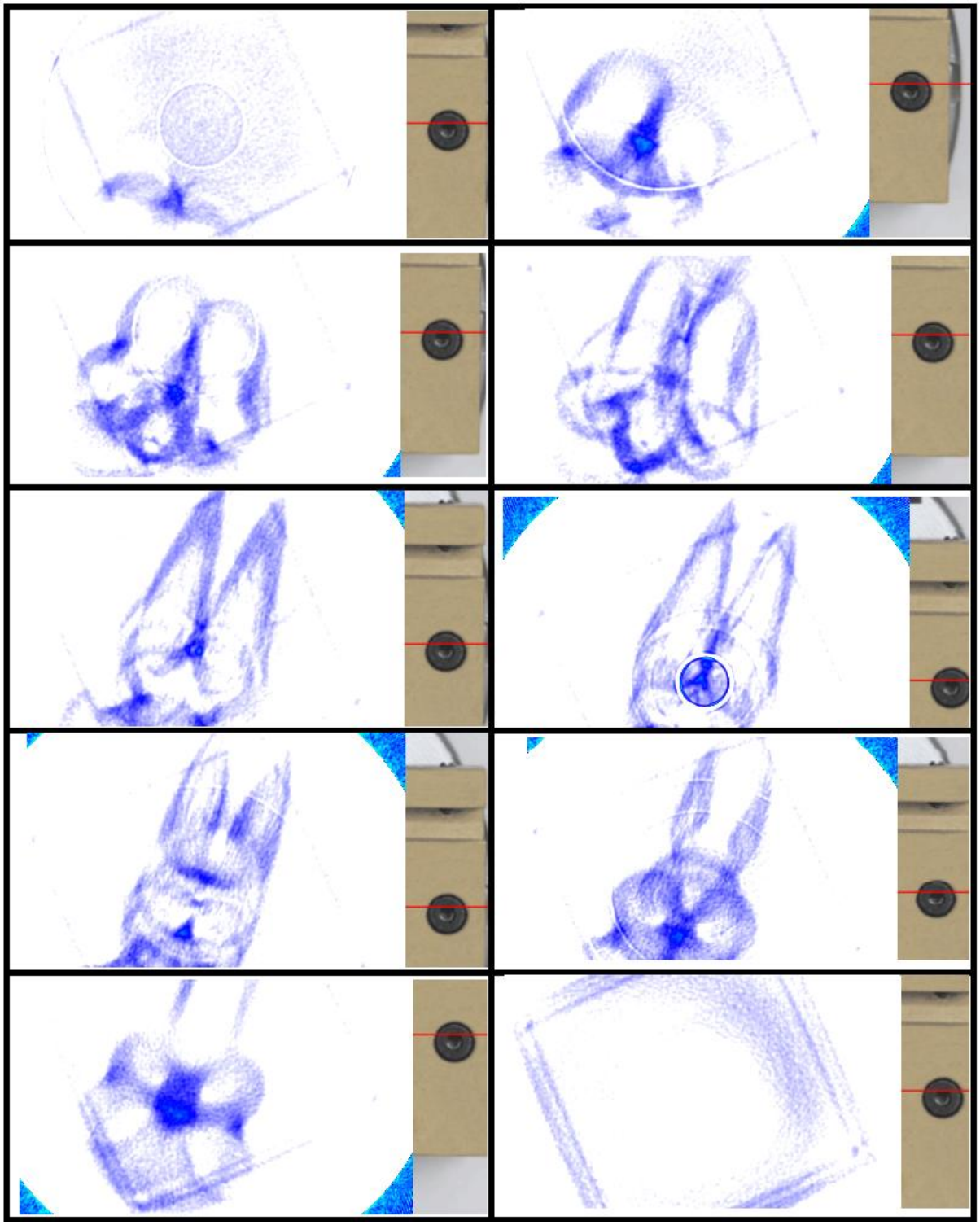


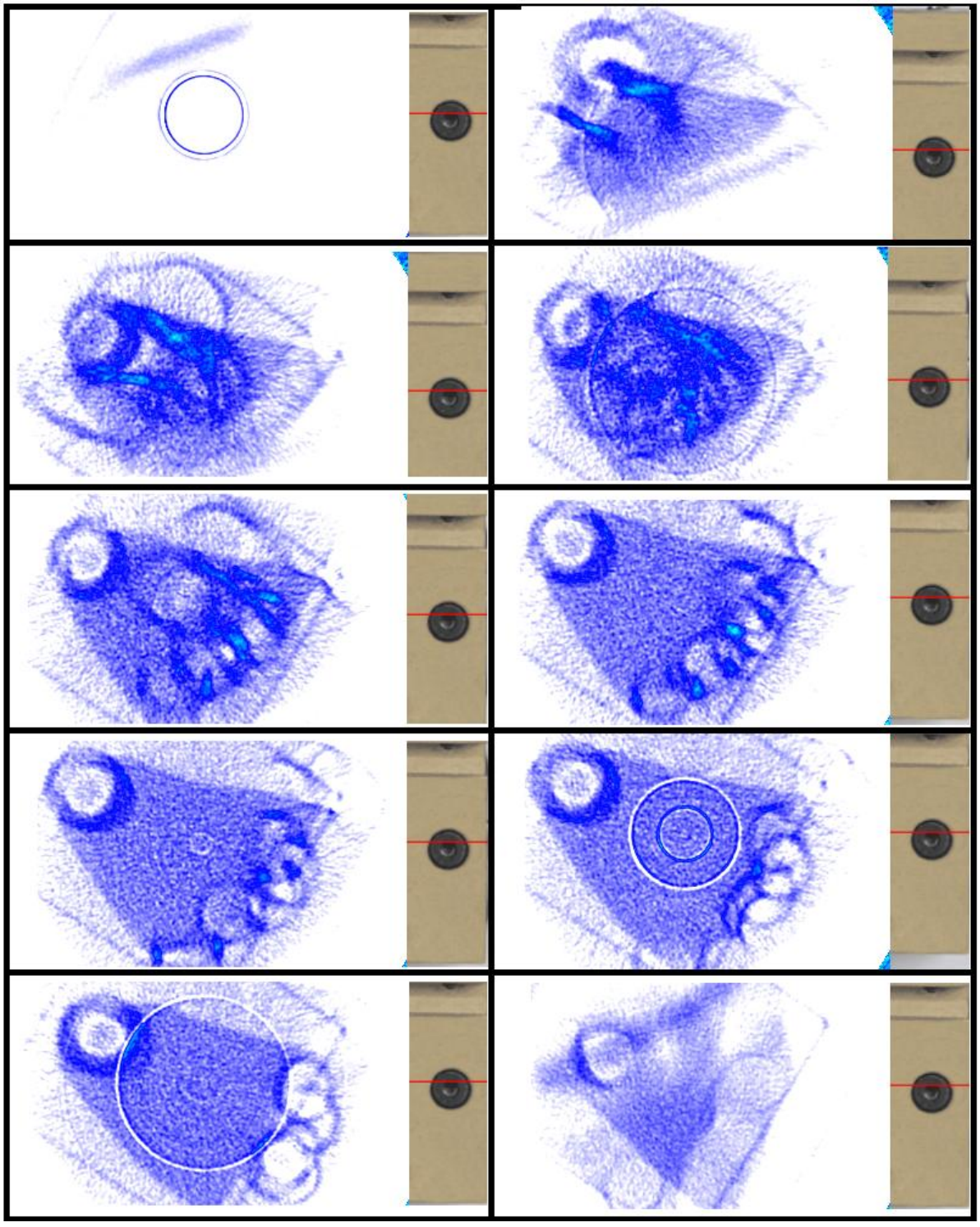


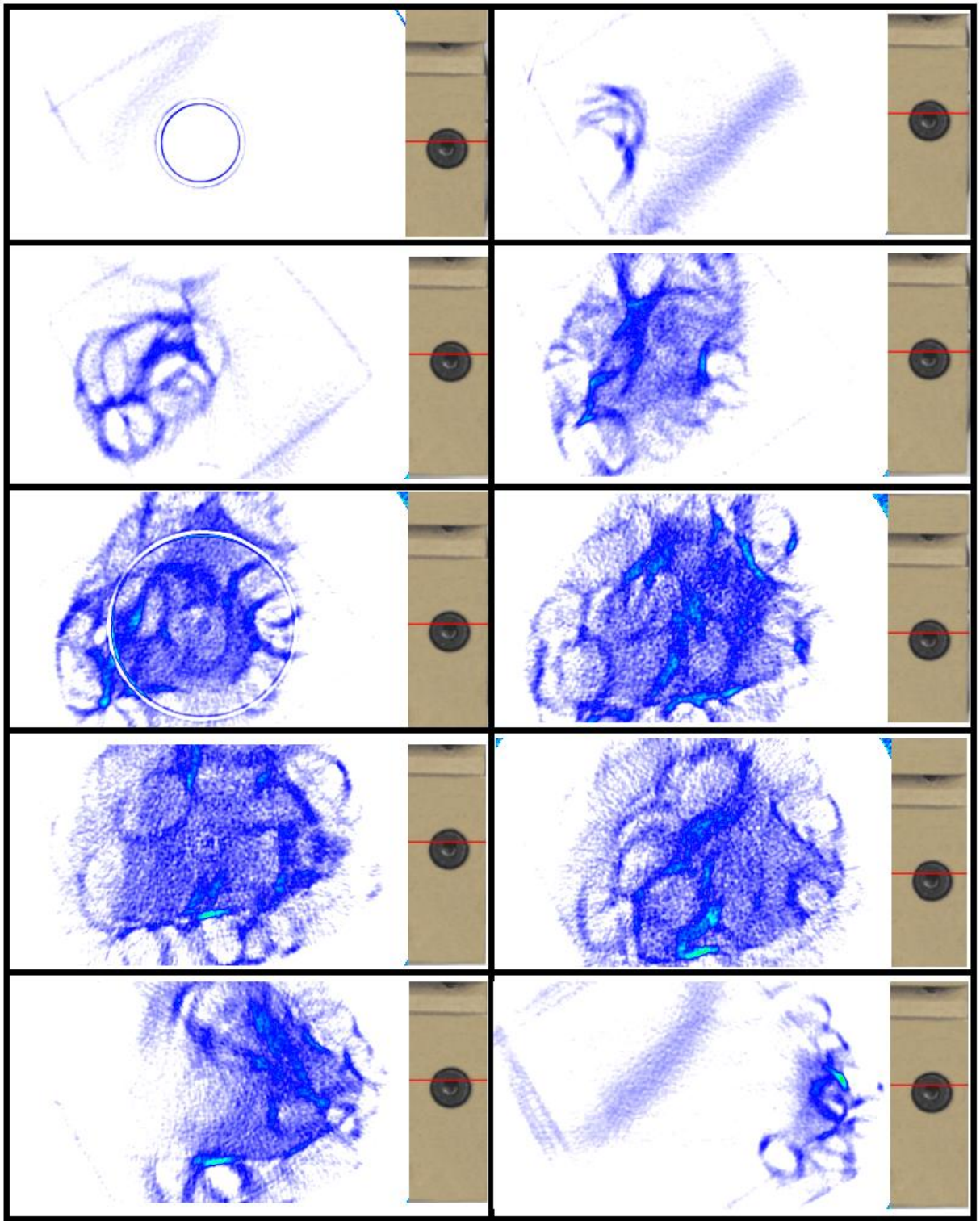
8.10. ANEXO 8: CORTE DE IMÁGENES A PARTIR DE TOMOGRAFÍA DE LOS OBJETOS DEL KIT DE MATERIALES

