



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**“ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN  
TOMOGRÁFICA”**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniera  
Electrónica**

**Autora:**

**Silvana Paola Sacoto Regalado**

**Director:**

**Edgar Rodrigo Pauta Astudillo**

**Cuenca, Ecuador**

**2013**

## **DEDICATORIA**

Culminar un objetivo, es concebir el porqué del mismo y solo la bondad y la grandeza de Dios, permite la factibilidad del entendimiento de las cosas que con su sabiduría y guía hizo posible llegar a culminar esta parte de mi preparación, en agradecimiento a esta realidad dedico este trabajo, a Dios y a mis Padres, pues Dios al darme la oportunidad de vivir, de iluminarme, me proporciono los medios que conjuntamente con el apoyo cotidiano e incondicional de mis padres permitieron concluir y poder realizarme como profesional y como persona.

A mis hermanos y abuelos por estar siempre presentes, con su apoyo y compañía.  
A mis familiares y amigos que de una u otra manera me han llenado de sabiduría y consejos.

A mis maestros, que con sus ejemplos han motivado la culminación exitosa de mi etapa como estudiante.

## **AGRADECIMIENTO**

Al dar gracias, me permito hacerlo primeramente a mi Dios, quien fue mi guía para emprender este camino que acabo de culminar, a mis padres que con paciencia, dedicación y amor, nunca soltaron mi mano dándome el aliento necesario para alcanzar ésta meta.

A mis Maestros, quienes me han enseñado a ser mejor en la vida y poder realizarme profesionalmente. A la Universidad del Azuay en cuyo recinto encontré las facilidades necesarias para formarme de una manera integral.

Un agradecimiento especial a mi director por su guía y ayuda en la revisión de este trabajo de grado ya que con su apoyo y conocimiento permanente, hizo factible su terminación.

A todos mis compañeros y amigos que día a día me apoyaron en el transcurso de mi carrera, formando el componente necesario para llegar a este final feliz.



## ESTUDIO DE LAS TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA

### RESUMEN

Para explicar el funcionamiento de las técnicas de reconstrucción tomográfica de proyección, retroproyección filtrada, iterativa y analítica que abarcan la realización de este trabajo de Grado, se enfocó como punto primordial lo estudiado en el curso de graduación, realizando una selección de información y conceptos de distintos autores.

El contenido trata acerca de Tomografía y sus técnicas de reconstrucción. Consta de tres capítulos importantes dentro de los cuales se detalla la funcionalidad del equipo y las técnicas utilizadas para la reconstrucción de la imagen, vista como resultado final de un estudio médico, haciendo énfasis fundamentalmente en las diferentes técnicas y sus principios utilizados, lo que ha permitido realizar una comparación de lo existente en nuestro medio con lo revisado en Argentina en cuanto se refiere a equipos y tecnología y a como la Tomografía y las ramas derivadas de la Bioelectrónica han experimentado un verdadero avance tecnológico.

**PALABRAS CLAVE:** Tomografía Axial Computada, Tomógrafo, Detectores, Proyección, Retroproyección Filtrada



DIRECTOR DE ESCUELA

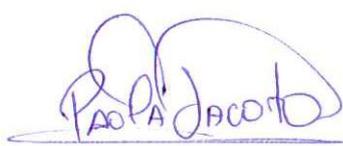
INGENIERIA ELECTRONICA

Ing. Francisco Vásquez



DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ing. Edgar Pauta



AUTORA

Silvana Paola Sacoto Regalado

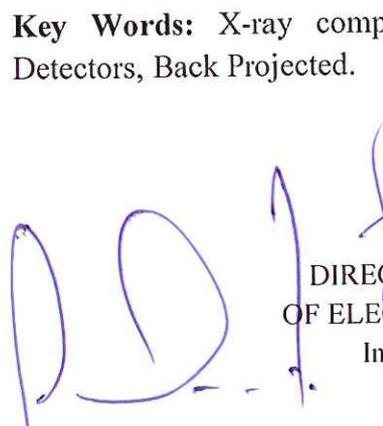
## ABSTRACT

### STUDY OF TOMOGRAPHIC RECONSTRUCTION TECHNIQUE

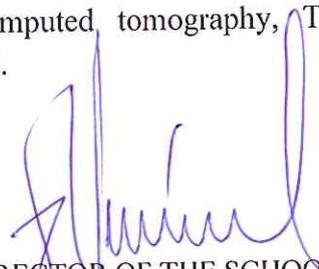
The main focus of this graduation project is to explain the operation of projected, back projected, iterative and analytical tomographic reconstruction imaging techniques. For this purpose, information and concepts from different authors were selected.

The content of this project is related to Tomography and its reconstruction techniques. There are three important chapters where the functionality of the equipment is detailed as well as the techniques that are employed for imaging reconstruction, which is the final result of a medical study. We emphasize on the different techniques and the principles that are employed. This investigation has allowed us to compare technology, equipment, and the technological advances of Tomography and the branches of Bioelectronics in our society with the situation in Argentina.

**Key Words:** X-ray computed tomography, Tomography, Projection Detectors, Back Projected.



THESIS DIRECTOR  
Ing. Edgar Pauta

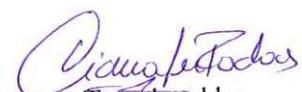


DIRECTOR OF THE SCHOOL  
OF ELECTRONIC ENGINEERING  
Ing. Francisco Vásquez

AUTHOR  
Silvana Paola Sacoto Regalado



UNIVERSIDAD DEL  
AZUAY  
DPTO. IDIOMAS



Translated by,  
Diana Lee Rodas

## INDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>ii</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>iii</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iv</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1: TOMÓGRAFO Y TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA EN TÉRMINOS GENERALES:</b>	
1.1 Conceptos:.....	3
1.1.1 TOMÓGRAFO.....	3
1.1.2 PARTES PRINCIPALES DE UN TOMÓGRAFO .....	4
1.2 TOMOGRAFIA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC, Escáner).....	7
1.3 EVOLUCIÓN DE LA TOMOGRAFÍA.....	8
1.4 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN TOMÓGRAFO.....	10
1.5 APLICACIONES EN LA TOMOGRAFÍA.....	12
<b>CAPITULO 2: TECNICAS DE RECONSTRUCCION TOMOGRAFICA</b>	
2.1 INTRODUCCIÓN .....	14
2.2 HISTORIA .....	15
2.3 PRINCIPIOS FÍSICOS.....	15
2.3.1 PRINCIPIO DE LA TÉCNICA DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA “PROYECCIÓN” .....	15
2.3.2 PRINCIPIO DE LA TECNICA DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFIA “RETROPROYECCIÓN FILTRADA” .....	19
2.4 EL TEOREMA DE CORTE DE FOURIER.....	23
2.5 ALGORITMO DE RETROPROYECCIÓN FILTRADO.....	23
2.5.1 LA RETROPROYECCION FILTRADA PRESENTA CARACTERISTICAS COMO:.....	25
2.6 RUIDO.....	26
2.7 RECONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN .....	27

**CAPITULO 3: RECONSTRUCCION ANALITICA E ITERATIVA**

3.1 INTRODUCCION .....28

3.2 RECONSTRUCCIÓN ANALITICA:.....29

3.3 RECONSTRUCCIÓN ITERATIVA:.....33

    3.3.1 PRINCIPIO DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA BASADA EN LA  
    TÉCNICA ITERATIVA:.....34

    3.3.2 CARACTERÍSTICAS DENTRO DE LA RECONSTRUCCION ITERATIVA  
    .....36

    3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DENTRO DE LA TÉCNICA DE  
    RECONSTRUCCIÓN ITERATIVA .....38

**CONCLUSIONES:..... 39**

**BIBLIOGRAFÍA..... 40**

**ANEXO 1. Funcionamiento del Equipo Anexo 1: Funcionamiento de un Equipo  
de Tomografía. .... 42**

**ANEXO 2: Video ..... 43**

## INDICE DE FIGURAS

Fig 1: Tomógrafo Moderno .....	4
Fig 2: Partes de un Tomógrafo e interior del Gantry .....	5
Fig 3: Simulación gráfica de la rotación a lo largo del cuerpo humano.....	7
Fig 4: Proceso de Conversión de las señales mediante los detectores.....	11
Fig 5: Proceso para obtener corte de la zona puesta en estudio. ....	12
Fig 6: Representación gráfica de la técnica de proyección. ....	17
Fig 7: Visualización de imagen en alta y baja frecuencia. ....	18
Fig 8: Efectos de muestreo angular de la calidad de imagen en la reconstrucción FBP.....	21
Fig 9: Sinograma = resultado borroso-colección de proyecciones.....	22
Fig 10: Proceso de Retroproyección Filtrado. ....	24
Fig 11: Visualización de una imagen al aplicar FBP.....	25
Fig 12: Efectos del ruido en la calidad de imagen.....	26
Fig 13: Reconstrucción Tomográfica. ....	27
Fig 14: Picos mostrados en el método de Reconstrucción Analítica.....	29
Fig 15: Eliminación de artefactos dentro de esta técnica de reconstrucción tomográfica. ....	30
Fig 16: Distribución real de Actividad en el plano del objeto.....	31
Fig 17: Distribución real filtrando cada Proyección. ....	32
Fig 18: Comparación entre el método de FBP e Iterativa de la zona a estudio. ....	35
Fig 19: Proceso Iterativo para reconstruir imágenes .....	37

**INDICE DE ANEXOS**

Anexo 1: Funcionamiento de un Equipo de Tomografía. .... 6

*Anexo 2: Video* .....43

Sacoto Regalado Silvana Paola

Trabajo de Graduación

Ing. Edgar Rodrigo Pauta Astudillo

Mayo de 2013

## **ESTUDIO DE LAS TECNICAS DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA**

### **INTRODUCCIÓN**

Los avances tecnológicos, con el progreso económico de los países primer mundistas, han mejorado las estrategias para las pruebas médicas en cualquier rama de la medicina. Al evaluar el número de procedimientos en radiología médica, los estudios indican un aumento, con un crecimiento anual del 4-6%, en estos países.

Este incremento al utilizar rayos X significa también un incremento en el uso de la tomografía axial computarizada y procedimientos relacionados, se estima que el 20% de las pruebas radiológicas que se realizan no son clínicamente de ayuda para la comprensión del paciente acerca de este estudio, por lo tanto una vez que el resultado está clínicamente admitido se somete al paciente a informarle sobre: la calidad diagnóstica de la imagen, la dosis de radiación al paciente y la elección de los parámetros técnicos del examen.

La Tomografía axial computarizada tuvo sus inicios en el ámbito práctico de la medicina en los años 70, sobresaliendo los resultados con rayos X y de esta forma dando lugar a una nueva visualización de imágenes (digital) en radiología diagnóstica.

Es un método de diagnóstico médico que permite observar el interior del cuerpo humano, a través de cortes milimétricos transversales al eje céfalo-caudal<sup>1</sup>, mediante la utilización de los rayos X. Al mencionar la ecografía, resonancia magnética y la tomografía axial computarizada podemos decir que avanzaron

---

<sup>1</sup> Eje céfalo-caudal: Eje mayor del cuerpo, o a la relación entre la cabeza y la base de la columna.

visiblemente en lo que a sus resultados de diagnóstico se refieren, ya que los especialistas de hoy en día pueden dar un acertado diagnóstico a sus pacientes.

Suele existir cierta confusión en lo que a Tomografía Axial computarizada se refiere, con Rayos X que de la misma forma dan lugar a la visualización en dos dimensiones pero este con menor detalle. Puesto que la Tomografía hace uso de un haz muy bien dirigido y con grosor determinado para el lugar donde se va a realizar el estudio.

Una de las desventajas que trae consigo al utilizar TAC, es la dosis de radiación que absorbe el paciente sometido al estudio, que aumenta con la cantidad de cortes que se realicen. Para tener una idea de la cantidad de cortes necesarios, en un estudio del cráneo, se necesitan como mínimo 12 o 14; en estudios de abdomen o tórax el número de cortes es mayor aún.

## **CAPITULO I**

### **TOMÓGRAFO Y TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA EN TÉRMINOS GENERALES:**

#### **1.1 Conceptos:**

Se realizará en este capítulo una breve reseña sobre los principios de funcionamiento e importancia de Tomografía Axial Computarizada.

##### **1.1.1 TOMÓGRAFO**

Como concepto aceptado de tomógrafo tenemos que, es un equipo de Rayos X, donde la placa radiográfica fue sustituida por detectores<sup>2</sup>. La forma de operar del tomógrafo es girando alrededor del paciente y en base a los detectores ubicados en los lados opuestos al paciente van obteniendo en cada giro la radiación que recibe dicha persona.

Estos datos recogidos por los detectores son enviados a una PC que supe y reconstruye la información y da lugar a la representación de la imagen en la pantalla de este ordenador.

---

<sup>2</sup> Detectores: Convierten la señal de radiación en una señal electrónica de respuesta o señal analógica.

En la figura 1 se muestra la imagen del tomógrafo moderno.



Fig 1: Tomógrafo Moderno (Fuente de la imagen: <http://2.bp.blogspot.com/-pLEL75AB2Ms/T4OteJWY0al/AAAAAAAAHWg/zp6KBlf1w4/s1600/tomos.jpg>)

Los Tomógrafos crean una imagen tridimensional de un objeto tomando múltiples mediciones del mismo con rayos X desde diferentes ángulos y utilizan una computadora que permita reconstruirla a partir de cientos de "planos" superpuestos y entrecruzados.