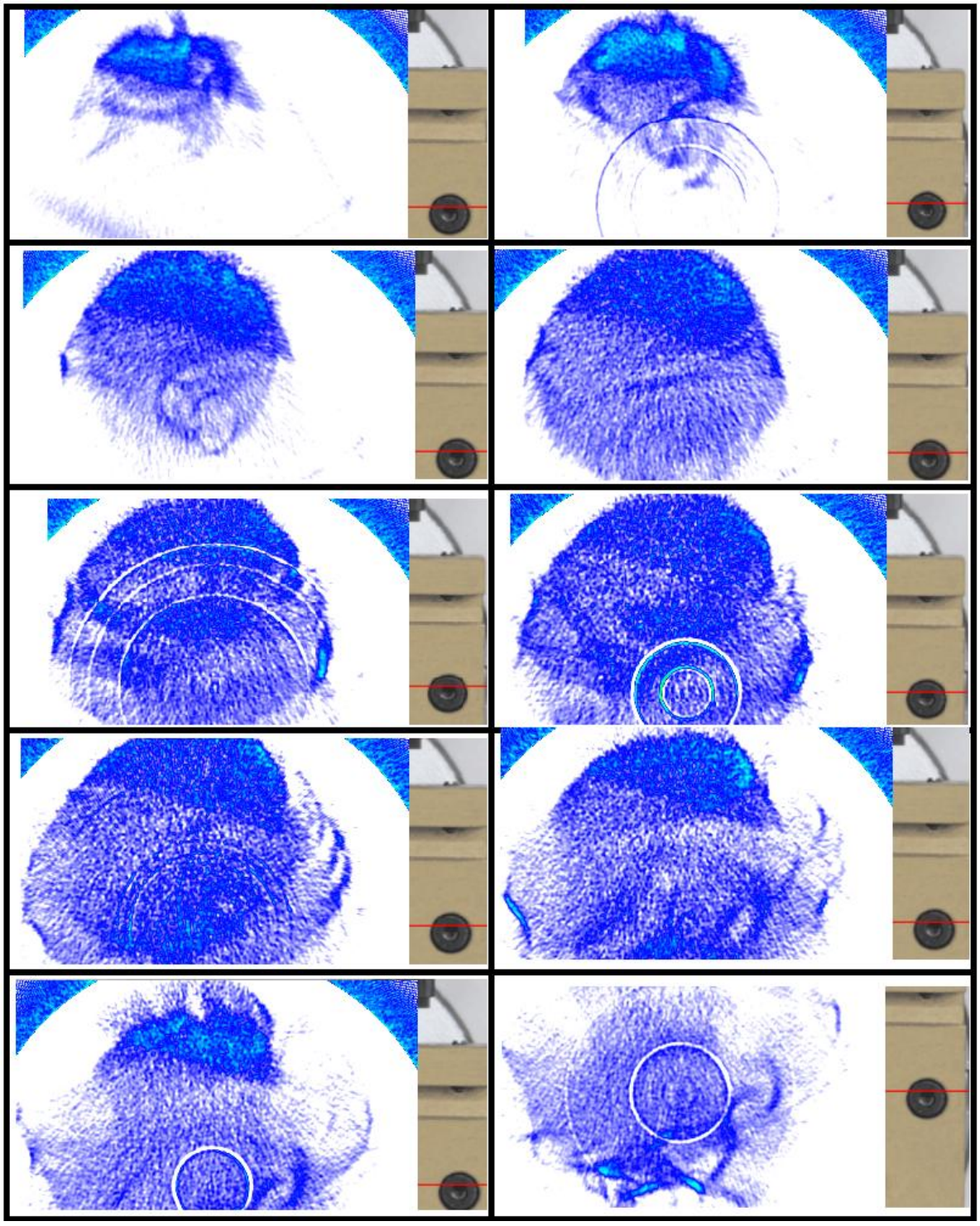


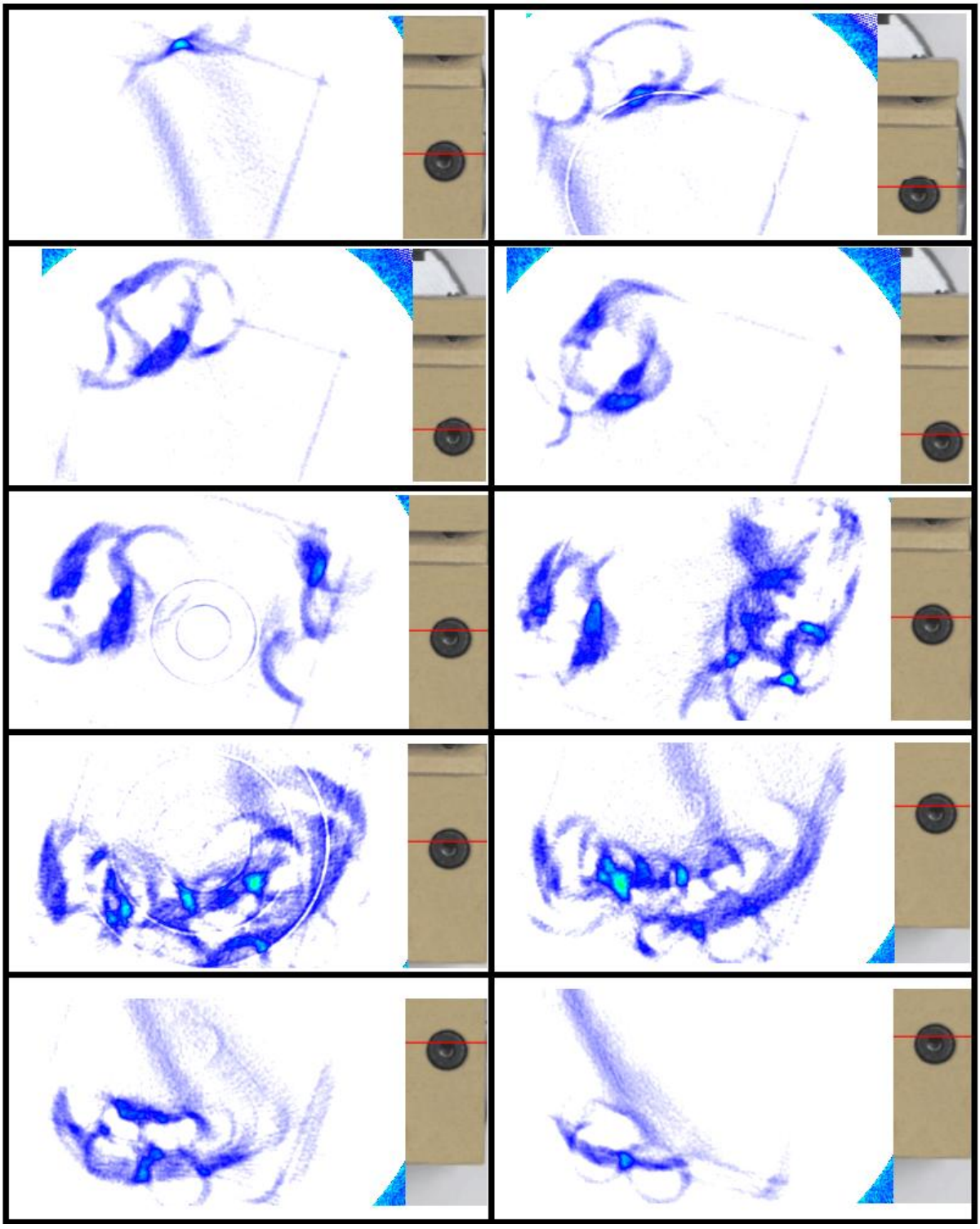


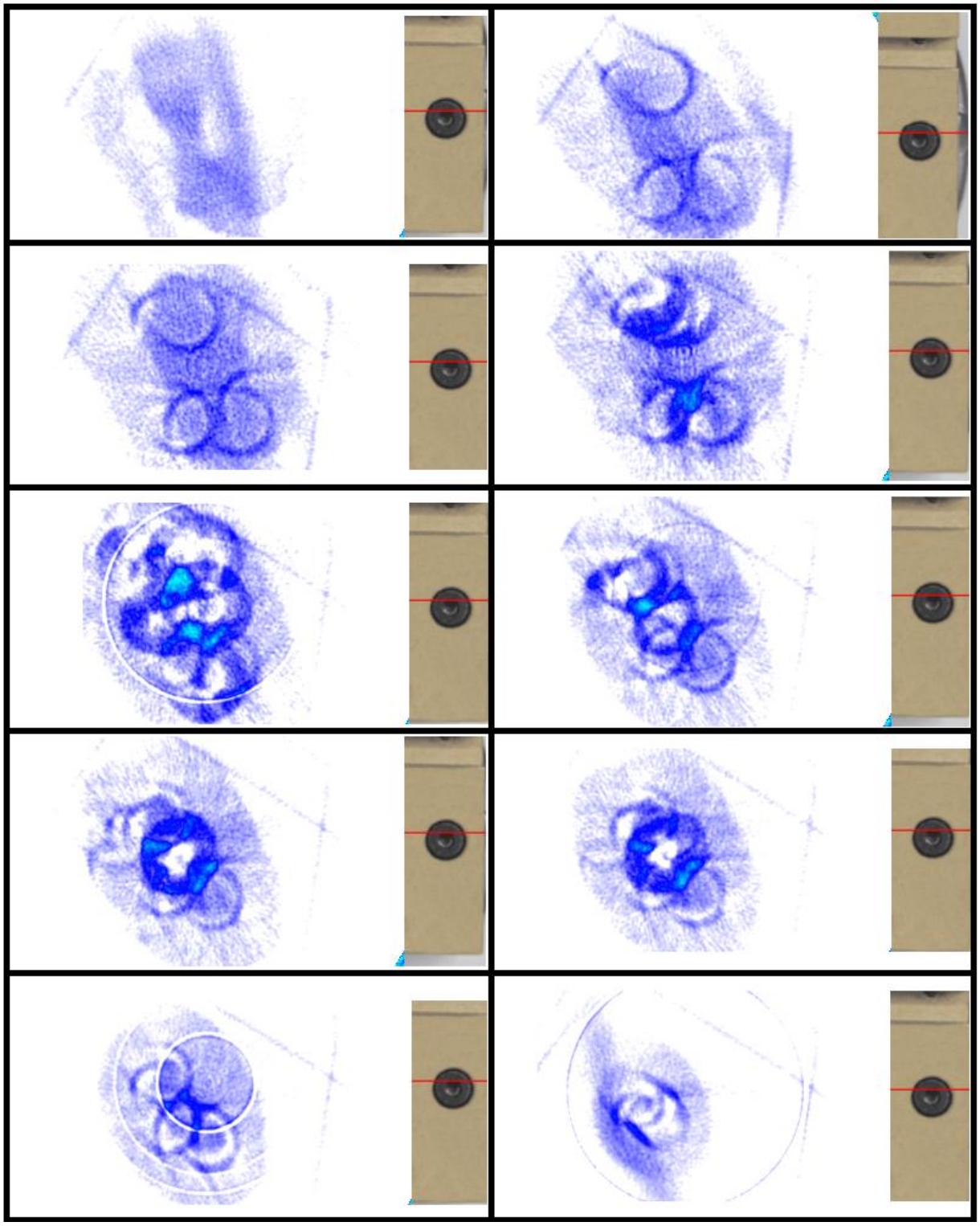


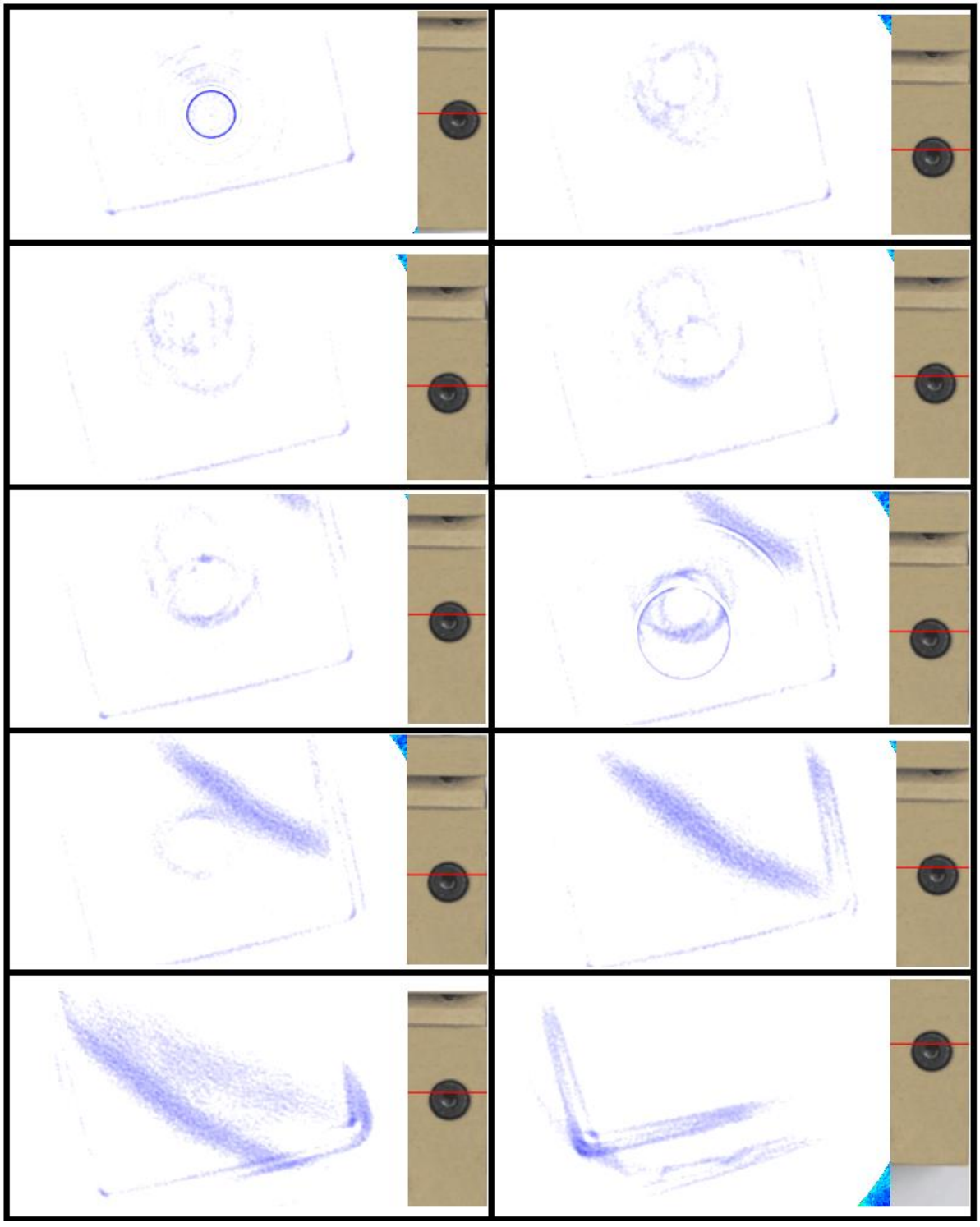


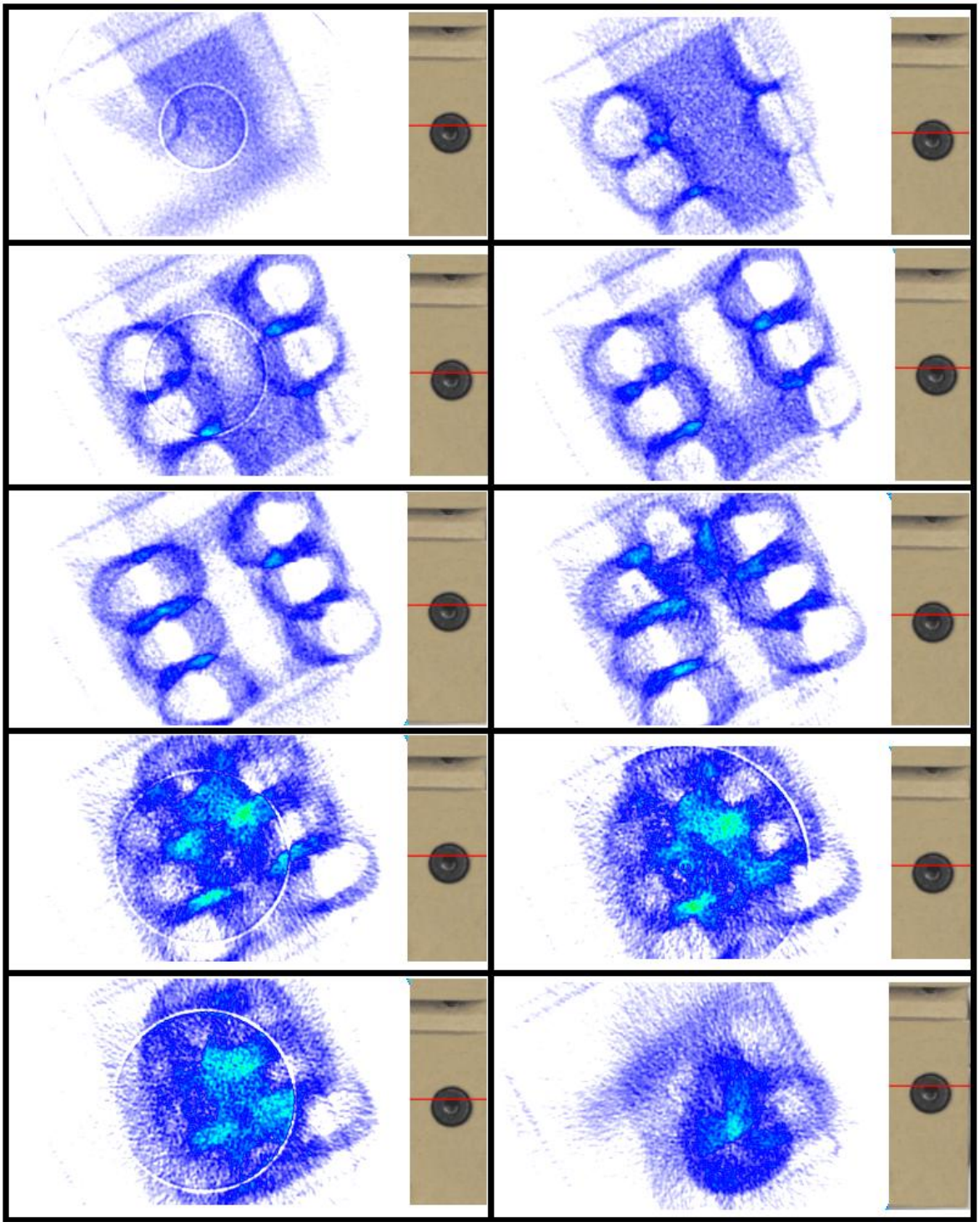


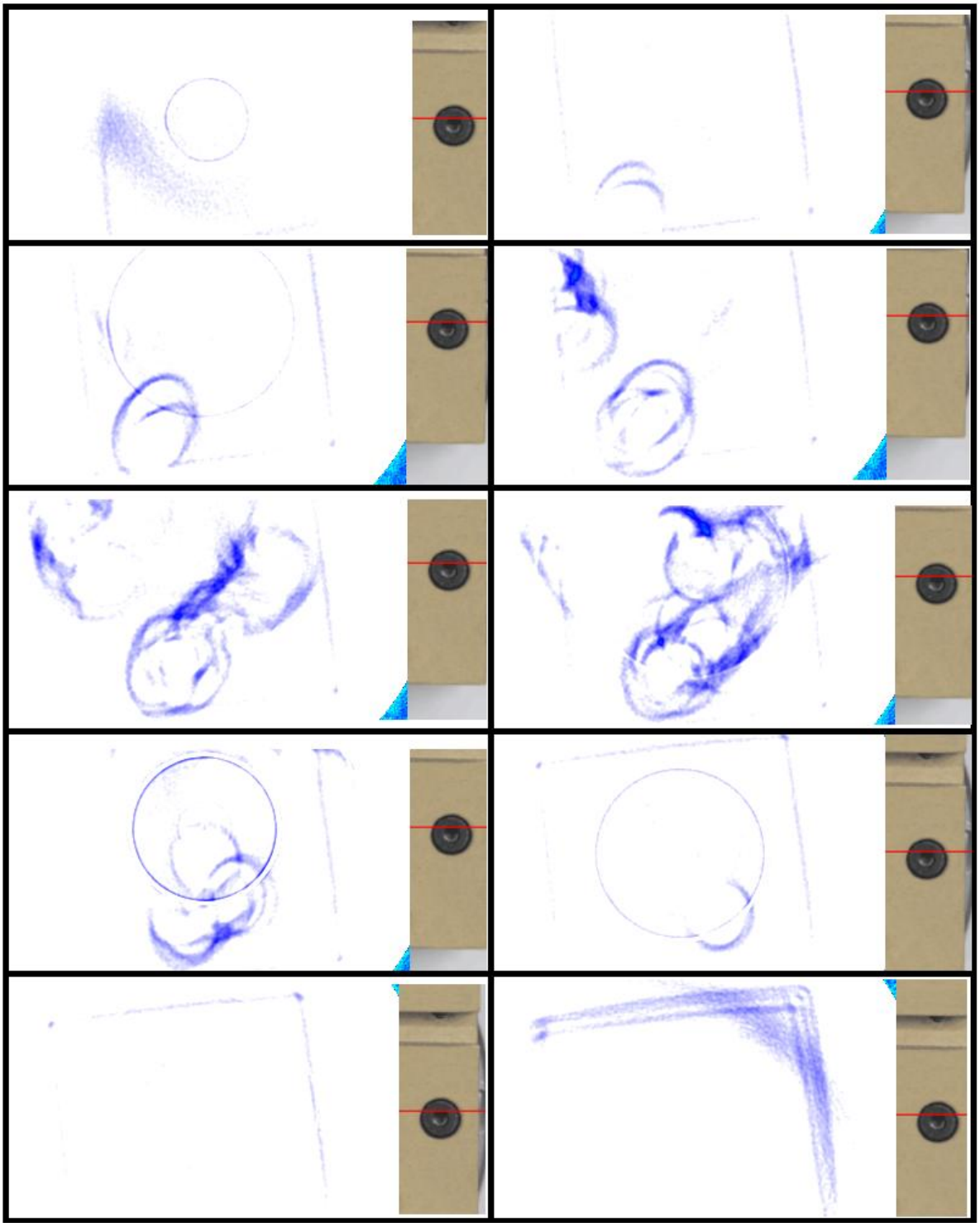


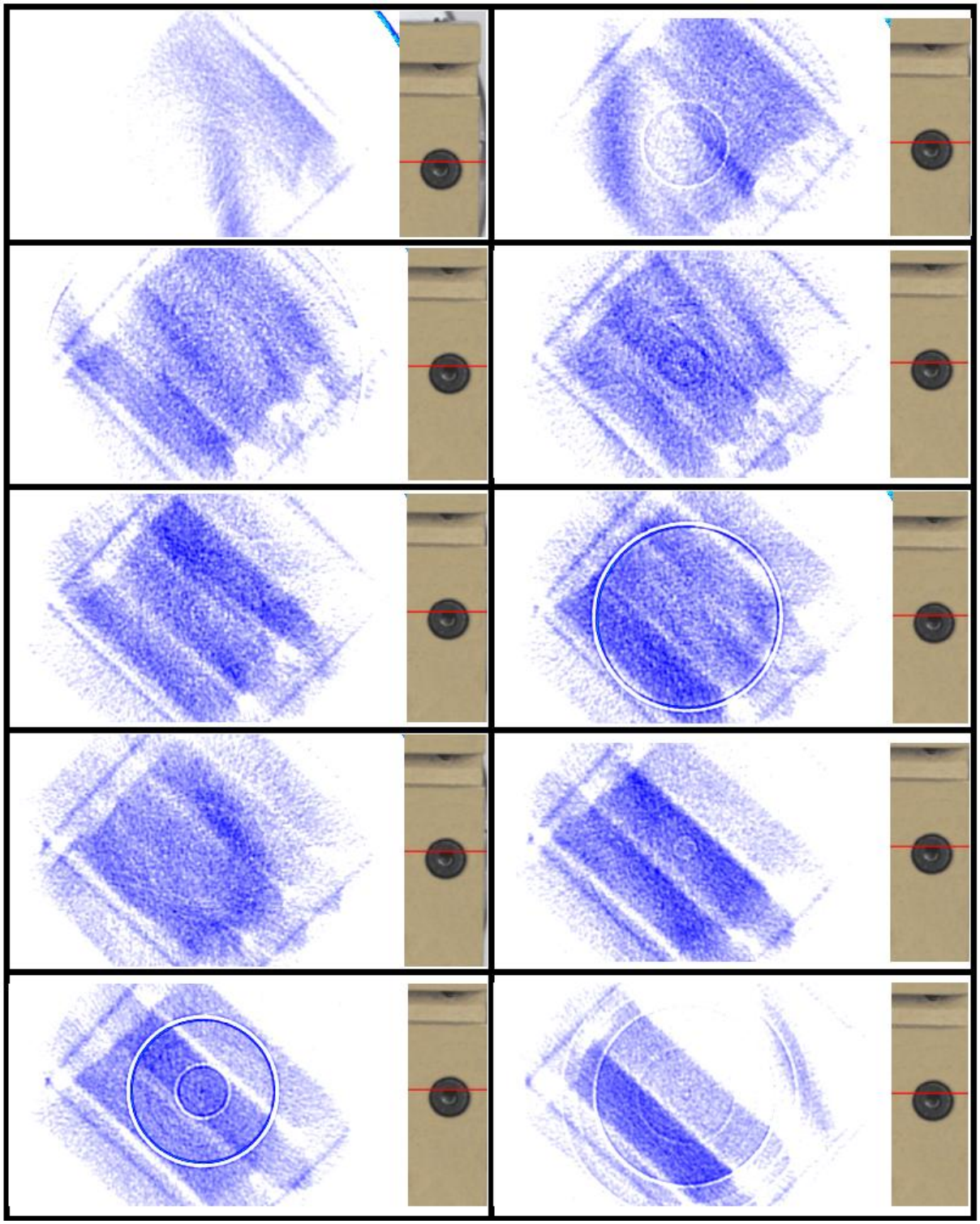


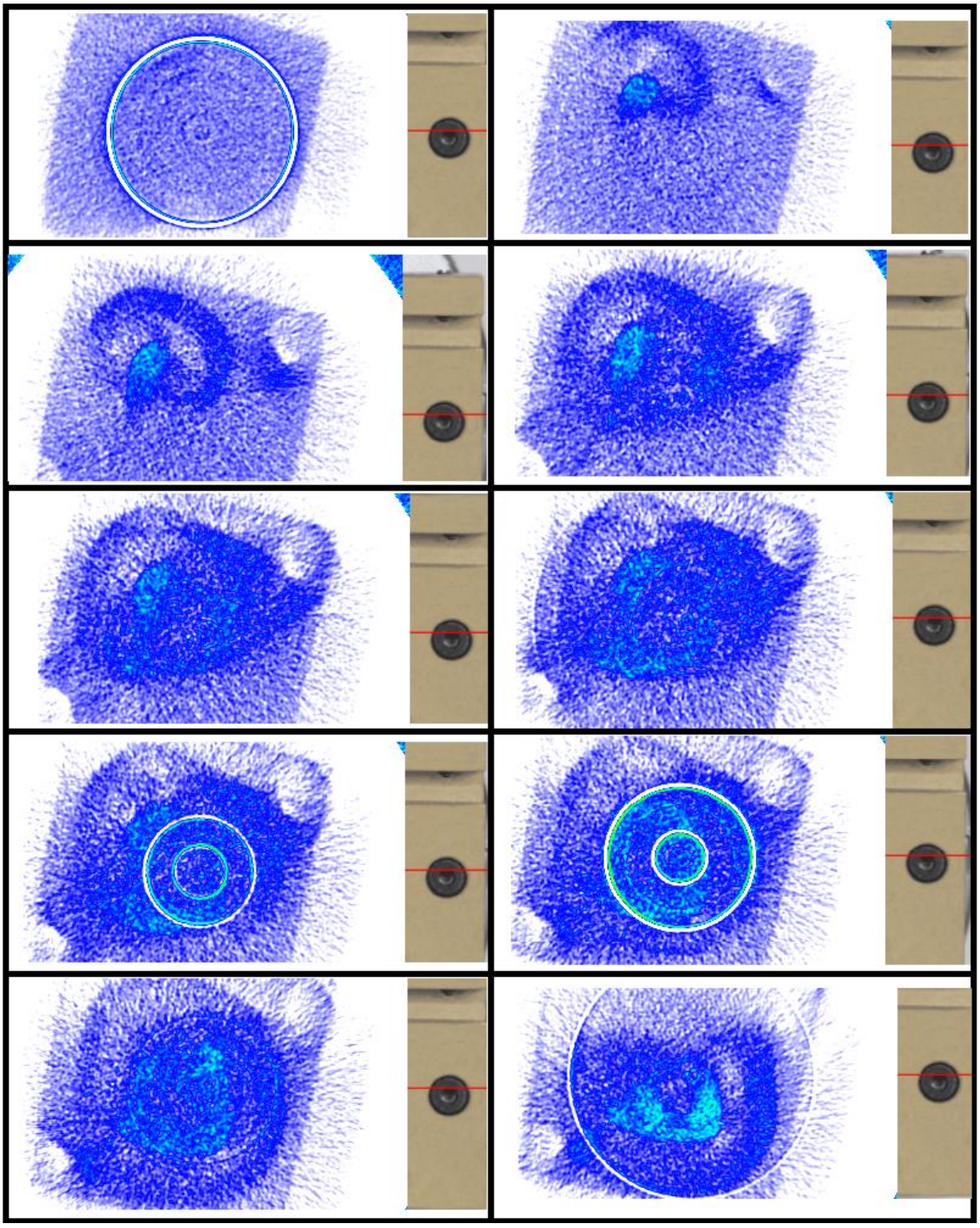


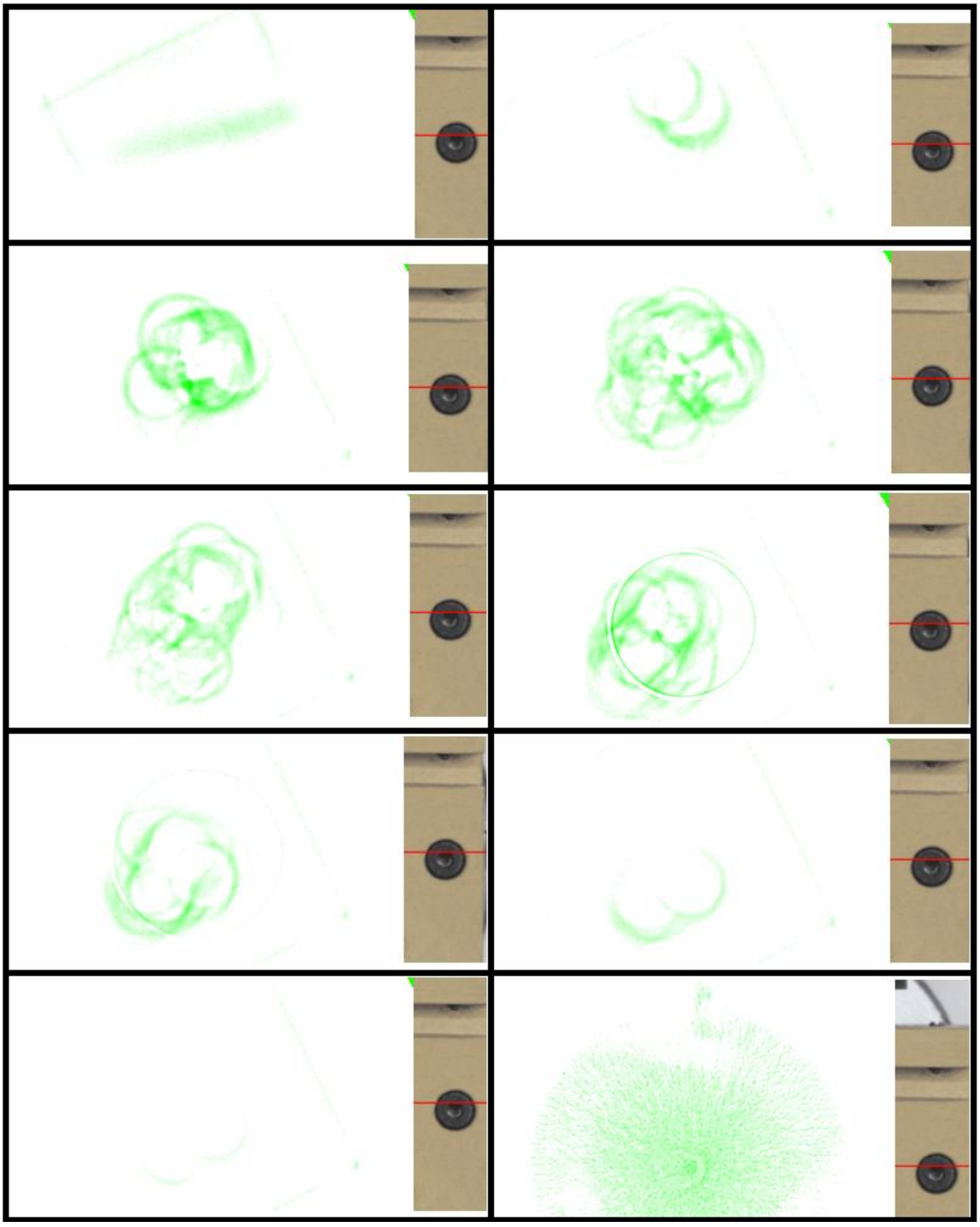


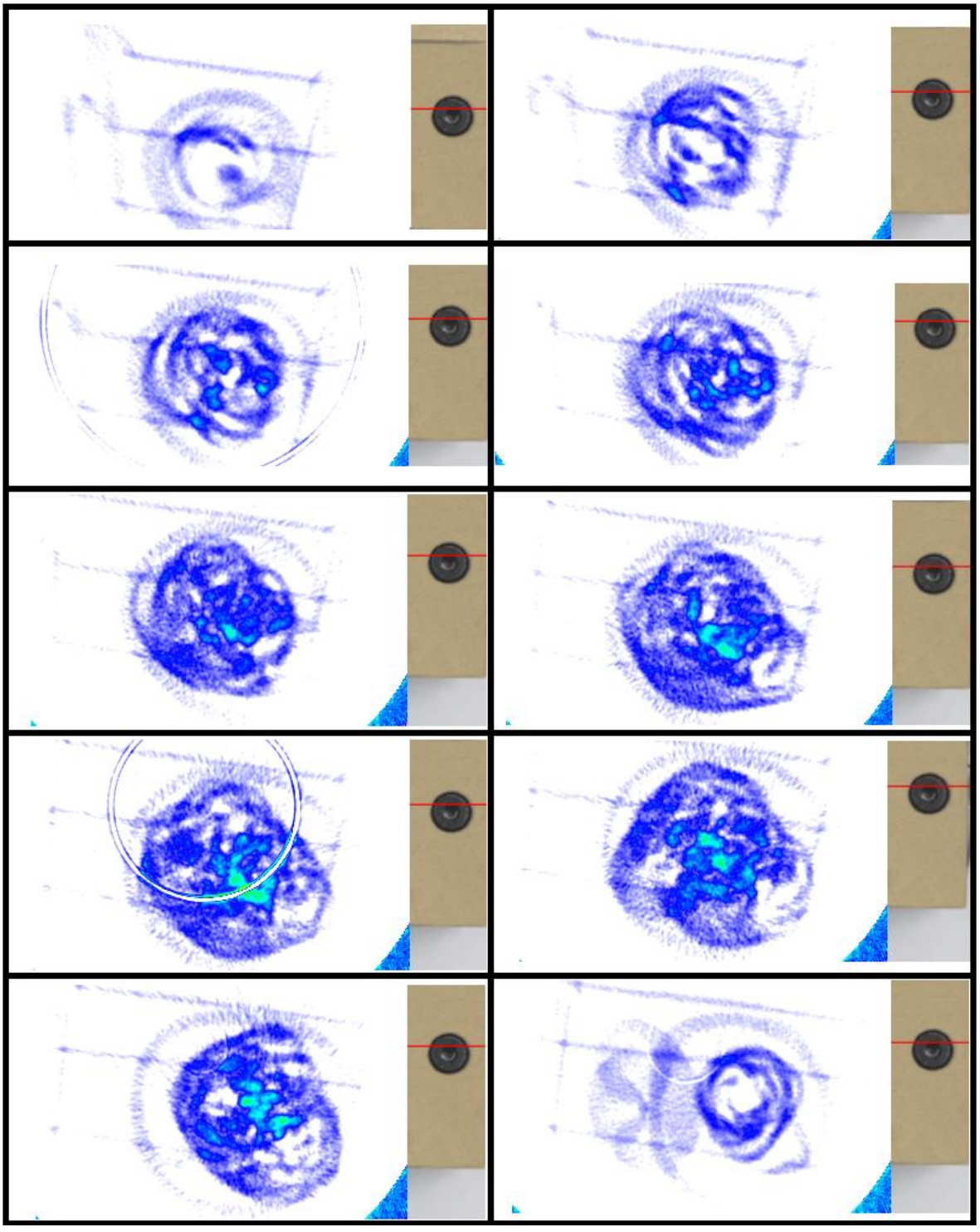


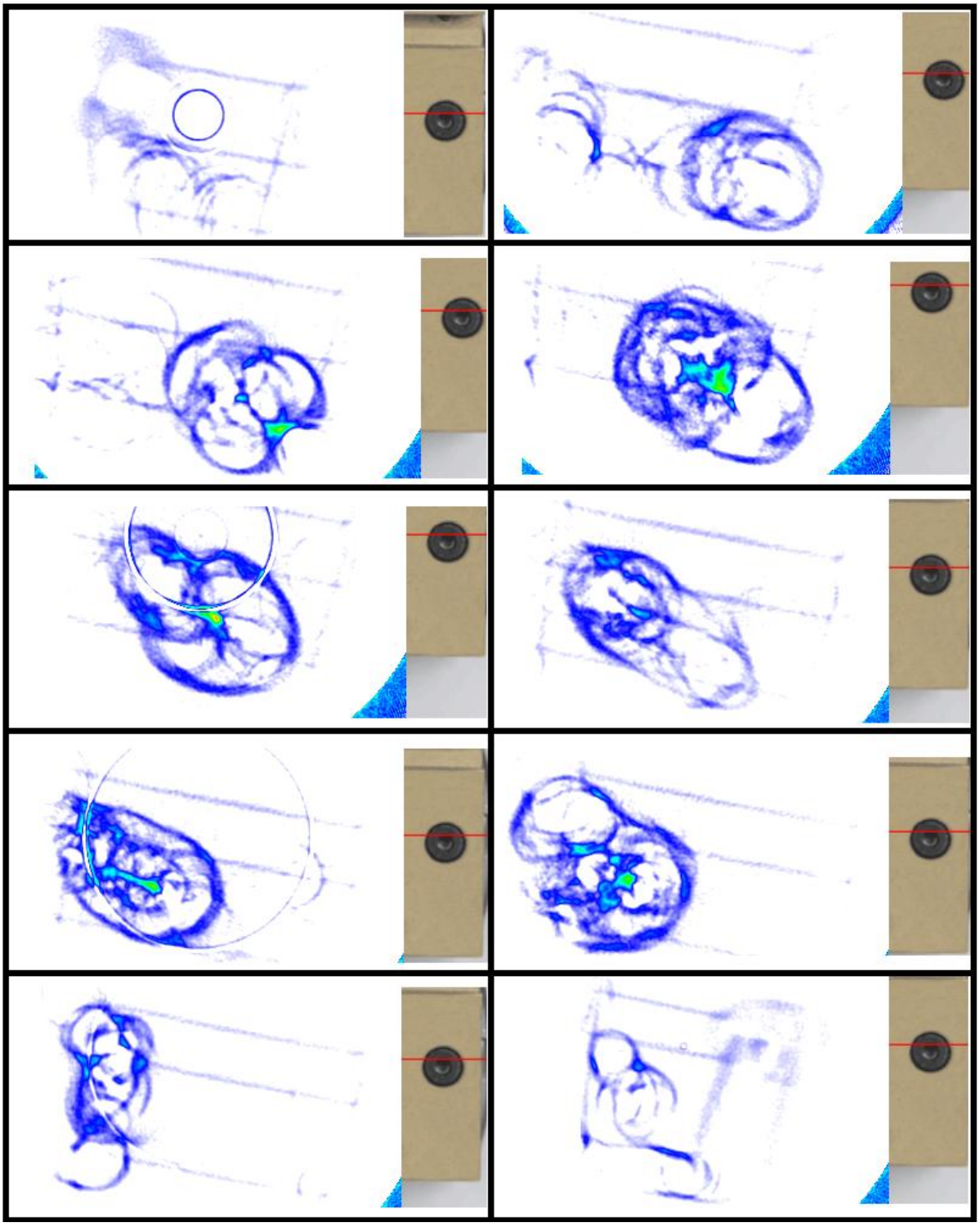


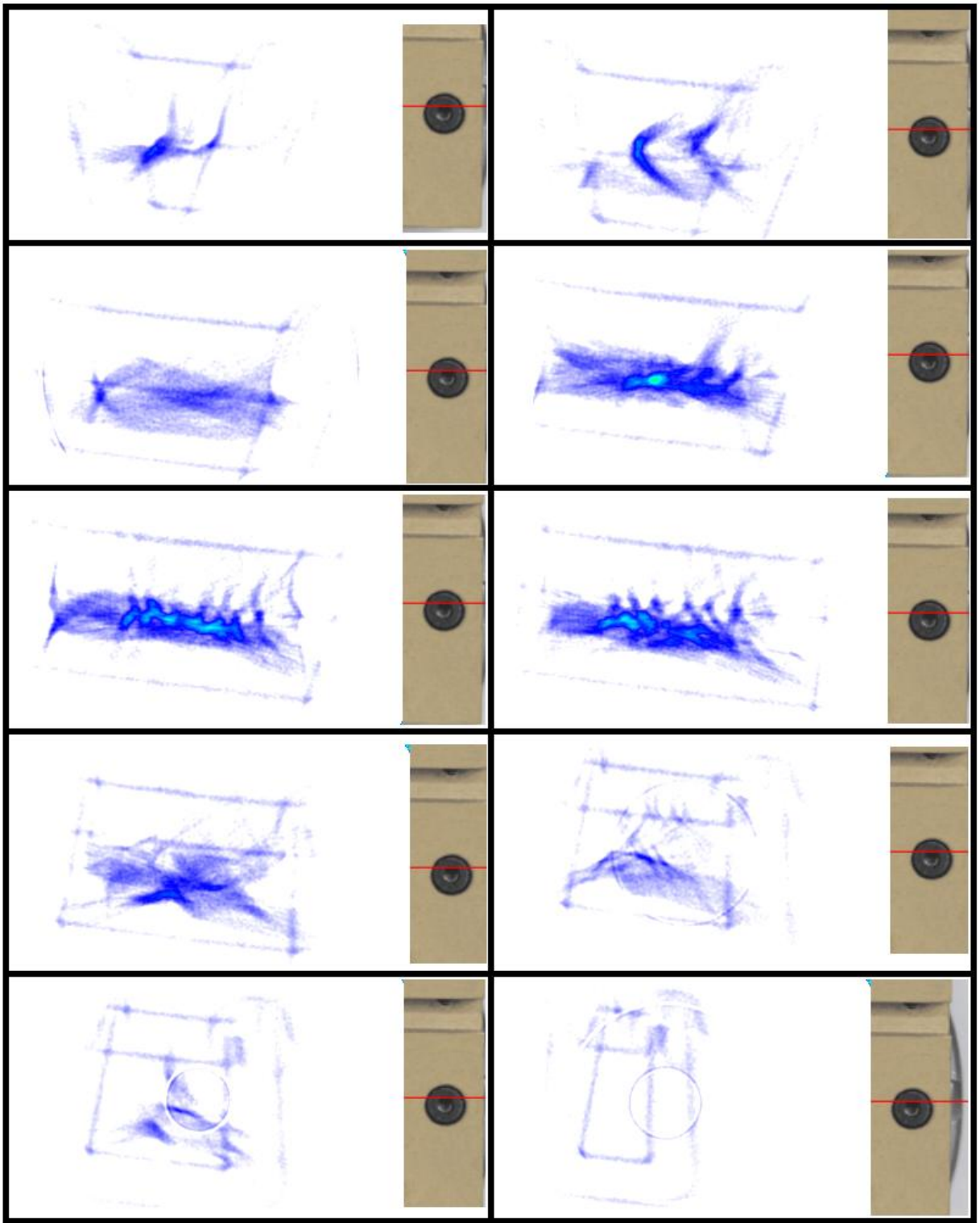


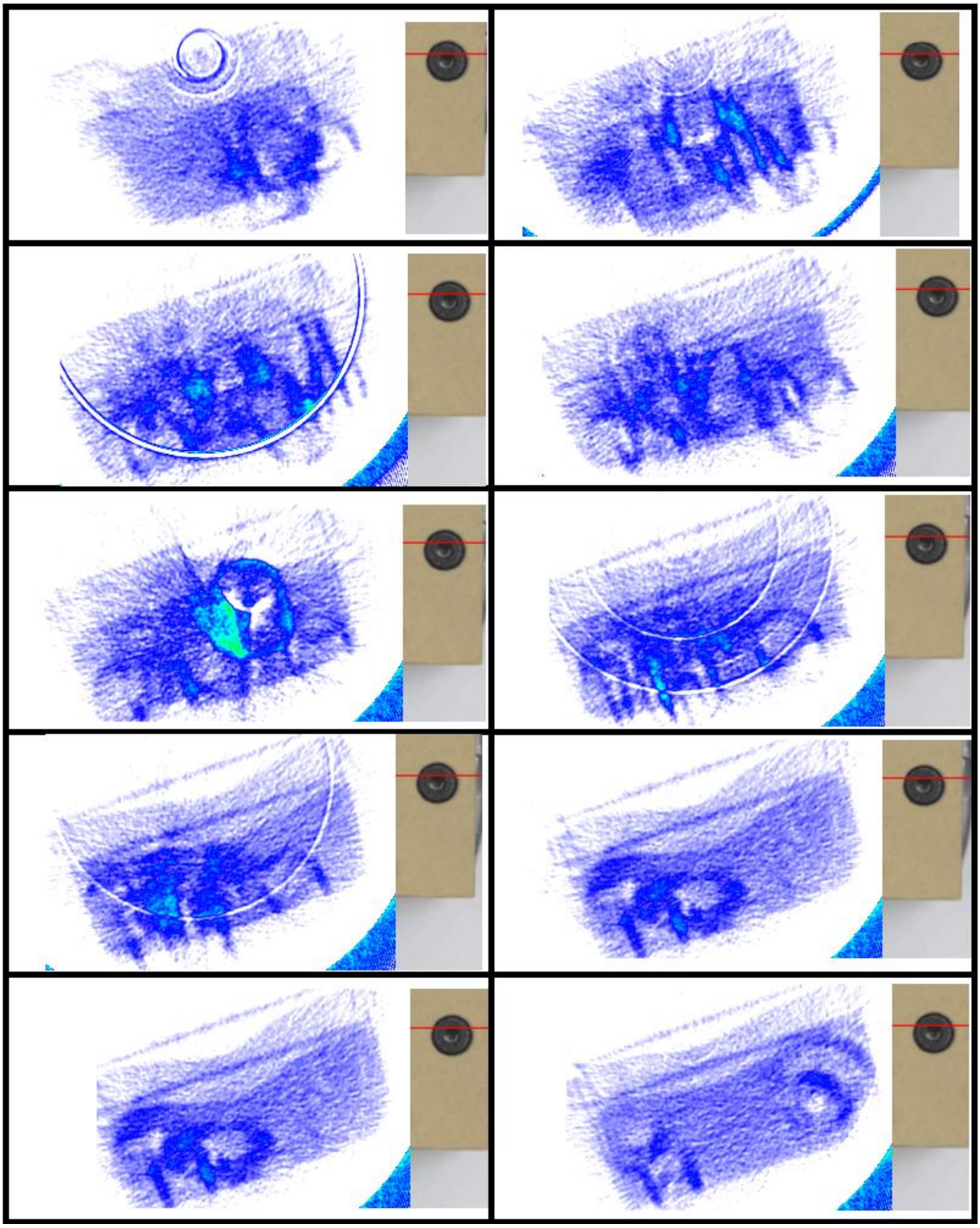


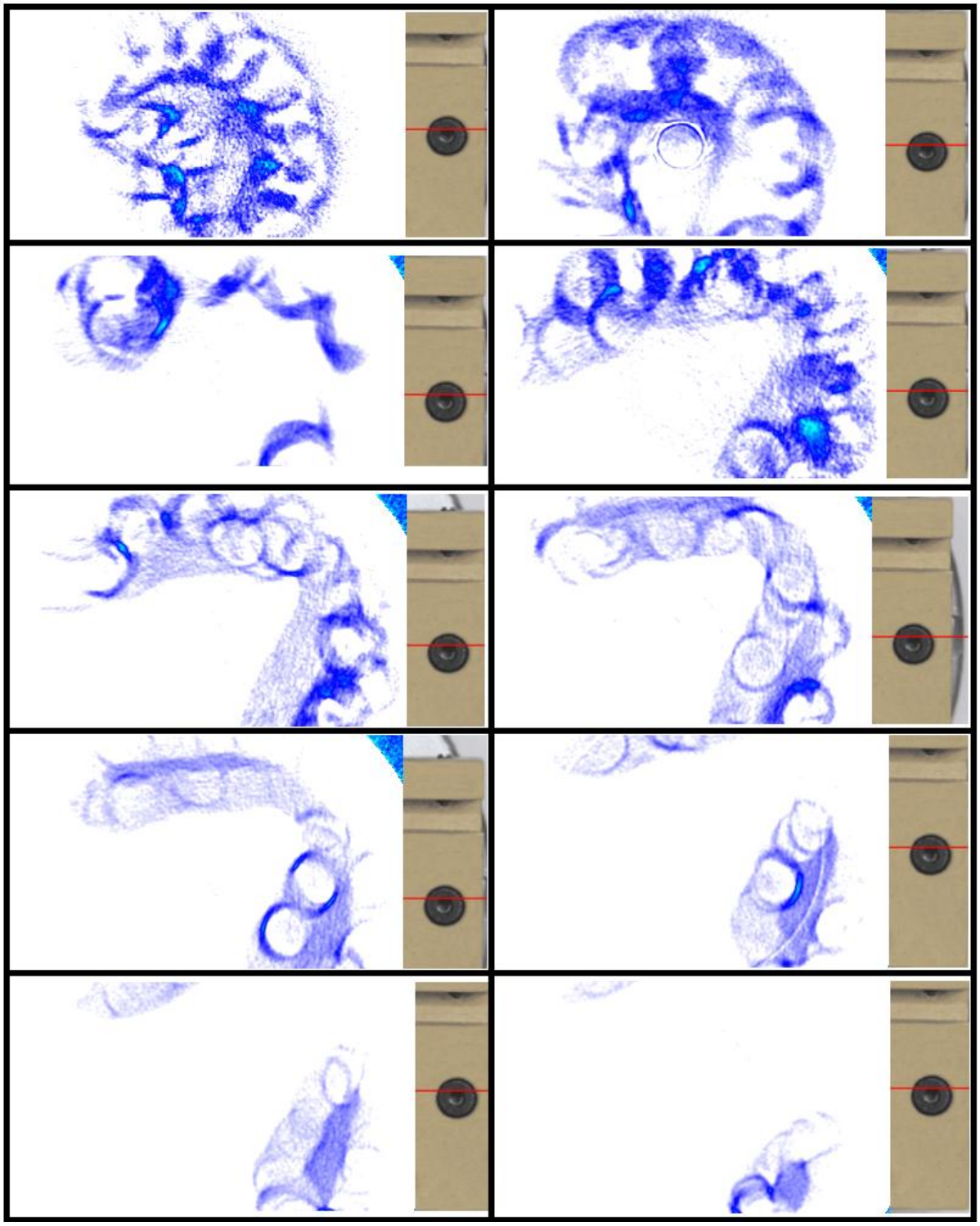


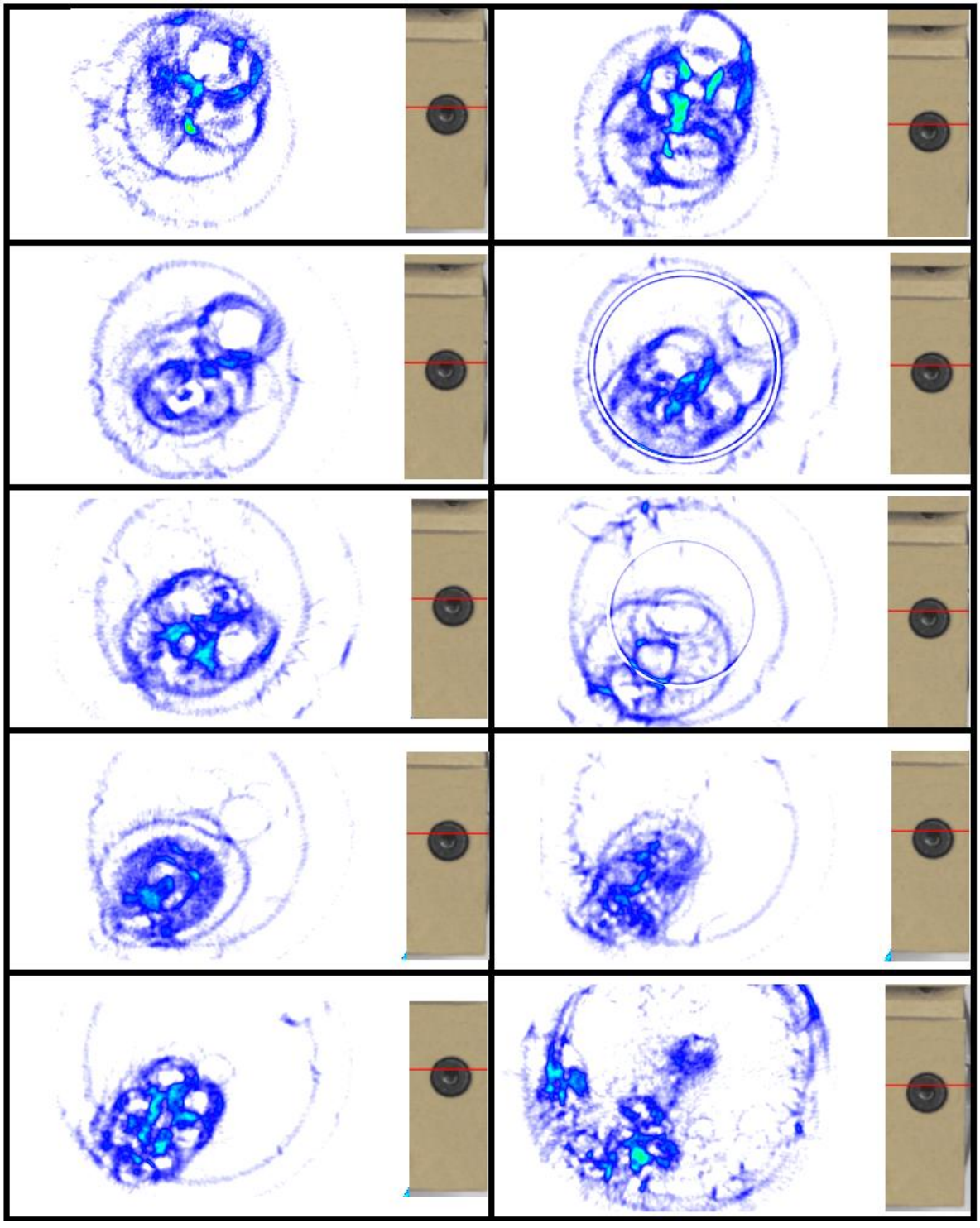


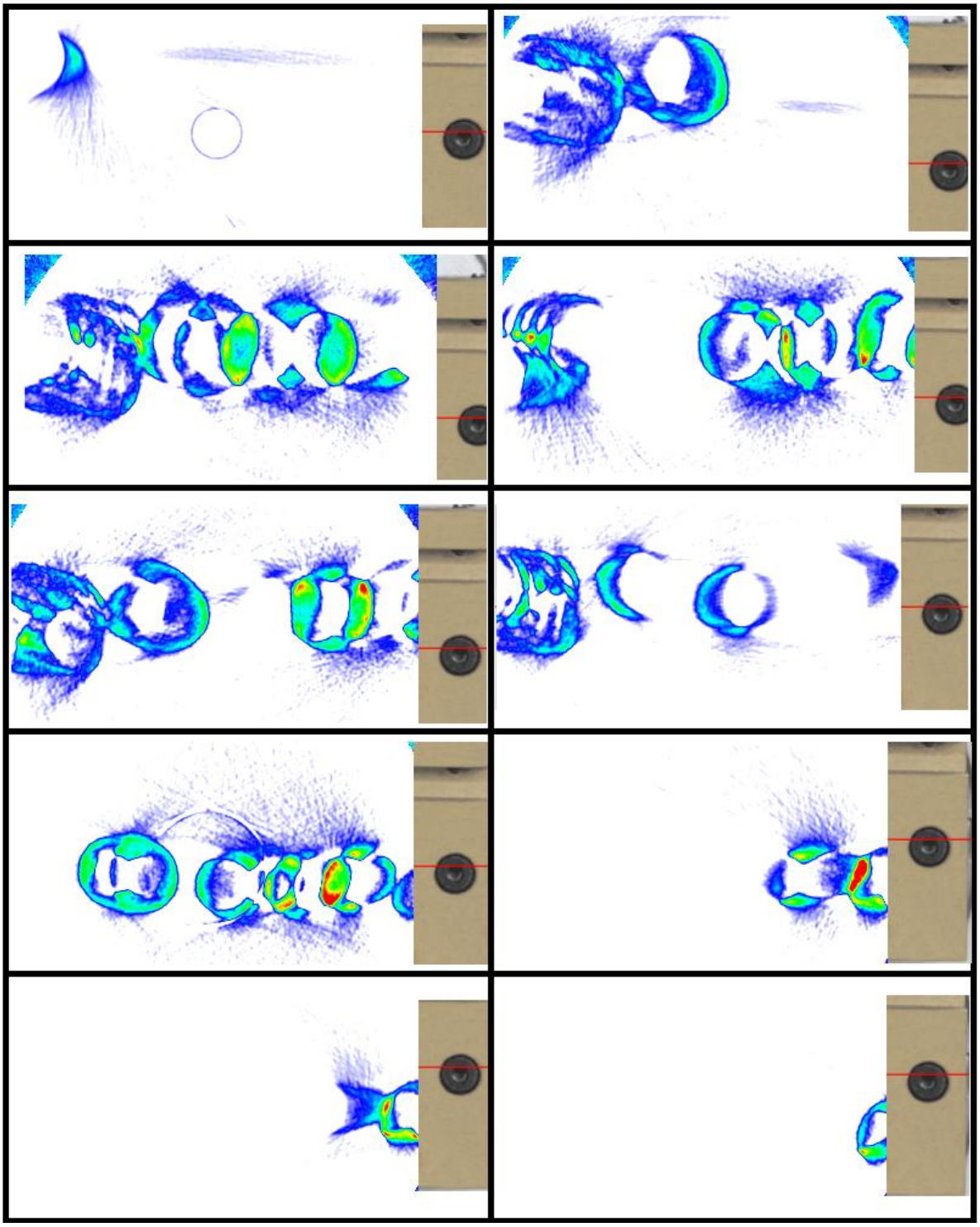










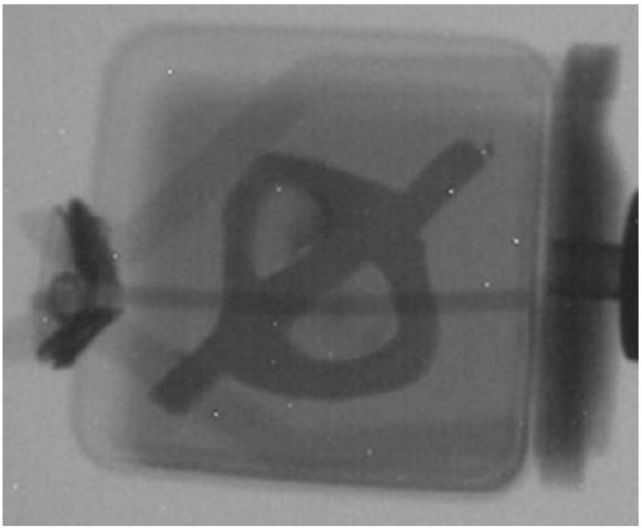


8.11. ANEXO 9: GUÍA PRÁCTICA Y FUNCIONAMIENTO DEL TOMÓGRAFO COMPUTACIONAL DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Guía práctica y funcionamiento del tomógrafo computacional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Rhonal Smith Patiño Guevara

rspatinog@udistrital.edu.co



2025

Contenido

Introducción a la tomografía computacional.....3

Componentes y fundamentos del tomógrafo.....5

Ejemplo de un objeto aplicando tomografía y radiografía..... 11

Kit de materiales..... 16

Conclusiones y recomendaciones 24

Referencias 25

Introducción a la tomografía computacional

La tomografía computacional es un método que se usa para generar imagen, a partir de algunos procesos físicos. También hay otros métodos de imagen como la resonancia magnética (IRM), el ultrasonido (ecografía), tomografía por positrones (pet), entre otros.

La tomografía computacional (TC) se basa en el uso de rayos x, los cuales es una forma de radiación electromagnética capaz de penetrar materiales gracias a su alta energía. Al atravesar el cuerpo, estos rayos interactúan con la materia siendo atenuados y dispersados en función de dos factores principales: la longitud del material recorrido, (l) y el coeficiente de atenuación (μ) .

Este proceso se describe matemáticamente mediante la Ley de Beer-Lambert como se muestra en la Ecuación (1). Lo cual permite reconstruir imágenes internas detalladas del objeto a partir de la diferencia de atenuación.

$$I = I_0 e^{-\mu l} \tag{1}$$

La ecuación describe la intensidad de los rayos X en función de la intensidad inicial, (I_0) a distancia (l) recorrida por los rayos X dentro del objeto y el coeficiente de atenuación (μ) que es una Propiedad intrínseca de cada material que depende de su composición química, por lo que unos materiales son más opacos o traslúcidos para los rayos x. Esto se representa gráficamente en la Figura 1.

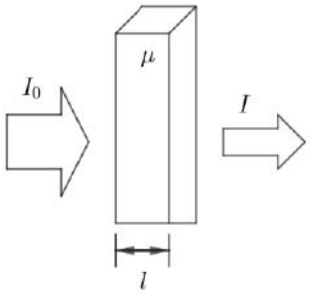


Figura 1. Representación esquemática de la Ley de Beer-Lambert en interacción de rayos X con un material.

Un objeto con diferentes materiales en su interior podría distinguirse por su atenuación, la cual se puede medir por medio de una escala de grises que se cuantifica por las unidades hounsfield (UH) mediante la Ecuación (2).

$$UH = \frac{\mu - \mu_{h2o}}{\mu_{h2o}} \times 1000 \quad (2)$$

Por lo que él (μ_{h2o}) es coeficiente del agua

Su uso es muy importante en diferentes áreas de la ciencia como la mecánica, la minería, la aduana y en especial la física médica para diagnosticar enfermedades.

La radiografía, desarrollada por Wilhelm Conrad Röntgen (1845- 1923), se basa en el descubrimiento de los rayos x. Los cuales fueron descubiertos cuando Röntgen encendió un Tubo de Crookes y notó que una pantalla fluorescente emitía luz al absorber radiación.

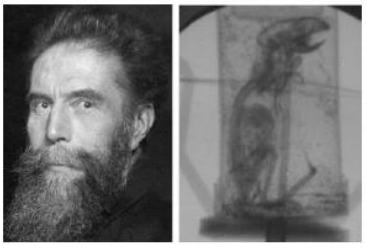


Figura 2. A la izquierda la Fotografía de Röntgen. A la derecha una radiografía de un roedor tomado por el tomógrafo de la Universidad Distrital.

La radiografía es una técnica que utiliza rayos X para generar imágenes internas de un cuerpo u objeto. Los rayos atraviesan el cuerpo, y son atenuados por los materiales del objeto para luego llegar a la placa o detector que está detrás, en dirección o secuencia: fuente de rayos x, objeto y el detector en línea recta.