### 1.1.2 PARTES PRINCIPALES DE UN TOMÓGRAFO

Un equipo que realiza tomografía está constituido principalmente por:

**Gantry:** Lugar físico donde es introducido el paciente para su examen, aquí se encuentra el tubo de rayos X el colimador, los detectores, el DAS y todo el conjunto mecánico para realizar el movimiento y la exploración.

**Ordenador:** Módulo formado por tres unidades: Control del sistema, reconstrucción y almacenamiento de datos e imágenes.

**Consola:** Teclado y monitor donde se pueden ver las imágenes.

En la figura 2 se muestra las partes principales de un tomógrafo.

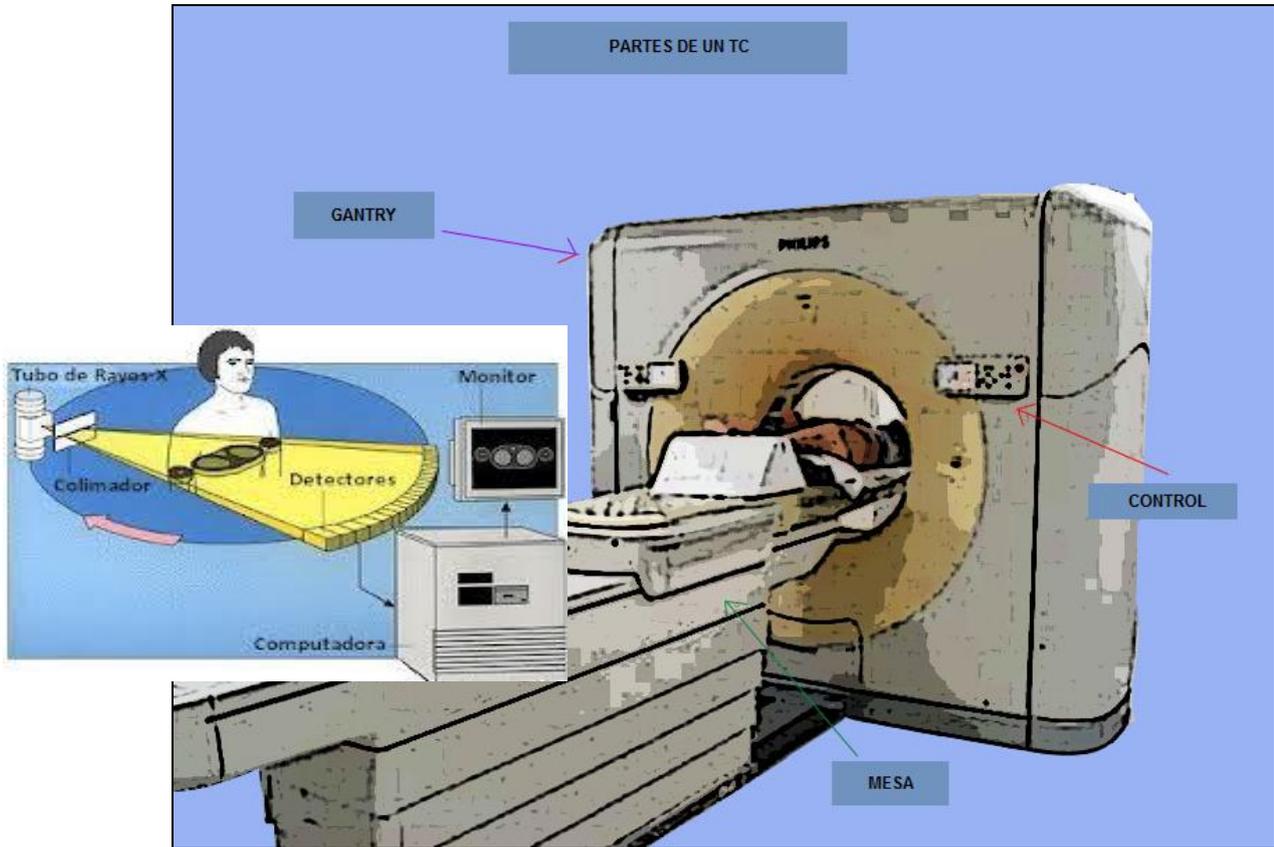
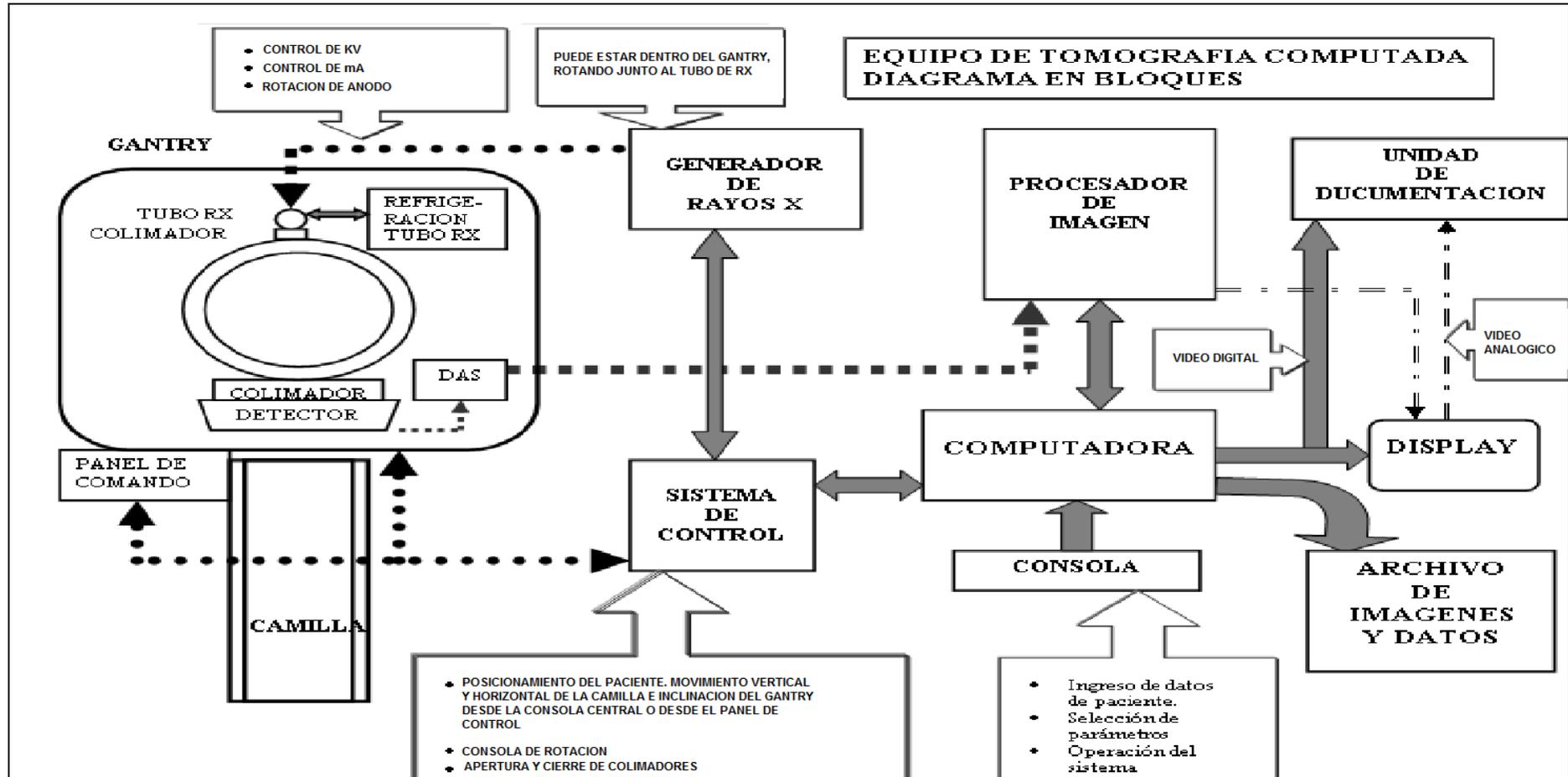


Fig 2: Partes de un Tomógrafo e interior del Gantry.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

A continuación se muestra el funcionamiento de un equipo de tomografía en diagrama de bloques.



Anexo 1: Funcionamiento de un Equipo de Tomografía.

## 1.2 TOMOGRAFIA AXIAL COMPUTARIZADA (TAC, Escáner)

Se llama también escáner a la tomografía axial computarizada o TAC, su inicio tuvo lugar en la década de los 70, en aquellos tiempos cada corte o giro del tubo emisor de radiación dentro del gantry requería 5 minutos aproximadamente para realizar el estudio completo, también de los 60 segundos indispensables para reconstruir la imagen.

Hoy en día se realizan 2 cortes por segundo reconstruyéndose de forma instantánea la imagen, es por esto que la tomografía fué una modalidad de Rayos X la cual solo admitía tener como consecuencia imágenes axiales del cerebro, ahora su procedimiento es obtener imágenes casi precisas, tridimensionales de cualquier área anatómica, obteniendo como resultados diagnósticos muy exactos.

Se llama también tomografía, al sondeo o exploración de rayos X, dando lugar a resultados que produce imágenes puntualizadas de cortes axiales del cuerpo. La TAC a diferencia de radiología convencional obtiene múltiples imágenes con la rotación alrededor del cuerpo humano como se muestra en la siguiente figura.

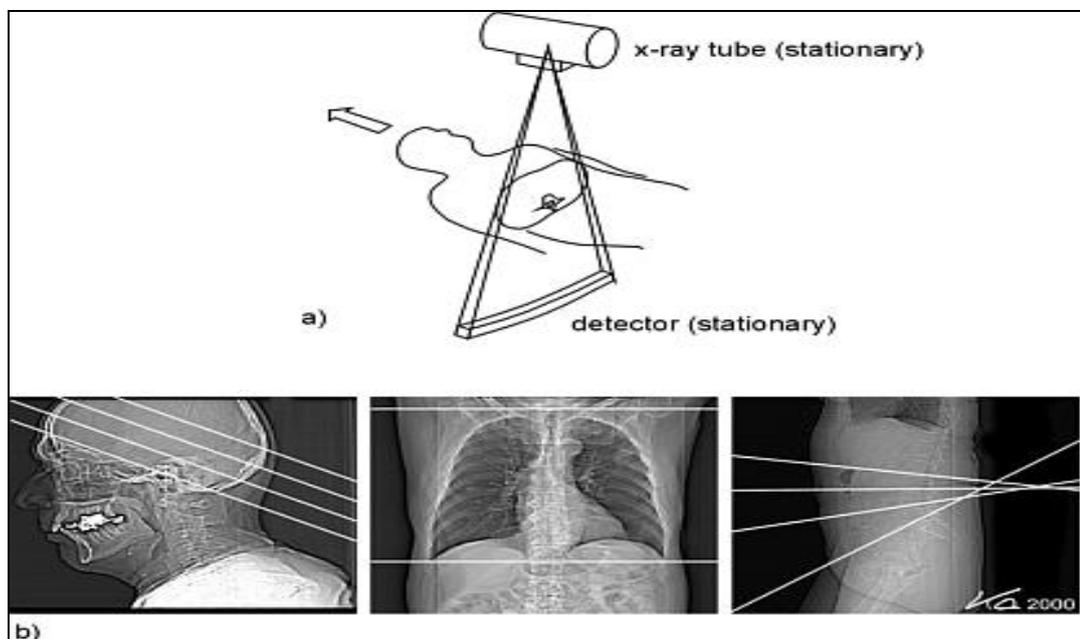


Fig 3: Simulación gráfica de la rotación a lo largo del cuerpo humano.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

El proceso que realiza la computadora es ordenar todas las imágenes obtenidas en una sola imagen final, que es la representación del órgano explorado. A continuación, se describe brevemente las diferentes generaciones de la evolución de la tomografía axial computarizada.

### **1.3 EVOLUCIÓN DE LA TOMOGRAFÍA**

#### **TOMÓGRAFOS DE PRIMERA GENERACIÓN**

Los equipos de esta generación tiene una característica principal, están constituidos de un haz colimador de 6 rayos y un solo detector, en el momento en el que el equipo hace su estudio, se desplaza sobre el paciente obteniendo barridos consecutivos.

El movimiento que caracteriza esta generación de equipo, es el de traslación-rotación, es decir, trasladarse-parar-rotar-parar, trasladarse-parar-rotar-parar. Los que se resalta también dentro de esta generación en lo siguiente.

- Un solo detector dentro del equipo.
- Se generan haces paralelos.
- La radiación es continua.
- 180 rotaciones necesarias para un estudio.
- Tiempos de scan 5 minutos.
- Bajo costo del detector.
- Muy bajo aprovechamiento de la radiación.

#### **TOMÓGRAFOS DE SEGUNDA GENERACIÓN**

Estos equipos también cumplían el mismo movimiento que los de primera generación, traslación-rotación, y es necesario resaltar que ya no se fabrican. El número de detectores dentro de esta generación aumenta entre 5 y 35 detectores, recogiendo así el haz en forma de abanico y no paralela.

La ventaja era que la velocidad con la que se producían sus barridos, era mayor debido a que su número de detectores también lo era, esto permitía, que con una sola traslación se obtenga el mismo resultado que con varias traslaciones en un equipo de primera generación.

Esta generación presenta los siguientes puntos importantes:

- Mayor número de detectores (10 a 40).
- Haz de rayos en abanico.
- Radiación continua.
- Menos rotaciones necesarias.
- Tiempos de adquisición entre 20 segundos a 1 minuto.
- Mejor aprovechamiento de la radiación.