La interacción entre la radiación atenuada y el detector produce una imagen que representa las diferentes atenuaciones en densidad y composición del objeto estudiado como el roedor de la figura 2.

Componentes y fundamentos del tomógrafo

Introducción

La tomografía computacional es una técnica que adquiere las proyecciones de los rayos x sobre un objeto desde diferentes ángulos alrededor de éste en forma de radiografía. Mediante algoritmos de reconstrucción, estas proyecciones se procesan para generar imágenes tridimensionales detalladas, lo que permite visualizar materiales internos y realizar

cortes transversales sin necesidad de procedimientos invasivos o la introducción de instrumentos.

El tomógrafo computacional de la figura 3, se encuentra en la UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS dentro del laboratorio de física en Bogotá Colombia. Dirección: Carrera 3 No. 26A – 40, sede Macarena A.



Figura 3. Tomógrafo del laboratorio de física.

Componentes y funcionamiento del tomógrafo

Para explicar su funcionamiento el tomógrafo se puede apreciar en tres partes las cuales describiremos a continuación:

1. Panel de control y producción de rayos x

Consiste en un panel de control que permite ajustar las principales magnitudes físicas involucradas en el proceso. Esto incluye parámetros como la producción de rayos X, la rotación del objeto (en grados), el tiempo necesario para cada cambio de ángulo, y configuraciones relacionadas con experimentación en cristalografía.

También se puede modificar la diferencia de potencial eléctrico (voltaje) entre el ánodo y el cátodo

para acelerar los electrones; la intensidad de corriente eléctrica (amperaje) en el filamento; entre otros aspectos fundamentales, como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. fotografía del panel de control y el tubo de rayos x.

1.1 Producción de rayos x

El tubo de rayos X de la tomografía computacional está diseñado para operar en un entorno de vacío. Esto evita interacciones no deseadas entre los electrones y las moléculas del medio, eliminando efectos químicos o físicos que podrían interferir en la generación y la intensidad de los rayos X.

En su interior hay un filamento con un material de tungsteno (para soportar temperaturas elevadas) que al conducir una diferencia de potencial asociada a una intensidad de corriente (A) se puede variar desde el panel de control haciendo que el filamento se caliente y produzca el *efecto termoiónico* o *efecto Edison*, el cual se emite fotones del rango visible de luz y electrones.

Externamente, el campo electromagnético se encuentra con una diferencia de potencial eléctrico (v) que también se puede variar desde el panel de control, y al tener los electrones resultados del efecto termiónico que están libres, aceleren y adquieran energía cinética.

En el tubo de rayos X, los electrones aceleran y colisionan con el ánodo, el cual puede ser de materiales como: molibdeno, cobre, hierro, tungsteno, plata y oro.

Partiendo del ***teorema de la conservación de la energía,*** los electrones cambian su velocidad y dirección (***energía cinética)***, lo cual emite una radiación **(energía electromagnética)** conocida como radiación de frenado conocida como ***Bremsstrahlung.*** Por otro lado, se produce una ionización que emite fotones característicos los cuales forman los picos de cada material en su espectro radiación electromagnética en el rango de los rayos x.

El tubo de rayos x genera un espectro característico para cada material, acompañado de fotones específicos que evidencian la cuantización de la energía. Este fenómeno refleja las propiedades únicas de cada elemento, permitiendo identificar y analizar su composición y estructura interna.

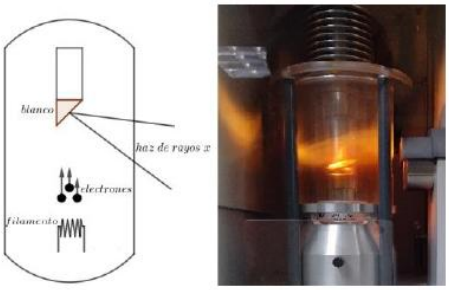


Figura 5. A la izquierdo una imagen esquemática y a la derecha de un tubo de rayos x en funcionamiento.