### **TOMÓGRAFOS DE TERCERA GENERACIÓN**

En esta generación se reduce nuevamente los tiempos de corte, debido que aumenta aun más el número de detectores (300 a 600). El tiempo de adquisición ya se establece solo en segundos, el movimiento que se da dentro de esta generación es simplemente de rotación.

Aspectos importantes:

- No hay traslación, la recopilación de datos esta basada solo en el método de rotación, abarcando un ángulo de giro alrededor del paciente de 240° a 360°, según la velocidad.
- Aumento de detectores.
- El tiempo de scan se reduce (4 a 10 segundos).

### **TOMÓGRAFOS DE CUARTA GENERACIÓN**

Al igual que los equipos de tercera generación, éstos también cumplen el movimiento únicamente de rotación, pero con la diferencia que en este caso solo gira el tubo y los detectores permanecen fijos.

Cumplen las siguientes características:

- El método de recopilación de datos es por medio del movimiento rotacional del tubo de rayos X.
- Crece el número de detectores (600 a 2400).
- El tiempo de scan se reduce aun más.

Al comparar los equipos de esta generación con los de tercera, se puede concluir que la calidad de la imagen dependerá en gran parte de las funciones matemáticas empleadas en la reconstrucción de las imágenes, o sea del sistema informático que conlleva esto.

## **TOMÓGRAFOS DE QUINTA GENERACIÓN**

Esta es la generación de equipos actuales, donde se mejora considerablemente la calidad de la imagen, efectuándole al paciente menos dosis de radiación y menor tiempo de exploración.

Se destaca por:

- Equipos sumamente rápidos (17 cortes/segundo).
- Permiten hacer estudios dinámicos y de cualquier zona del cuerpo.
- Haz de electrón rotatorio.
- Número de detectores necesarios para un excelente diagnóstico médico.

### **1.4 PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DE UN TOMÓGRAFO**

La obtención de imágenes en un Tomógrafo se realiza a través de un tubo de Rx. El bloque que tiene un movimiento sincrónico es el de tubo-detector, de esta forma se obtienen las distintas proyecciones del objeto. Cada detector tendrá un canal por el cual enviará las señales recibidas de cada uno de los detectores en cada proyección, y a partir de ellas reconstruye la imagen, pero siempre éstas quedarán archivadas en la memoria del ordenador.

Entonces los detectores son los que convierten las señales de radiación en señales de respuesta electrónica es decir si existiera o no un pulso, sabiendo que un 1 será obtención de resultado y un 0 será que no hay respuesta de la señal, como se muestra en la figura 4.

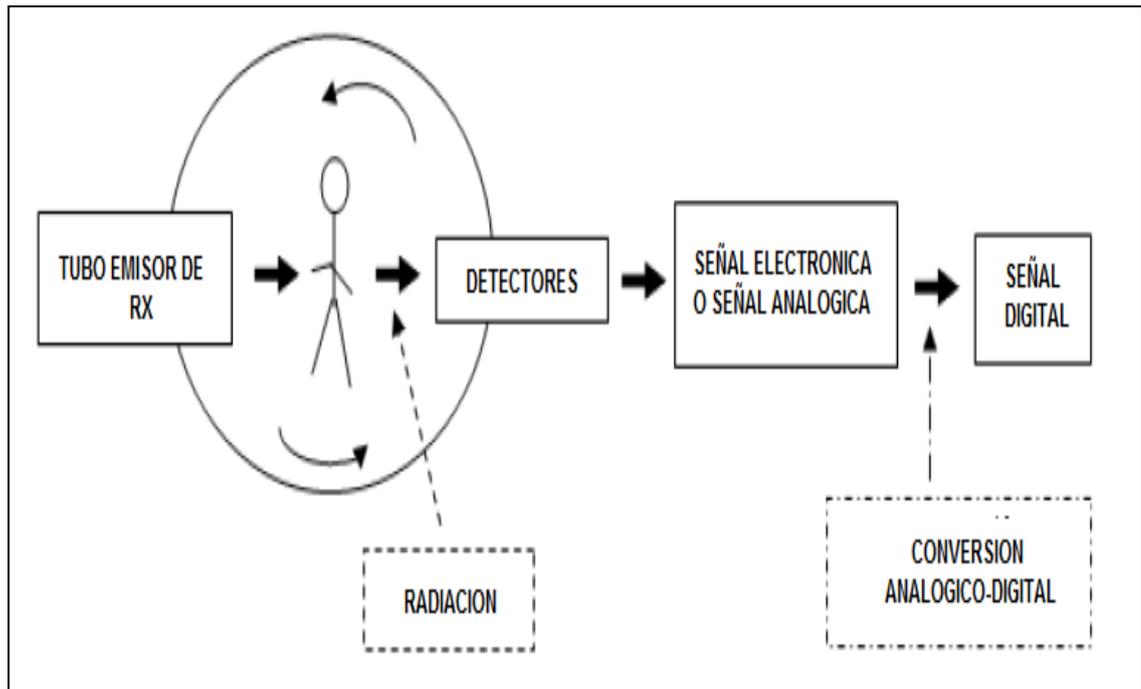


Fig 4: Proceso de Conversión de las señales mediante los detectores.

(Fuente: ANDALUCIA Federación de Enseñanza CC.OO, Principios de la Tomografía Computarizada, ISSN: 1989-4023, septiembre del 2009)

Este proceso de conversión lo realiza el computador para poder así trabajar con las medidas recibidas en un sistema binario. Al final de un barrido, el conjunto fuente-detector gira y comienza un segundo barrido. Durante este barrido, la señal del detector crea una segunda proyección.

De esta forma se repite varias veces este proceso dando lugar a una gran cantidad de proyecciones que se van almacenando en el ordenador, para ser vistas como imágenes mediante técnicas de reconstrucción que serán detalladas en los próximos capítulos de este trabajo.

En la figura 5 se muestra el proceso para obtener el corte de una zona del cuerpo humano.

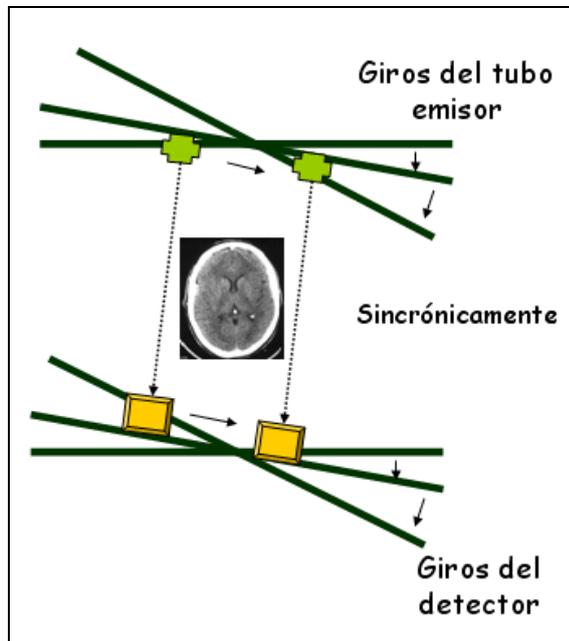


Fig 5: Proceso para obtener corte de la zona puesta en estudio.

(Fuente: ANDALUCIA Federación de Enseñanza CC.OO, Principios de la Tomografía Computarizada, ISSN: 1989-4023, septiembre del 2009)

### 1.5 APLICACIONES EN LA TOMOGRAFÍA

Es un método no invasivo de diagnóstico por imagen, de gran utilidad para la exploración prácticamente de todo el cuerpo, siendo utilizado en las siguientes áreas:

- Tórax
- Abdomen
- Estudio en la zona Craneana
- Sistema músculo esquelético

Las ventajas del estudio son:

- Suministra imágenes de alta fidelidad.
- La radiación a la que se expone el paciente es mínima.
- La amplia gama de tonos gris que maneja, permite identificar con precisión los diferentes tejidos involucrados en el estudio.

El color negro representa una densidad elevada, por ejemplo la del hueso, mientras que el gris indica una densidad media, los tejidos blandos por ejemplo los músculos. Los primeros tomógrafos hacían únicamente estudios del cráneo, los actuales sirven para hacer estudios del cuerpo entero<sup>1</sup>.

## **CAPÍTULO II**

### **TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA**

#### **2.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta las técnicas de reconstrucción de imágenes tomográficas, proyección y retroproyección filtrada, detallando la manera en la que se da la técnica y su principio, utilizado en reconstrucción de imágenes. El objetivo es dar a conocer los métodos y la manera que se emplea para la reconstrucción de una imagen Tomográfica utilizando modelos físicos.

Asumiendo como ejemplo para entender cada técnica, decimos que, se superpone una cuadrícula imaginaria encima del plano en el que se encuentra la sección de la zona por reconstruir, para que de esta forma el objeto a estudio quede dividido en celdas, obteniendo proyecciones, que son la suma de varios términos sobre direcciones en la cuadrícula.

Las direcciones llegan a ser finas bandas que atraviesan la cuadrícula a diversos ángulos. Las bandas representan los rayos que se transmiten a través del objeto de estudio. Mediante las proyecciones que se obtienen, es posible llegar a formular un conjunto de ecuaciones que se resuelven mediante algoritmos adecuados.

## 2.2 HISTORIA

### Fundamento técnico

Las fórmulas matemáticas para reconstruir una imagen tridimensional a partir de múltiples imágenes axiales planas fueron desarrolladas por el físico J. Radón, nacido en Alemania en 1917. Tras su trabajo las fórmulas existían, pero no así el equipo de rayos X capaz de hacer múltiples “cortes” ni la máquina capaz de hacer los cálculos automáticamente.

Para aplicarlo a la medicina hubo que esperar al desarrollo de la computación y del equipo adecuado que mezclase la capacidad de obtener múltiples imágenes axiales separadas por pequeñas distancias, almacenar electrónicamente los resultados y tratarlos. Todo esto lo hizo posible el británico G. H. Hounsfield en los años 70<sup>3</sup>.

## TÉCNICAS DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA

### 2.3 PRINCIPIOS FÍSICOS

#### 2.3.1 PRINCIPIO DE LA TÉCNICA DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA “PROYECCIÓN”

Esta técnica nos habla del conjunto de integrales lineales o también llamada conjunto de Rayos Suma para un mismo ángulo. El caso más natural dentro de esta técnica se da cuando los rayos que son paralelos corresponden al SPECT con colimador de orificios paralelos.<sup>4</sup>

#### **Rayo Suma:**

La cantidad de cuentas (SPECT-PET) o intensidad de radiación que reciba el detector en el punto de intersección con cada rayo es lo que se denomina Rayo-Suma y es la sumatoria de toda la actividad presente (SPECT-PET) a lo largo del

---

<sup>3</sup> La información acerca del fundamento teórico fue tomado de <http://clubensayos.com/Ciencia/TOMOGRAFIA-AXIAL-COMPUTARIZADA-TAC/122520.html>

<sup>4</sup> Conceptos tomados de la biografía entregada en el curso de graduación “ Ing. Gustavo Chumillo - Reconstrucción Tomográfica”

rayo dentro de la región descrita como  $f(x, y)$  o el resultado de la absorción de Rayos a lo largo de esa línea.

Se puede expresar a cada rayo como:

$$p_{\theta}(t) = \int_{\text{lineal}} f(x, y) ds \quad (1)$$

Lo más importante de la técnica de proyección es el teorema de Fourier Slice (rebanada), también conocido como el teorema de proyección-rebanada, que mediante los algoritmos utilizados tratan de obtener una imagen real de la zona a estudio.

En la figura 6 se ilustra de manera gráfica la técnica de reconstrucción mediante proyección.

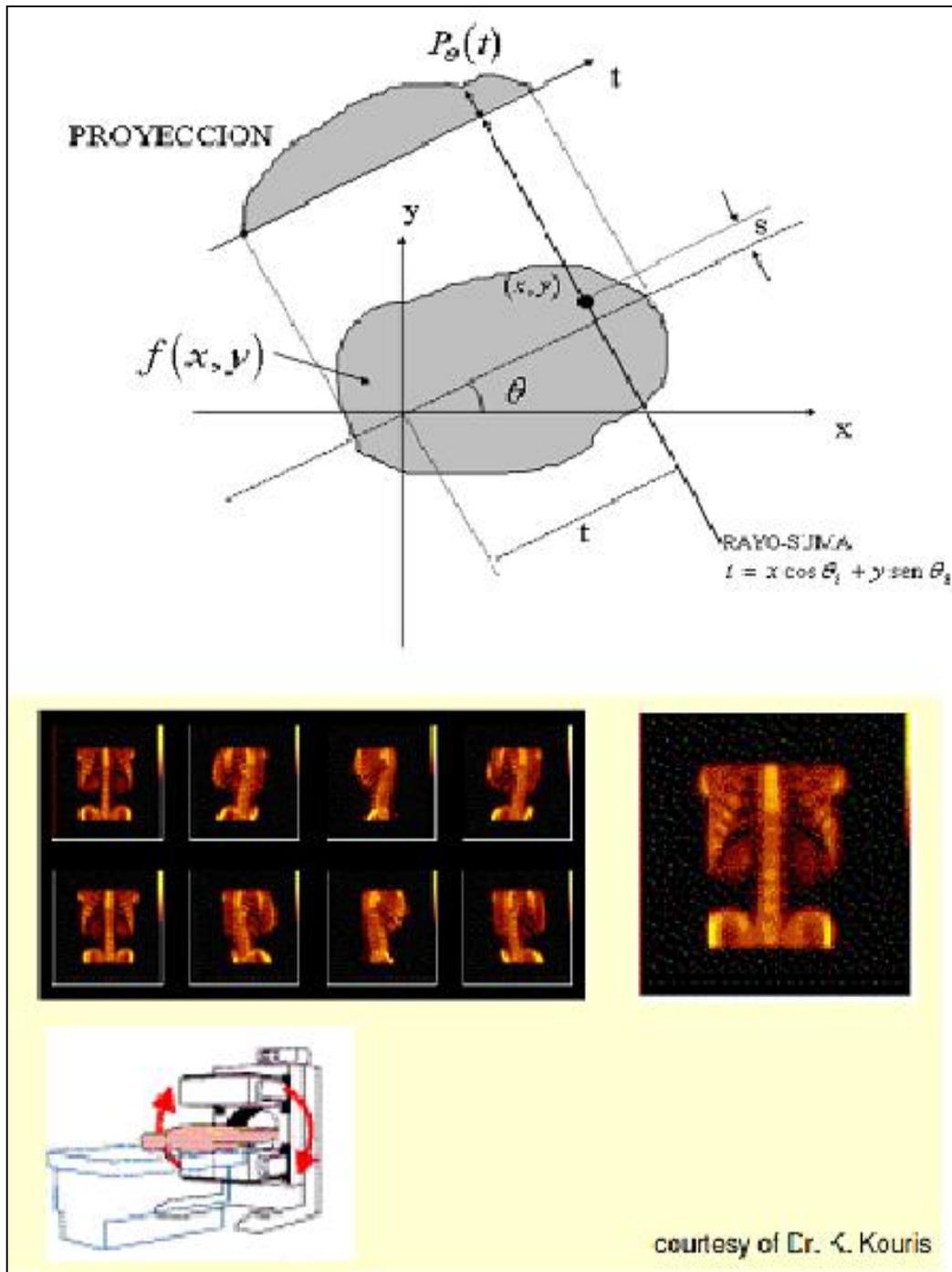


Fig 6: Representación gráfica de la técnica de proyección.

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
 email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
 2013])

Así también en la figura 7 se muestra como pueden ser vistas en alta y baja frecuencia las imágenes después de la proyección y del filtrado.

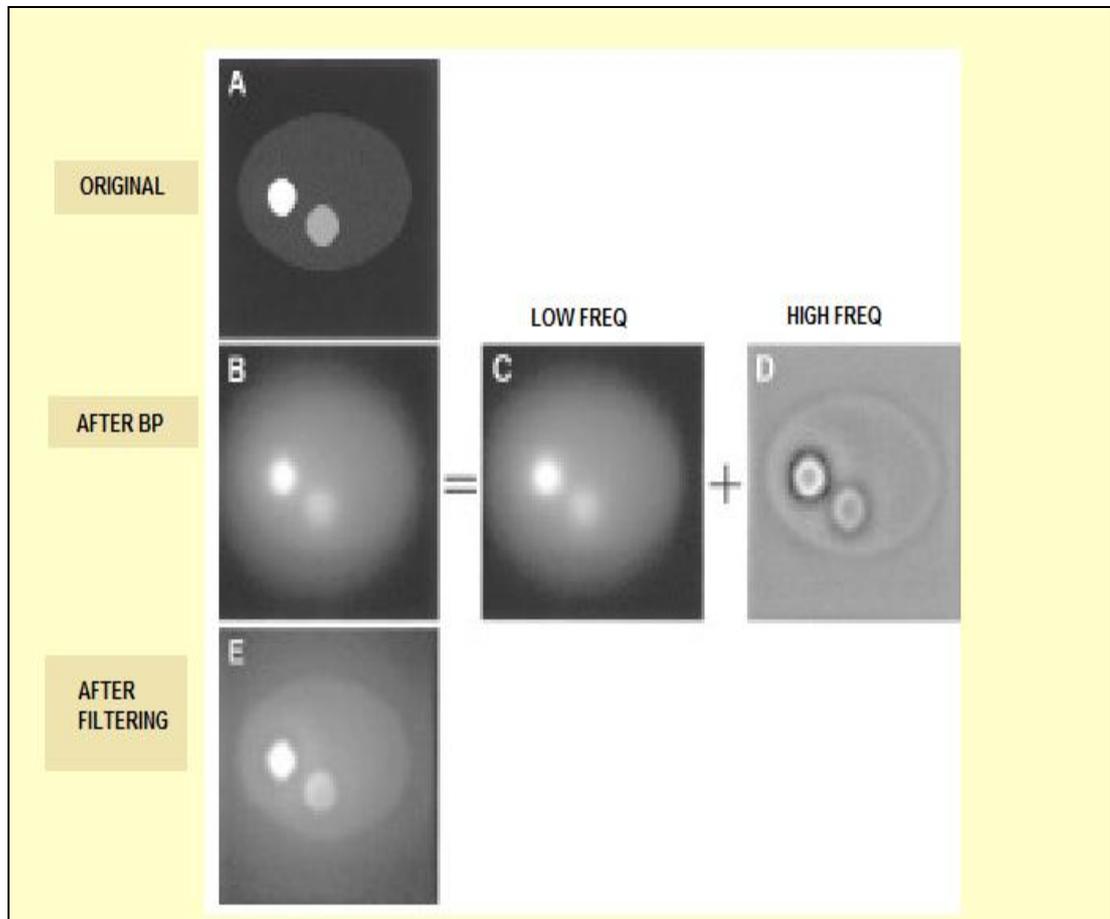


Fig 7: Visualización de imagen en alta y baja frecuencia (después de la proyección y del filtrado 128 proyecciones).

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del 2013])

### 2.3.2 PRINCIPIO DE LA TECNICA DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFIA “RETROPROYECCIÓN FILTRADA”.

El principio de esta técnica consiste en proyectar sobre el campo de imagen, todos los rayos suma desde sus respectivos ángulos, es una técnica cruda y simple para obtener reconstrucción aproximada a partir de múltiples proyecciones, su simplicidad permite su utilización en procedimientos gráficos, fotográficos o electrónicos<sup>5</sup>.

La Retroproyección es la técnica por la cual se busca recolocar, en cada punto del plano a través del cual pasaron cada uno de los Rayos-Suma, los datos que dieron origen a todos los Rayos de todas las Proyecciones, asumiendo que la actividad en un punto de la imagen reconstruida será la suma de todos los rayos de las proyecciones que pasan a través de él.

La ecuación matemática que describe la Retroproyección es:

$$\hat{f}(x, y) = \sum_j p(x \cos \theta_j + y \operatorname{sen} \theta_j, \theta_j) \Delta \theta_j \quad (2)$$

Donde la Suma se extiende a todos los ángulos de las proyecciones  $\theta_j$  y el argumento  $x \cos \theta_j + y \operatorname{sen} \theta_j$  selecciona sólo aquellos rayos que pasan a través del punto  $(x, y)$  mientras que  $\Delta \theta_j$  representa la distancia angular entre proyecciones adyacentes.

---

<sup>5</sup> La información acerca de todas las técnicas de reconstrucción Tomográfica mencionadas en este trabajo son tomadas de los archivos entregados en el curso de graduación “Ing. Gustavo Chumillo - Reconstrucción Tomográfica”

Y  $\hat{f}(x, y)$  no es exactamente igual a  $f(x, y)$  ya que presenta los errores propios de la Técnica cuyo principal componente son los artefactos<sup>6</sup>.

Dentro de esta técnica es necesario mencionar la transformada de Rando, consta de integrales de línea a través del objeto, mediante esta transformada se pretende recuperar el objeto para el resultado (no obtener muy borrosa la imagen).

Este tipo de operación se denomina retroproyección y es fundamental para la reconstrucción de imágenes tomográficas. Por desgracia, este procedimiento no recupera en su totalidad el objeto, sino que produce una versión borrosa de éste.

Este resultado borroso se llama Sinograma y puede ser mejorado mediante filtros (cono) que desconvolucionan para producir la imagen original y mejorada.

Esta secuencia en el siguiente proceso nos lo muestra.

$$f(x, y) \rightarrow \boxed{\text{Projection}} \rightarrow p_{\varphi}(r) \rightarrow \boxed{\text{Backprojection}} \rightarrow f_b(x, y) \rightarrow \boxed{\text{Cone filter}} \rightarrow f(x, y).$$

convolution with  $1/|r|$

Debido a que la cascada de las dos primeras operaciones es lineal, como se muestra, también es posible mover el filtro de cono sin ser alterado el proceso, simplemente cambiar de posición las secuencias y así llegar a obtener el mismo resultado general:

$$f(x, y) \rightarrow \boxed{\text{Cone filter}} \rightarrow \check{f}(x, y) \rightarrow \boxed{\text{Projection}} \rightarrow \check{p}_{\varphi}(r) \rightarrow \boxed{\text{Backprojection}} \rightarrow f(x, y),$$

Teniendo en cuenta que en la práctica, no se puede filtrar el objeto antes de adquirir sus proyecciones, sin embargo, mediante demostraciones matemáticas gracias a la aplicación del teorema de Fourier-Slice se puede sustituir el filtro de cono como primer proceso y toma el nombre de rampa debido a su forma, sin embargo esto no altera el resultado visto como imagen al final del proceso.

---

<sup>6</sup> Artefactos: Falsas Imágenes

El diagrama de bloques anterior se convierte en:

$$f(x, y) \rightarrow \boxed{\text{Projection}} \rightarrow p_{\varphi}(r) \rightarrow \boxed{\text{Ramp filters}} \rightarrow \check{p}_{\varphi}(r) \rightarrow \boxed{\text{Backprojection}} \rightarrow f(x, y).$$

A este proceso se le denomina método de retroproyección Filtrada (FBP), y es aquel que se utiliza más ampliamente en la tomografía.

En la figura 8 se muestra los efectos de una imagen con varios valores de muestreo angular.

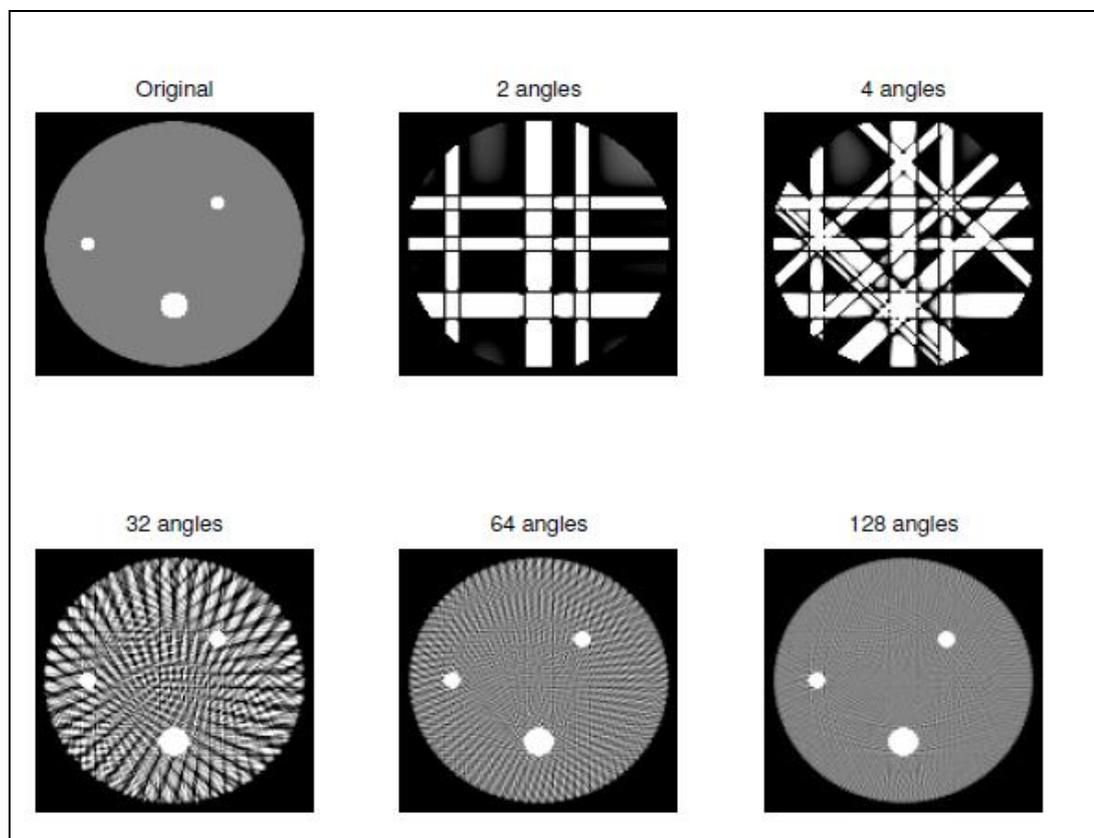


Fig 8: Efectos de muestreo angular de la calidad de imagen en la reconstrucción FBP.

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
2013])

Y en la figura 9 se muestra como se origina el Sinograma, mencionado anteriormente.

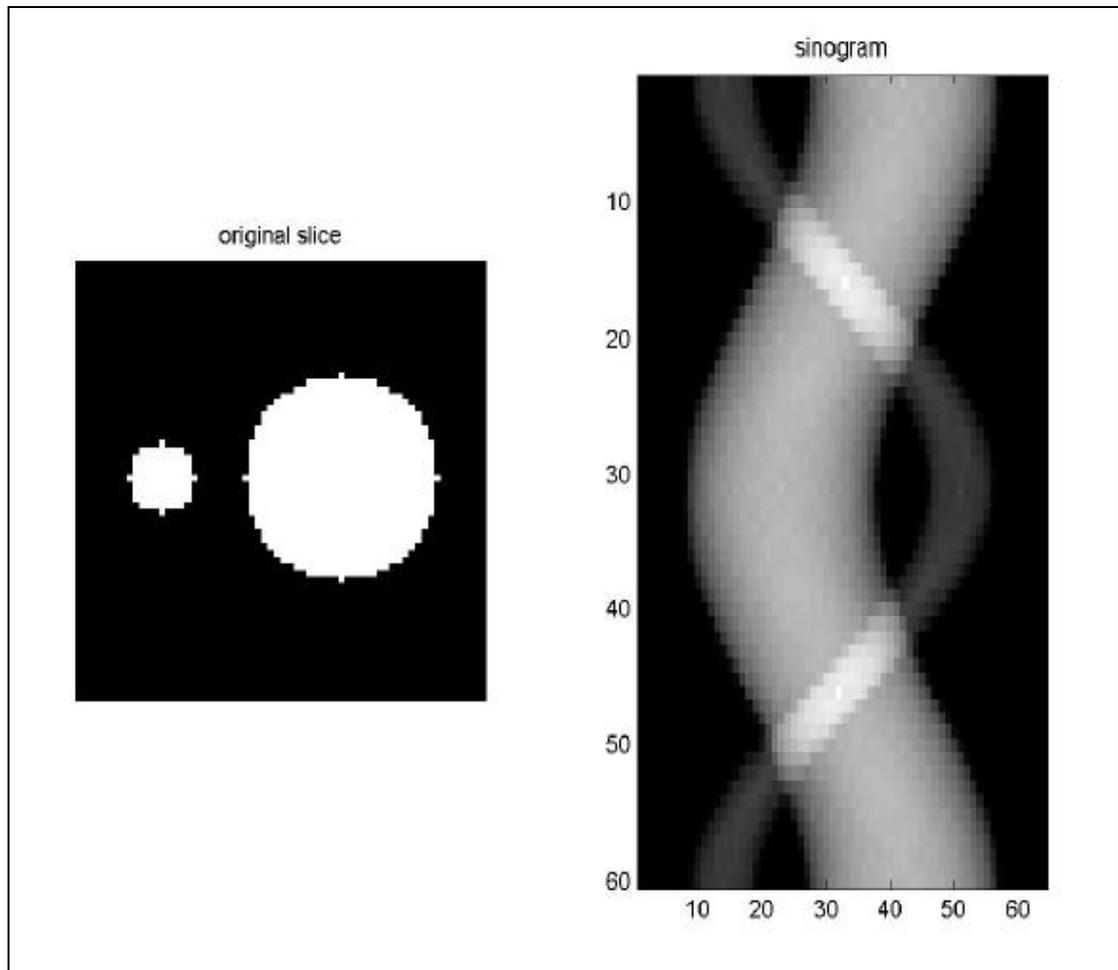


Fig 9: Sinograma = resultado borroso-colección de proyecciones.

(Fuente: GALINDO Uribarri Salvador. "PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS". Vol. 10, número 003. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México pp. 271-282. Noviembre 2003-Febrero 2004)

Por último se hace realce acerca del teorema de Fourier par así entender el principio matemático del algoritmo de retroproyección que se indica posteriormente.

## 2.4 EL TEOREMA DE CORTE DE FOURIER

La tarea ahora es reconstruir el fantomas<sup>7</sup>.

Para este propósito repasaremos el teorema de corte de Fourier.

**El teorema nos dice lo siguiente:**

*“La transformada de Fourier de una proyección paralela de una imagen  $f(x, y)$  tomada a un ángulo “ $q$ ” nos da un corte de la transformada bidimensional de Fourier  $F(u, v)$ , subtendiendo el mismo ángulo “ $q$ ” con el eje  $u$ .”<sup>8</sup>*

## 2.5 ALGORITMO DE RETROPROYECCIÓN FILTRADO

<sup>ii</sup>El algoritmo implica dos pasos:

- La parte del filtraje y
- La de retroproyección

Este algoritmo necesita sólo interpolación unidimensional, que requiere de la transformada de Fourier inversa, para así recomponer los límites de integración, que mediante ecuaciones matemáticas es posible que se realice este algoritmo de retroproyección filtrado.

---

<sup>7</sup> Aparato o elemento utilizado para el calibrado de equipos de imagen y que contiene, en su interior, elementos de características similares a los del organismo.

<sup>8</sup> Concepto tomado del documento GALINDO Uribarri Salvador. “PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS”.

En la figura 10 se muestra el proceso que sigue el algoritmo para esta técnica.

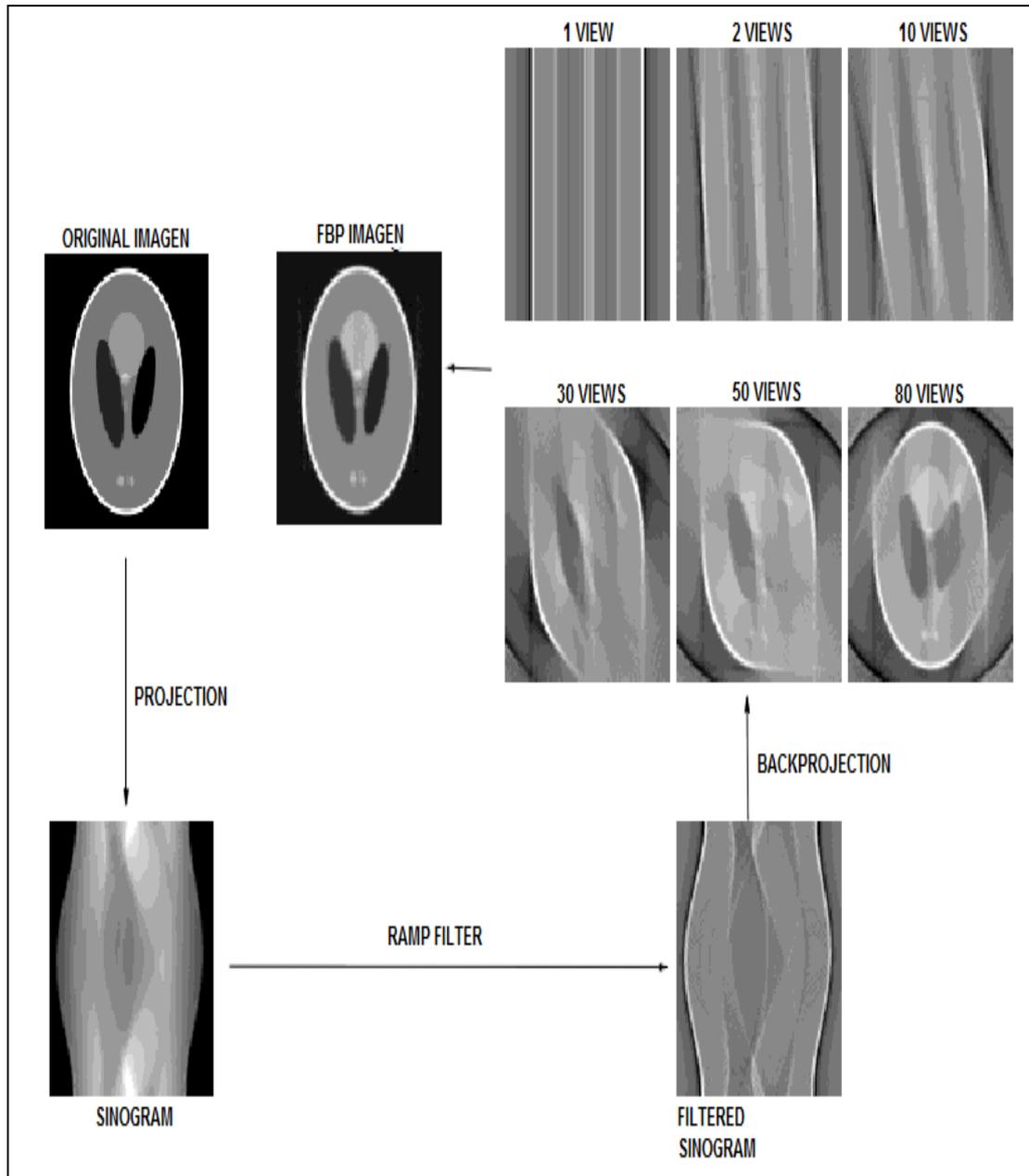


Fig 10: Proceso de Retroproyección Filtrado.

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
 email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
 2013])

A continuación en la figura 11 se muestra un ejemplo con 60 tomas para visualizar una imagen al aplicar la técnica de FBP.

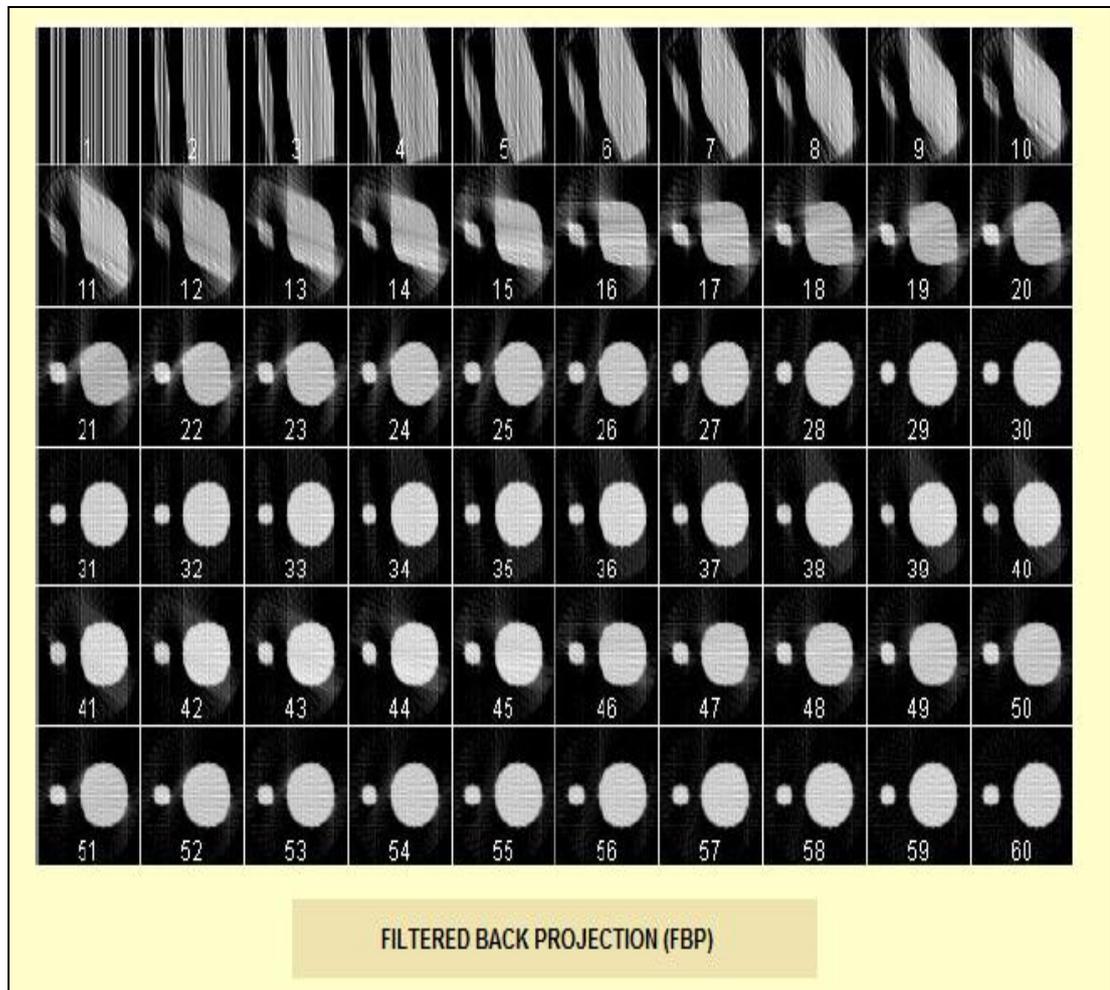


Fig 11: Visualización de una imagen al aplicar FBP.

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
2013])

### 2.5.1 LA RETROPROYECCION FILTRADA PRESENTA CARACTERISTICAS COMO:

- Es una técnica de adquisición muy rápida
- Hay maneras de hacer correcciones de dispersión que se presenta en la adquisición de la imagen no uniforme, que depende de la atenuación y otros factores físicos.

- Se necesita una gran cantidad de filtrado para reducir el ruido que conlleva la adquisición de los datos.

Antes de finalizar con la reconstrucción de la imagen hay que tener en cuenta que en la adquisición de los datos se genera ruido, causando complicaciones al momento de visualizar la imagen por eso a continuación se menciona este punto importante y lo que se debe realizar para evitar este inconveniente.

## 2.6 RUIDO

Al saber que antes de dar por finalizada la reconstrucción de la imagen, en la adquisición se genera ruido, es necesario de esta forma aumentar la dosis de radiación, y / o el tiempo de adquisición, para obtener un bajo nivel de ruido en la reconstrucción de la imagen.

La figura 12 demuestra a continuación, que la percepción de las estructuras depende del nivel de contraste, el tamaño y el ruido.

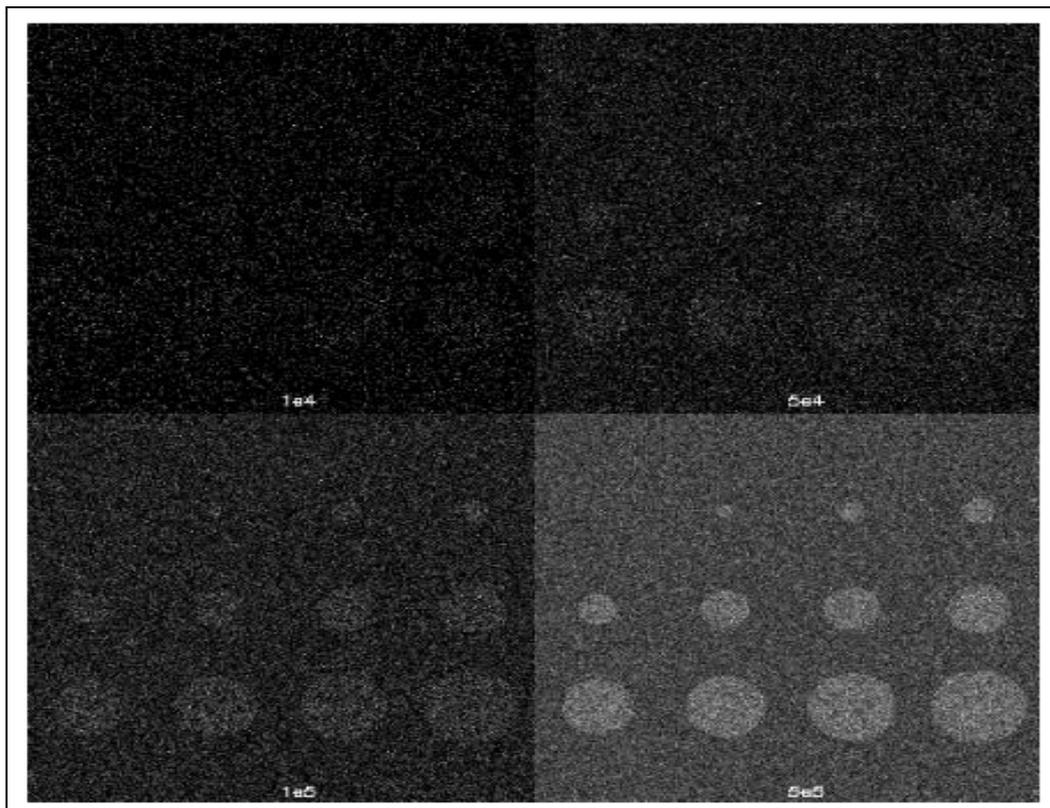


Fig 12: Efectos del ruido en la calidad de imagen.

## 2.7 RECONSTRUCCIÓN DE LA IMAGEN

El último paso del algoritmo de retroproyección implica reconstruir la imagen a partir de las proyecciones filtradas: esto es, calcular las integrales dadas por las ecuaciones matemáticas utilizadas dentro de estas técnicas. Sabiendo que el ruido que se produce en la adquisición puede alterar la imagen, se muestra a continuación en la figura 13.

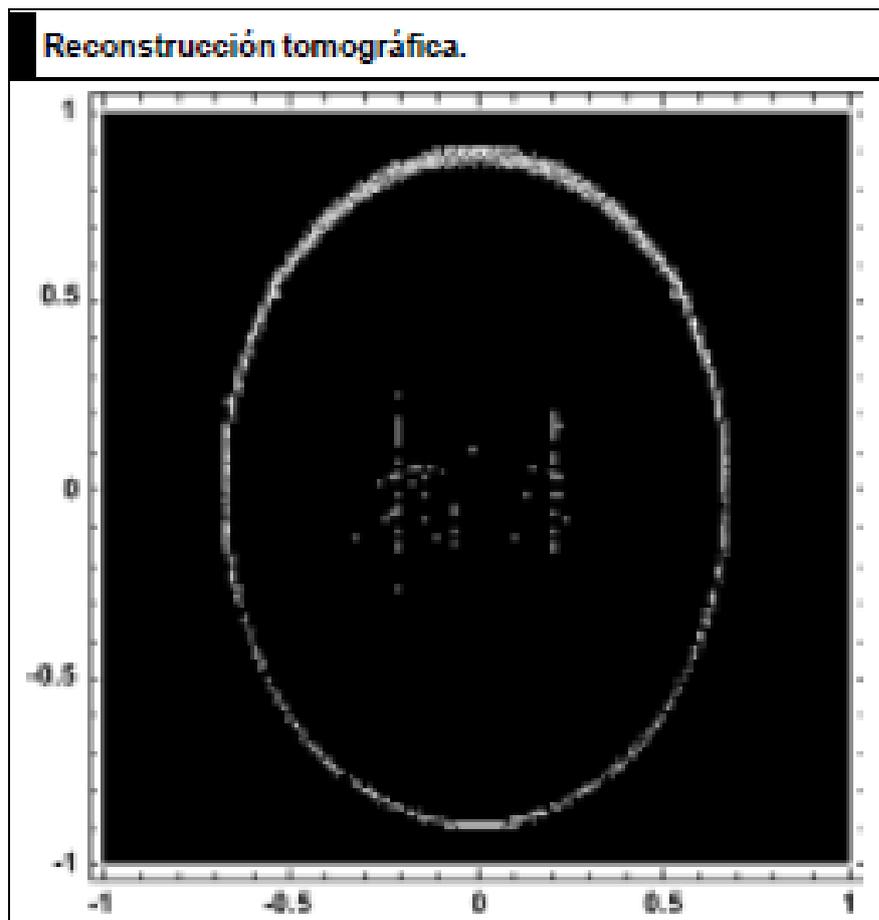


Fig 13: Reconstrucción Tomográfica.

(Fuente: GALINDO Uribarri Salvador. "PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS". Vol. 10, número 003. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México pp. 271-282. Noviembre 2003-Febrero 2004)

## CAPITULO III

### RECONSTRUCCION ANALÍTICA E ITERATIVA

#### 3.1 INTRODUCCION

En este capítulo se muestra las dos últimas técnicas utilizadas en Tomografía Axial Computarizada para la reconstrucción de imágenes, las cuales son basadas en Retroproyección pero éstas sirven para corregir los artefactos generados en la técnica mencionada en el capítulo anterior y son Reconstrucción basada en el método Retroproyección: iterativa y Analítica.

Aparecen los problemas en tomografía Axial computarizada a partir de los datos adquiridos por el escáner, a éstos se da solución con un sin número de sistemas de ecuaciones. Para que el sistema tenga resolución se acude en general a métodos estadísticos y analíticos.

Los métodos analíticos comprenden la solución directa del sistema de ecuaciones lineales, la retroproyección y la retroproyección filtrada FBP (del inglés Filtered Back Projection). Los métodos iterativos incluyen el método iterativo algebraico ART (del inglés Algebraic Reconstruction Technnique) y el método iterativo estadístico.

Las dos técnicas que se mencionan con detalles son los métodos analíticos de reconstrucción de imagen y los iterativos. Dentro de estos métodos es importante tener en cuenta, que es útil para el desarrollo de la intuición, y para inicializar algoritmos iterativos asociados con los métodos de reconstrucción estadística.

Hay varias limitaciones en los métodos analíticos de reconstrucción que afectan su rendimiento, como es, ignoran la medición de ruido en la formulación del problema, para eso se realizan post-filtrado, de esta forma el resultado de la imagen se ve mejorada. Dando lugar dentro de las técnicas analíticas a que asumen mediciones continuas obteniendo de esta forma soluciones de forma integral (ecuaciones).

También así los métodos analíticos requieren ciertas geometrías estándar (por ejemplo, los rayos paralelos y muestreo completo en coordenadas radiales y angulares), diferenciándose de los iterativos porque éstos pueden superar todas

estas limitaciones. Pudiendo resumir que la reconstrucción de una imagen mediante sus técnicas es un asunto matemáticamente elaborado.

### 3.2 RECONSTRUCCIÓN ANALITICA:

Este método se basa en el uso de fórmulas exactas para la reconstrucción de la imagen, (por ejemplo, el algoritmo de retroproyección filtrada), se caracteriza porque es eficiente (rápido), pero muestra la desventaja de que es incapaz de manejar factores complicados tales como la dispersión.

Se mencionó en el capítulo anterior que dentro de la técnica de Retroproyección se producen artefactos, produciéndose con éstos picos en la adquisición, por lo tanto si se tomaran infinitos datos, la imagen que se obtendría no sería un punto sino que todos estos picos llegarán a tomar forma circularmente simétrica.

La siguiente figura 14 muestra el pico originado en la adquisición, siendo P el punto máximo de llegada de los picos.

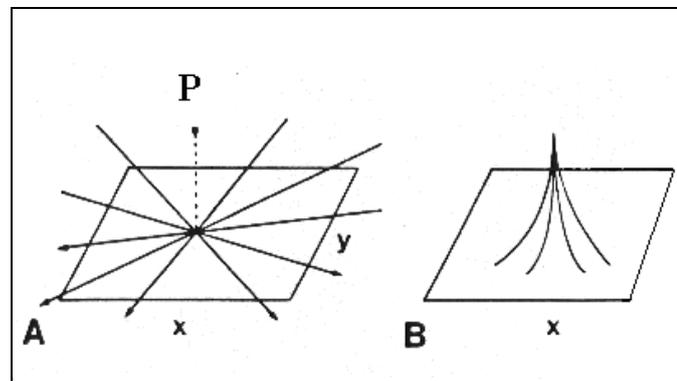


Fig 14: Picos mostrados en el método de Reconstrucción Analítica.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

Ahora veremos cómo se muestra esta técnica matemáticamente.

Se puede decir que la Imagen Retroproyectada  $\hat{f}(x,y)$  es igual a la Convolución de la Distribución Real  $f(x,y)$ , con una función  $h = 1/r$  o sea:

$$\hat{f} = f * h \quad (3)$$

Los Métodos Analíticos lo que hacen es Desconvolucionar a la función  $1/r$  de la Imagen Retroproyectada para eliminar el Artefacto que se produce en esta técnica, como se muestra en la figura 15.

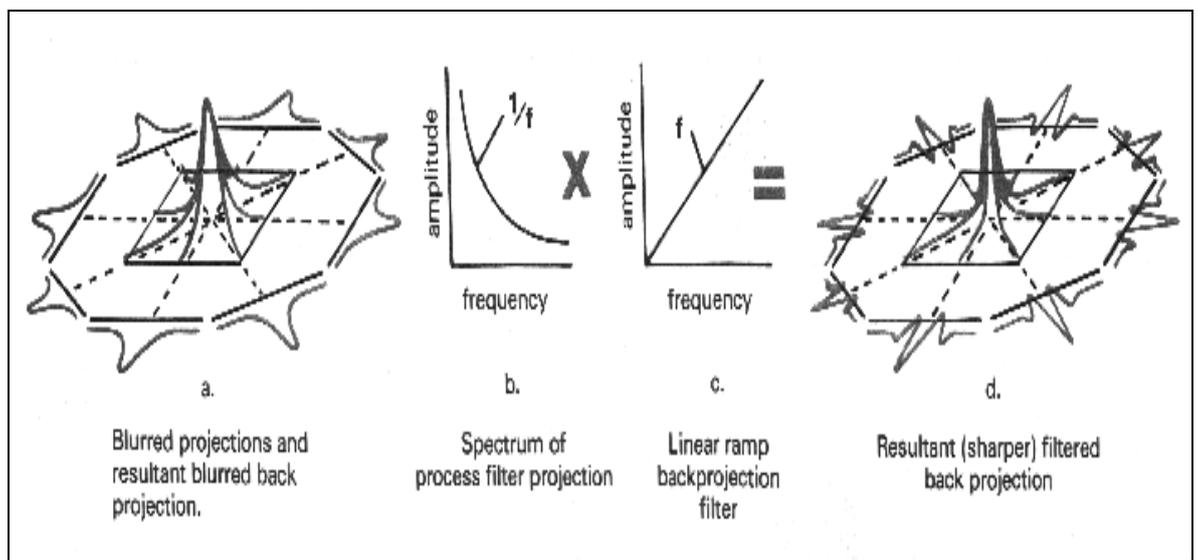


Fig 15: Eliminación de artefactos dentro de esta técnica de reconstrucción tomográfica.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

Aunque es posible retro proyectar el Sinograma<sup>9</sup>, esto conduce a una imagen borrosa. Ahora de acuerdo al Teorema de Convulsión, la Transformada de Fourier Bidimensional, que son particulares de esta técnica, mediante sus ecuaciones

<sup>9</sup> Sinograma: Es un histograma bidimensional que registra las coincidencias de una adquisición según las coordenadas polares que definen las líneas de respuesta.

matemáticas se puede obtener la Distribución real de Actividad en el plano del objeto de la forma mostrada en la siguiente figura 16.

Esta distribución se obtiene al calcular la Transformada Bidimensional de Fourier de la Imagen Retroproyectada A -->B, multiplicándola por la función Rampa en el dominio de las frecuencias espaciales  $C \times B = D$  y luego calcular la Transformación Inversa de Fourier para obtener la Imagen Real libre del Artefacto.

Lo antes mencionado se ilustra en la figura 16.

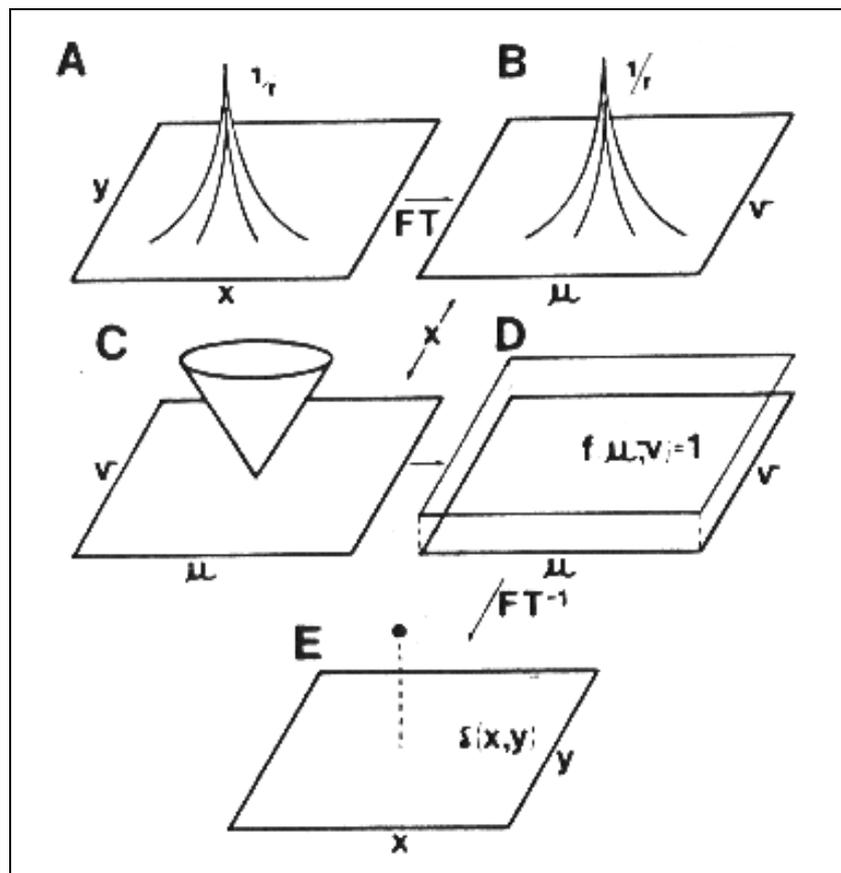


Fig 16: Distribución real de Actividad en el plano del objeto.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

Al proceso de obtener esta distribución es lo que se conoce como Reconstrucción por Transformada Bidimensional de Fourier, dentro de la cual se trabaja con un número más de ecuaciones Bidimensionales haciendo más complejo el procedimiento.

Para brindar una mejor aproximación a la imagen, se propuso el teorema de la proyección que se mencionó en el segundo capítulo que habla a cerca de la transformada de Fourier unidimensional, la cual corresponde a una línea que cruza el origen del espacio unidimensional, siendo posible tomar la transformada inversa de Fourier y obtener la imagen del objeto utilizado.

Se puede hacer uso del Teorema del Slice de Fourier, para llevar el cálculo al espacio unidimensional mencionado anteriormente.

*“Este teorema nos indica que la Transformada de Fourier unidimensional de una Proyección es igual a la Transformada de Fourier Bidimensional del slice correspondiente a lo largo de una dirección radial.”*

Es así como podemos calcular cual es la distribución real filtrando cada Proyección como se ilustra en la figura 17.

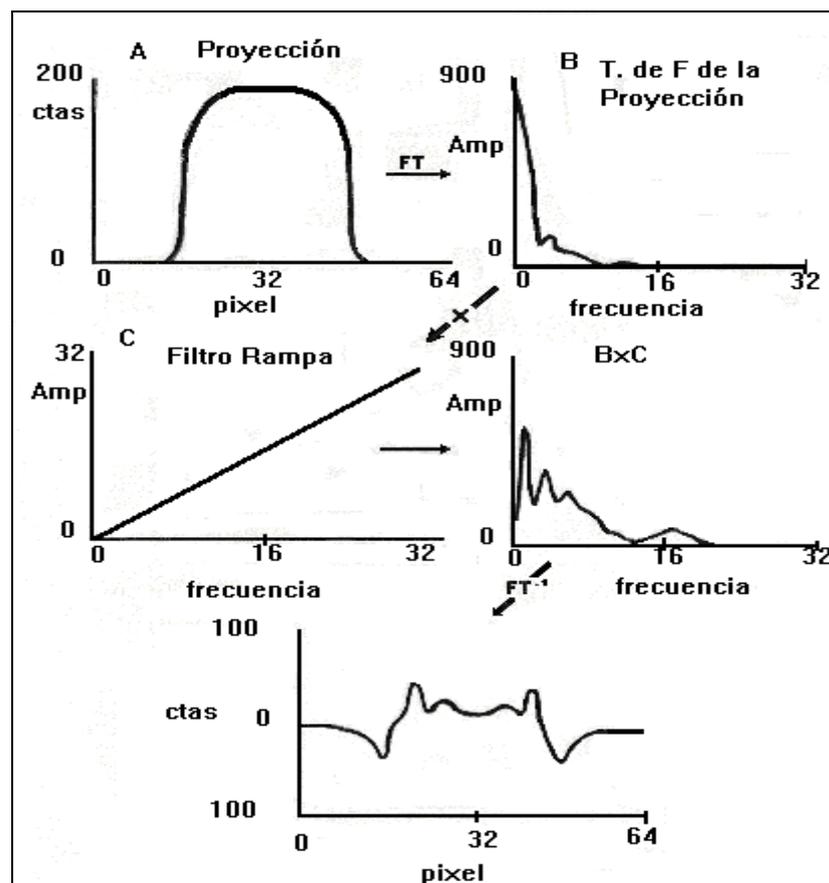


Fig 17: Distribución real filtrando cada Proyección.

(Fuente: CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo 1998)

Esta distribución se la obtiene al calcular la Transformada de Fourier unidimensional de cada Proyección (A --> B), para después multiplicarla por la función Rampa en el Dominio de frecuencia ( $C \times B = D$ ), posteriormente aplicar la Anti transformada y así calcular la Retroproyección en el plano espacial<sup>iii</sup>.

Dentro de esta técnica se presenta con particularidad un problema en la reconstrucción de la imagen y es la reconstrucción de un objeto a partir de puntos de vista de proyección de haz de cono. El significado de este problema es que incluye tanto los métodos exactos y aproximados, para varios tipos de trayectorias que tomen los rayos y las configuraciones del detector.

### 3.3 RECONSTRUCCIÓN ITERATIVA:

Este método consta de aproximaciones sucesivas, el cual parte de una imagen sin corrección, y luego se van aplicando correcciones hasta lograr la mayor aproximación para obtener una imagen. En la técnica de reconstrucción iterativa se requiere un conocimiento previo del sistema y de cuál es la respuesta del mismo.

Por respuesta del sistema entendemos la capacidad de detectar coincidencias provenientes de desintegraciones producidas dentro de la región de interés.

En concreto, se trata de hacer una correspondencia de cada voxel de la imagen con cada LOR<sup>10</sup> del sistema en la que se especifica la probabilidad de que los dos rayos gamma producidos en la aniquilación de un positrón<sup>11</sup> proveniente de una desintegración producida en un voxel concreto lleguen a ser detectados en coincidencia por una pareja de cristales (LOR) determinada. En general se puede decir que con los métodos estadísticos, de carácter iterativo, se obtiene el objeto más compatible, con los datos adquiridos de acuerdo al modelo físico de él.

---

<sup>10</sup> LOR: Término usado en tomografía que nos indica "Línea de respuesta"

<sup>11</sup> Positrón o también conocido como antielectrón es una partícula elemental, antipartícula del electrón.

### 3.3.1 PRINCIPIO DE RECONSTRUCCIÓN TOMOGRÁFICA BASADA EN LA TÉCNICA ITERATIVA:

Su principio es encontrar una solución (para reconstruir una imagen de un corte tomográfica desde proyecciones) mediante estimaciones sucesivas. El algoritmo que sigue esta técnica es el siguiente en su forma más simple de entender:

1. Se hace una primera estimación arbitraria de la imagen (teniendo en cuenta que la imagen no está completa sino solo una parte de esta "rebanada").
2. Se proyecta el número estimado de las proyecciones análogas a las medidas por la cámara (importante: en este paso, correcciones físicas: atenuación, dispersión, etc.)
3. Se compara el número de proyecciones arbitrarias con el número de proyecciones medidas y así se obtiene un resultado que se da al restar o dividir las proyecciones para tener como consecuencia factores de corrección en forma de diferencias o cocientes.
4. En este punto del proceso es donde se puede detener o continuar con el mismo: Si los factores de corrección se aproximan a cero o si no cambian en las iteraciones subsiguientes el número máximo de iteraciones es el necesario para continuar con el proceso, caso contrario se detiene el proceso.
5. Aplicar correcciones a las proyecciones de estimación (añadir diferencias individuales, píxeles o multiplicar los valores de píxeles por cocientes de corrección) de esta forma se obtiene la nueva estimación y se repite el proceso desde el paso 2.

Se muestra a continuación en la figura 18 una diferencia entre como se ve el resultado de la zona a estudio al ser reconstruida mediante FBP y la técnica iterativa.

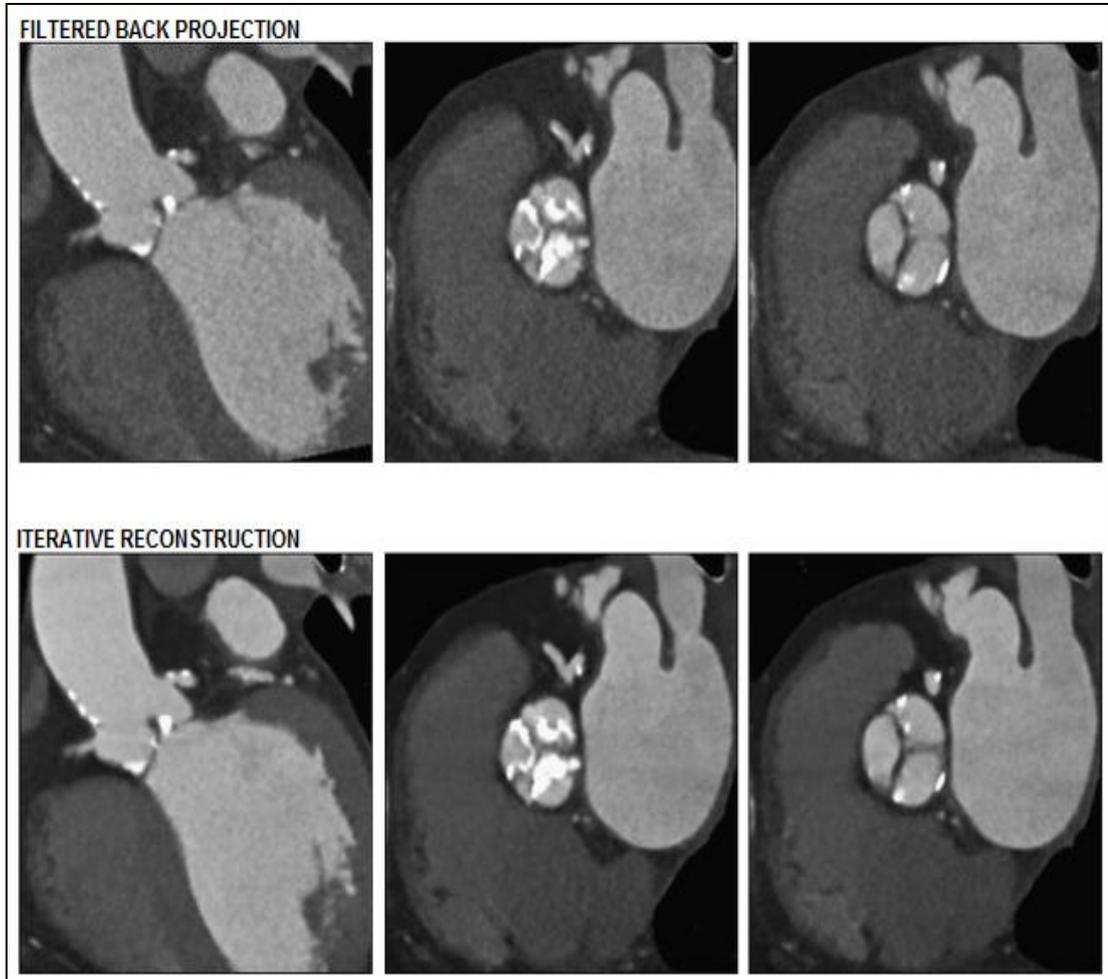


Fig 18: Comparación entre el método de FBP e Iterativa de la zona a estudio.

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
 email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
 2013])

### 3.3.2 CARACTERÍSTICAS DENTRO DE LA RECONSTRUCCION ITERATIVA

- Es un tanto fácil de modelar y manejar el ruido de proyección.
- Es fácil de modelar la formación de imágenes (tales como geometría, atenuación, dispersión, etc.)
- Se puede amplificar el ruido.
- El tiempo de cálculo para las imágenes es largo.

También se menciona que uno de los métodos estadísticos empleados para resolver el problema de la reconstrucción de imágenes por procedimientos iterativos, es el de Máxima Verosimilitud. Que se basa en la regla de Bayes: Donde, dado el conjunto de proyecciones  $p$ , debe encontrarse la distribución de atenuaciones  $f$  que maximice la probabilidad  $P(f/p)$ . Se supone una distribución homogénea de atenuaciones  $f$  para inicializar el proceso de iteración y se ignora la naturaleza estadística del problema.

$$P(f/p) = \frac{P(p/f) \cdot P(f)}{P(p)}$$

(4)

El proceso iterativo respectivo se ejemplifica en la figura 19.

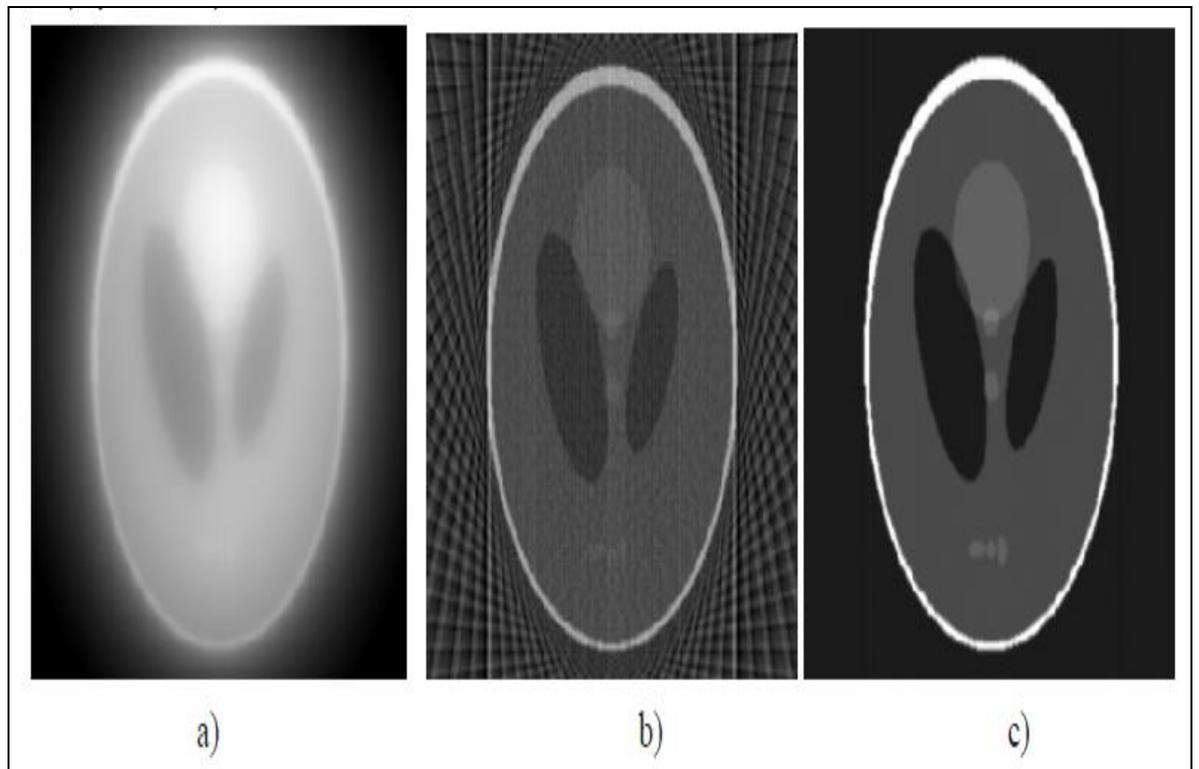


Fig 19: Proceso Iterativo para reconstruir imágenes

(Fuente: VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab  
email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu>[consulta 16 de Febrero del  
2013])

- a) Retroproyección simple
- b) Retroproyección Filtrada (con 36 proyecciones)
- c) Retroproyección Filtrada (con 900 proyecciones)

La reconstrucción iterativa es utilizada en medicina nuclear (PET y SPECT), donde la cantidad de datos a procesar es significativamente menor a la requerida por la tomografía computarizada de rayos X, la reconstrucción iterativa lleva consigo algunos beneficios como:

- Proporcionar beneficios potenciales en la aplicación de la TC.
- La eliminación de artefactos de rayas (en particular, cuando se utilizan pocos ángulos de proyección).

- Mejor rendimiento en la adquisición de TC de baja dosis.

Sin embargo, las imágenes reconstruidas mediante métodos iterativos pueden verse perturbadas por artefactos que no están presentes en las imágenes reconstruidas con FBP.

### **3.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DENTRO DE LA TÉCNICA DE RECONSTRUCCIÓN ITERATIVA**

Algunas de las ventajas de contar con métodos iterativos estadísticos, incluyen la posibilidad de disminuir dosis de radiación y un mejor manejo de otros problemas, como los artefactos debidos a metales<sup>iv</sup>, de la misma forma existen algunas desventajas dentro de esta técnica como las que se menciona a continuación:

- Cálculo de tiempo (se necesita una súper computadora).
- Cierta complejidad del modelo matemático.
- Software complicado.
- Algunos algoritmos no lineales y bastante complicados pero realizables.
- Es difícil analizar resolución / ruido.
- Dificultad para caracterizar el rendimiento.

## **CONCLUSIONES:**

Mediante la realización de este trabajo podemos decir que el invento del Tomógrafo ha vivido un verdadero avance tecnológico, contribuyendo así a los médicos y especialistas en imágenes a dar muy acertados y exactos diagnósticos a pacientes, sabiendo que los equipos de quinta generación son los que se usan actualmente, como pudimos ser testigos mediante el estudio clínico que se realizó durante la entrevista, gracias a lo cual es posible navegar a través de las diversas estructuras anatómicas, incluso siendo éstas tubulares, etc., lo cual era casi inimaginables hace años atrás.

Si este estudio lo compramos con lo visto durante el curso en Argentina, podemos hacer una breve igualdad en cuanto a equipo de tomografía se refiere, puesto que al momento de la entrevista se pudo observar que la tecnología es la misma en nuestro país, y de la misma forma el nivel de conocimiento de los especialistas.

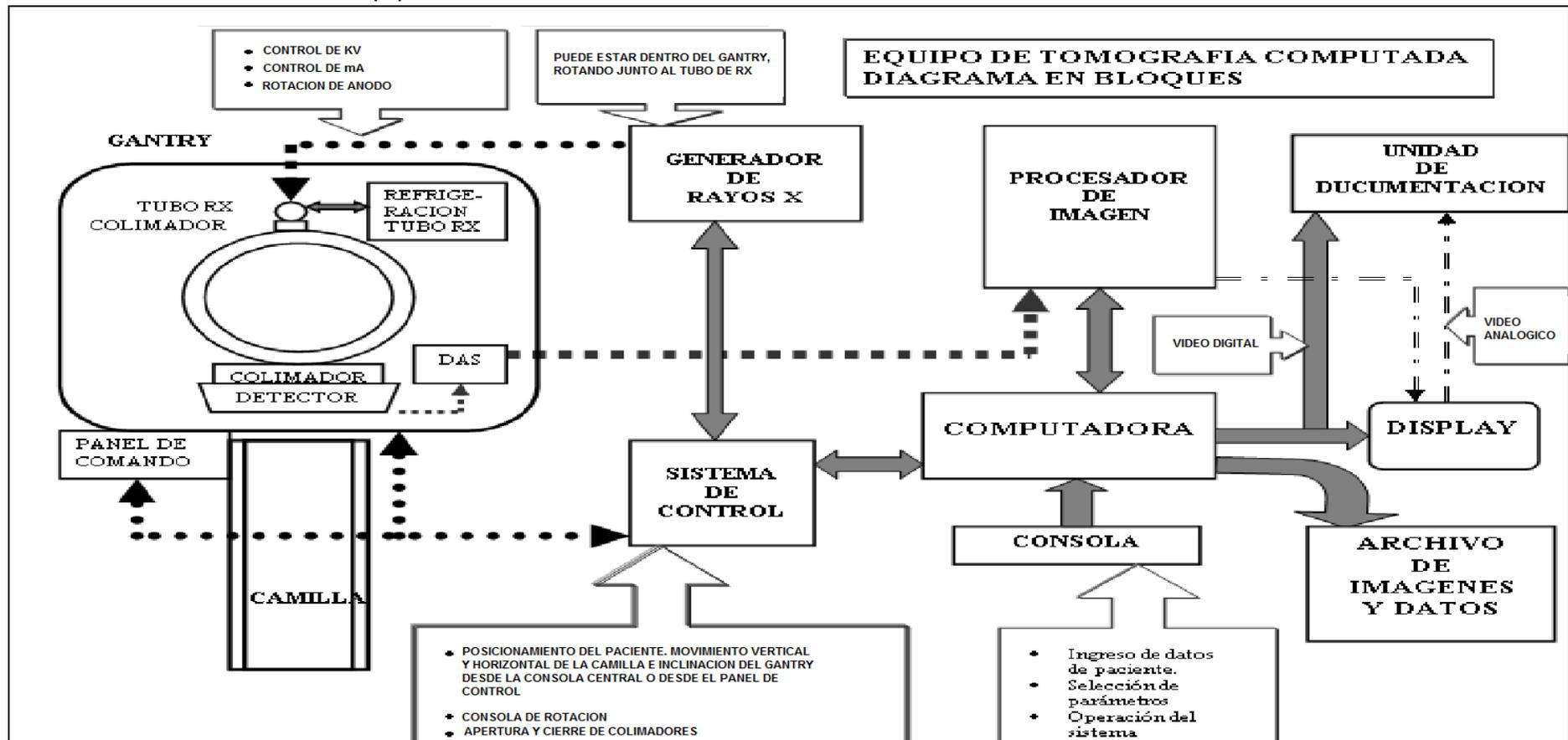
## BIBLIOGRAFÍA

### Referencias Bibliográficas:

1. ANDALUCIA Federación de Enseñanza CC.OO, Principios de la Tomografía Computarizada, ISSN: 1989-4023, septiembre del 2009 [consulta 12 de Enero del 2013]
2. BARBUZZA R, VENERE M, CLAUSSE A, MORENO C, Reconstrucción Tomográfica con métodos estadísticos. PLADEMA-ISISTAN, Universidad Nacional del Centro, 7000 Tandil, Argentina, rbarbu@exa.unicen.edu.ar [consulta 18 de Marzo del 2013]
3. BERDUN Seijo José Ignacio. "Reconstrucción de imágenes en sistemas PET mediante retroproyección". Chumillo Gustavo. "Reconstrucción Tomográfica". [consulta 14 de Febrero del 2013]
4. CALZADO A, Geleijns J. "Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones". Madrid, 2010. [consulta 12 de Enero del 2013]
5. CHUMILLO Gustavo. Técnicas de Reconstrucción Tomográfica, marzo de 1998 [consulta 26 de Diciembre del 2012]
6. CORBO Pereira Diego Nicolás. "Tomografía Axial Computada". XIII Seminario de Ingeniería biomédica. Universidad de la República Oriental del Uruguay 2004. [consulta 27 de Enero del 2013]
7. CRESPO Vázquez Cristina. Procesamiento de Imágenes en SPECT cerebral. Unidad de Biofísica y Bioingeniería, Departamento de Ciencias Fisiológicas y Facultad de Medicina, Universidad de Barcelona. Tesis Doctoral. Mayo 2008. [consulta 3 de Marzo del 2013]
8. FALCON Falcón Carles María, Modos Iterativos de Reconstrucción Tomográfica en SPECT, Departamento de Física aplicada y Electrónica, Universidad de Barcelona, Programa de Micro y Optoelectrónica Física, Barcelona, septiembre de 1999. [consulta 15 de Marzo del 2013]
9. GALINDO Uribarri Salvador. "PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS". vol. 10, número 003. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México pp. 271-282. Noviembre 2003-Febrero 2004. [consulta 26 de Diciembre del 2012]
10. JUZGA, Adriana & RODRIGUEZ, Brahian. MÉTODO DE RETROPROYECCIÓN FILTRADA, Matemáticos egresados Universidad Distrital Francisco José de Caldas [consulta 9 de Marzo del 2013]

11. KONTAXAKIS G, VAQUERO J. J, SANTOS A, Reconstrucción de Imagen en Tomografía por Emisión de Positrones. Rev.R.Acad.Cienc.Exact.Fis.Nat. (Esp), Vol. 96, N.os1-2, pp. 45-57, 2002. [consulta 12 de Marzo del 2013]
12. RAMIREZ Giraldo Juan Carlos, FLETCHER Joel J. MCCOLLOUGH Cynthia H. Revista Ingeniería Biomédica ISSN 1909-9762, volumen 4, número 7, págs. 55-62. Escuela de Ingeniería de Antioquia-Universidad CES, Medellín, Colombia. Enero-Junio 2010 [consulta 20 de Febrero del 2013]
13. VILLA Uriol M.C Reconstruction from Projections, Computational Imaging Lab email: cruz.villa@upf.edu web: <http://www.cilab.upf.edu> [consulta 16 de Febrero del 2013]

ANEXO 1. Funcionamiento del Equipo



Anexo 1: Funcionamiento de un Equipo de Tomografía.

**Anexo 2: Video TOMOGRAFIA**

Se adjunta a la tesina como anexo dos un Cd que contiene el video realizado en la ciudad de Cuenca en el Hospital Regional Vicente Corral Moscoso donde se realizó una entrevista al Lcdo. Especialista en Imágenes Tomas Rodríguez, quien contribuyó a dar respuesta a selectivas preguntas del tema para proceder a que el especialista realice después de la entrevista, una tomografía a un paciente lo cual aportó de manera eficiente para mostrarnos como se realiza la recolección de datos para la reconstrucción de imágenes que permiten visualizar las imágenes en las pantallas de los ordenadores, todo lo mostrado en este video contribuye a lo redactado en este trabajo.

---

i Parte de la información de este capítulo fue tomada del documento entregado en el curso de graduación: "Tomografía Axial Computada Diego Nicolás Corbo Pereira".

ii La información acerca del algoritmo de retroproyección filtrada es tomada del archivo "Salvador Galindo Uribarri\_ PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA RECONSTRUCCIÓN DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS" entregado en el curso de graduación.

iii Conceptos tomados del documento "Ing. Gustavo Chumillo - Reconstrucción Tomográfica"

iv Conceptos tomados del documento entregado en el curso de graduación "Máster de Física Biomédica Presentado por: JOAQUÍN LÓPEZ HERRAIZ".