2. Contenedor de experimentación, goniómetro y riel de desplazamiento

El recinto tiene una estructura rectangular la cual se utiliza para la experimentación y tiene un volumen de 67 cm x 48 cm x 35 cm. En dicha estructura se introduce el cuerpo a experimentar ubicándolo en el goniómetro sujetado para que pueda rotar y adquirir la radiografía o tomografía, también se puede colocar en el riel de deslizamiento como se muestra en la Figura 6.

A un costado está conectada al tubo de rayos x, con un orificio por donde atraviesa la fuente de rayos x; en el medio se encuentra el objeto a estudiar (parte B) y al otro costado se encuentra una pantalla fluorescente que absorbe la intensidad de la radiación después de la interacción con el objeto y emite en el rango de fotones visibles como se muestra en la figura 6 y 7.

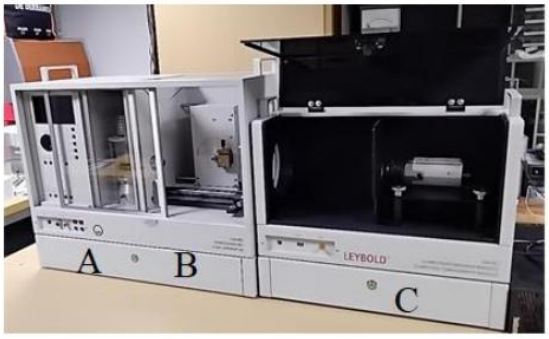


Figura 6. Estructura del tomógrafo por sección A, B y C



Figura 7. Fotografía de recipiente para la experimentación.

Tercera parte: cámara de video

Este compartimiento se encuentra conectado con la pantalla fluorescente y la cámara que adquiere los datos a partir de las imágenes proyectadas, por lo que se puede obtener las radiografías y la adquisición de imágenes de un determinado ángulo para tomografía como se muestra en la figura 7.

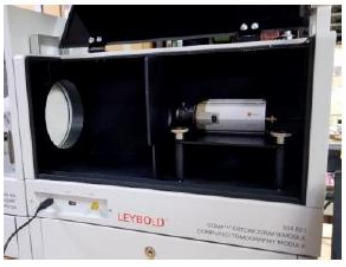


Figura 7. Cámara que toma los datos de la interacción de los rayos x del cuerpo.

Ejemplo de un objeto aplicando tomografía y radiografía

En el laboratorio de física donde se encuentra el tomógrafo de rayos x siempre estará presente un asesor que maneja el equipo con el cuidado debido, por lo que no es necesario seguir estos pasos ya que él los ejecuta de una manera segura pero aun así se explica para que el lector entienda todo el proceso que se necesita para aplicar una tomografía.

Proceso de adquisición de datos para una radiografía y tomografía de rayos x.

- Abrir las compuertas del tubo de rayos x, la del goniómetro y la del video. Esto con el fin de verificar que no haya algún objeto o cable que pueda interferir con la experimentación.
- Verificar el tubo de rayos x que va a emplear ya que tenemos diferentes materiales y verificar que el ventilador este funcionado correctamente.
- Acomodar el objeto de la experimentación en el soporte de montaje para colocarlo en el goniómetro como se muestra en la figura 8.



Figura 8. fotografía de la preparación de la muestra para la tomografía.

- Conectar al tomacorriente el tomógrafo junto con la fuente de alineación de la cámara de video.
- Retirar el protector de la pantalla fluorescente.
- Encender el portátil y conectar a los cables respectivos del tomógrafo y la cámara.
- Abrir el programa de Computed Tomography y encender el tomógrafo por la parte del costado (figura 9).
- Se enciende el tomógrafo haciendo clic en HV on/off como se muestra en la figura 9.



Figura 9. de izquierda a derecha: el icono del programa del tomógrafo, enchufe del tomógrafo donde se conecta a la energía eléctrica y botones del panel de control para encender el tomógrafo.

Para el ejemplo utilizaremos un **alien** con un cerebro para genera su tomografía como se muestra en la figura 10.



Figura 10 fotografía del alien para realizar la tomografía

Una vez abierto el software Computed Tomography podemos visualizar la pantalla principal con el tubo de rayos x encendido genera la radiografía como se muestra en la figura 11.

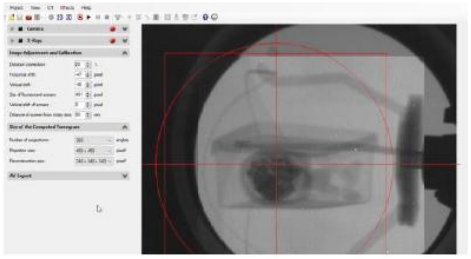


Figura 11. visualización del software Computed Tomography.

Una vez generada la radiografía se puede aplicar una foto-pantalla del video de la pantalla fluorescente, haciendo clic a en el icono de *cámara roja* que está sobre puesto en un icono de *guardar* como se muestra en la figura 11. También se puede variar las magnitudes físicas desde el panel de control como aplicarle rotación, el voltaje, y el amperaje entre otras funciones.

Construcción de tomografía

Al realizar tomografía del alíen hacemos clic en **Start CT Scan** el botón con forma de triangulo de play "inicio" y un vector de forma circular de color rojo como se muestra en la figura 12.



Figura 12. Iconos para generar radiografía y tomografía en el software Computed Tomography.

Una vez la tomografía se genere después de esperar que el tomógrafo adquiera las proyecciones a un determinado ángulo y se adquiera la información para ser procesada, se podrá abrir el archivo con extensiones (*ct3d*) y (*ct*).

Al abrir el archivo podemos visualizar la tomografía haciendo clic en (3D). Con esta herramienta se puede experimentar las diversas configuraciones; una de ellas es variar por medio de cortes paralelos en el plano de la pantalla, ya que se puede rotar la imagen como se observa en la figura 13. Otras de las configuraciones son intensidad contraste e intensidad como se ve en la figura 14.

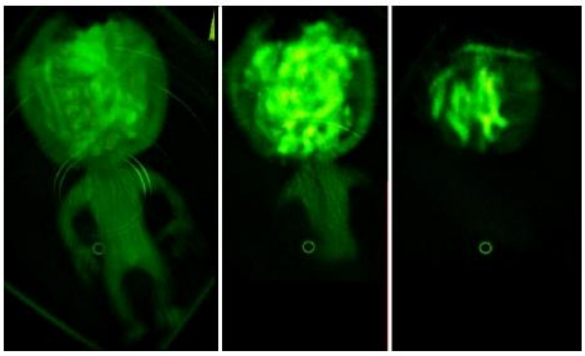


Figura 13. tomografía de un objeto del kit de materiales aplicando cortes para estudiar su interior.

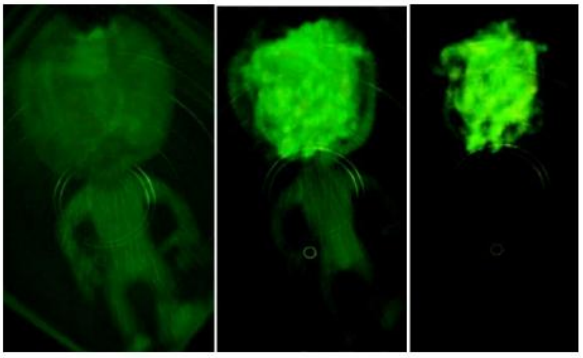


Figura 14. Aplicando una de las propiedades de intensidad y contraste del objeto haciendo visible determinados materiales por medios de coeficiente de atenuación (μ).

Nota: en caso de extraer los archivos para estudiarlos en extra-clase, se puede descargar el programa en el siguiente link: https://www.leybold-shop.com/physics/physics-equipment/atomic-and-nuclear-physics/x-ray-apparatus/computertomography/computed-tomography-module-554821.html en la sección download en Software Computed Tomography (en, V2.11)

Kit de materiales

El kit de materiales tiene el objetivo de facilitar cuerpos u objetos que se puedan aplicar en tomografías y radiografías para la enseñanza de los procesos macroscópicos de la radiación interacción materia con los rayos x, por lo que se describen a continuación por medio de una fotografía y una descripción breve.

1. El objeto es una réplica impresa en 3D de un cráneo animal	
2. piña de pino, cuya semilla presenta una estructura interna peculiar	
3. Impresión en 3D de un cráneo de un ave	
4. Objeto en medio de un material en la cual en su interior tiene forma de escorpión	

5.Estructura de ramificación inmersa en un material de cera	
6.Estructura con morfología de un pescado con diferentes materiales	
7. Estructura ciempiés con enfoque de sus patas	
8. Estructura de una pirámide con estructura en su interior	

9. Objeto biológico de un escarabajo	
10. Estructura de un cuerpo en forma de dorso con sus costillas inmersos en otro material	
11.Lagartija disecado junto a un hámster en estado de gestación	
12. Estructura de escalera para observar la atenuación por longitud	

13. Un cuerpo sumergido en otro material	
14. Es un anfibio de investigación biológica	
15.Alien con cerebro intercambiable para su observación morfológica	
16.Lagartija objeto biológico para estudiar su estructura	

17. Placa con diferentes arandelas radio interno y externo	
18. Phantom de una mandíbula con dos materiales simulando los dientes	
19. Phantom de una mano con tres diferentes materiales simulando la carne, hueso y un objeto externo	
20. Objeto de forma espiral dentro de otro material	

21.Cabeza de un pollo para fines de estudios radiológicos	
22. Rana inmersa en resina epóxica	
23. Madera de forma rectangular formando una estructura de escalera	
22. Roedor, disecado para estudio de tomografía y radiografía	

Conclusiones y recomendaciones

- El uso del kit de materiales está a disposición de la Universidad Distrital Francisco José de

caldas con el propósito de la enseñanza del proceso en la interacción de rayos x con la materia y sus aplicaciones.

- El uso correcto ayuda a su cuidado y conservación de objetos.
- No abrir los recipientes que contienen los materiales ya que éstos se podrían dañar o generar accidentes y contaminación.
- Utilizar guantes y utilizar adecuadamente para su propósito.
- El kit de materiales contiene una gran variedad de objetos diseñados para abarcar los diferentes fenómenos estudiados en tomografía, como el coeficiente de atenuación entre otras.

Nota: todos los animales que se encuentran en el kit de materiales fallecieron por motivos externos para el estudio tomografía y sus aplicaciones, por lo que se describen las circunstancias de adquisición a continuación:

9) Escarabajo: el insecto se encontró mientras se hacía aseo al interior de una casa.

11) Salamanqueja: se encontró en una de las ventanas en una casa en el Tolima.

14) Rana: se encontró muerto flotando en una laguna en el Tolima.

16.Lagartija: Se encontró mientras en la carretera agonizando por culpa de un ataque de los perros. Los animales como los perros y los gatos son un infortunio en la fauna silvestre.

21.Cabeza de un pollo: se compró en una veterinaria con la característica de que era pintado de colores.

22. Rana: El anfibio ya venía junto al equipo del tomógrafo.

22. Roedor: El roedor se encontró en la ciclovía agonizando.

En este trabajo no se torturaron, ni se sacrificaron animales.

Agradecimientos

Al laboratorio de física de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Referencias

Buzug, T. M. (2011). Computed tomography. In *Springer handbook of medical technology* (pp. 311-342). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Hund, M. (n.d.). X-ray apparatus (554 800): Instruction sheet. LD Didactic GmbH.

Anexo 10:

Anexo 11:

Anexo 12:

Anexo 13: