



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Luis Pedro Cabrera Pinzón

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota

Guatemala, mayo de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS PEDRO CABRERA PINZÓN

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 03 de agosto de 2012.



Luis Pedro Cabrera Pinzón

Guatemala 21 de noviembre del 2012

Ingeniero
Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Estimado Ingeniero Guzmán.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado: **“GUIA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA”**, del señor **Luis Pedro Cabrera Pinzón**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,


Ingrid Rodríguez de Loukota
Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota Ingeniera en Electrónica
Colegiada 5,356
Asesora
Colegiado 5356



Ref. EIME 13. 2013.

Guatemala, 14 de FEBRERO 2013.

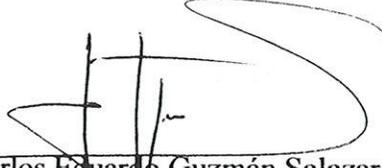
Señor Director
Ing. Guillermo Antonio Puente Romero
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

**Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
“GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA
COMPUTARIZADA” del estudiante Luis Pedro Cabrera Pinzón,
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.**

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



SFO



REF. EIME 13. 2013.

3

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; LUIS PEDRO CABRERA PINZÓN titulado: “GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA” procede a la autorización del mismo.

Ing. Guillermo Antonio Puente Romero



GUATEMALA, 4 DE ABRIL 2013.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 356 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA INTRODUCTORIA A LA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Pedro Cabrera Pinzón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

A large, handwritten signature in black ink, enclosed within a hand-drawn oval shape.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 27 de mayo de 2013

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Mis padres	Victor Cabrera y Ligia Pinzón por su incondicional apoyo en el trayecto de mi vida y carrera profesional, así como su amor, enseñanza.
Mi familia	Por estar presentes y saber que cuento con su apoyo cada vez que lo necesite.
Mi abuela	Soledad Rodas, por ser el pivote que mueve a la familia.
Mis hermanos	Victor y Carol Cabrera, porque han sido parte de mi vida y sé que su apoyo fue incondicional durante este tiempo.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Agradeciendo siempre la formación académica y los valores que implemento en mi carrera profesional.
Mis amigos	Porque sus consejos siempre fueron motivo para seguir adelante y a pesar que el tiempo crea distancias están presentes en mi vida.
Mi país	Porque sé que puedo aportar más a él.

1.5.	Tipos de corte tomográficos	19
2.	PARTES DE UNA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA	21
2.1.	Camilla.....	22
2.1.1.	Sistema para control de camilla	22
2.1.2.	Pedales de posicionamiento	23
2.1.3.	Unidad hidráulica	24
2.2.	<i>Gantry</i>	25
2.2.1.	Sistema de control en <i>gantry</i> estacionario.....	26
2.2.2.	Sistema de control en <i>gantry</i> rotativo	27
2.2.3.	Sistema de anillos	28
2.2.4.	Sistema de inclinación	29
2.2.5.	Emisión de rayos X	30
2.2.5.1.	Tubo de rayos X	30
2.2.5.2.	Colimador	32
2.2.5.3.	Rectificador de AC/DC.....	33
2.2.5.4.	Tanque de alta tensión	34
2.3.	Detector de rayos X	35
2.3.1.	Detectores	36
2.3.2.	Sistema de adquisición	37
2.4.	Consola de control	38
2.4.1.	Unidad de reconstrucción de datos	39
2.4.2.	Computadora	39
2.5.	Unidad de energización	40
2.5.1.	<i>Loop</i> de seguridad	41
3.	REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DE TOMOGRAFIA COMPUTARIZADA	43
3.1.	Tamaño de sala	43

3.2.	Base de cemento	45
3.2.1.	Zanja	45
3.2.2.	Anclaje	46
3.3.	Temperatura.....	47
3.4.	Energización	47
3.5.	Otros requerimientos	48
3.6.	Normas	49
3.7.	Preinstalación.....	50
4.	MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	53
4.1.	Sistema de anillos	53
4.2.	Detectores.....	54
4.3.	Sistema de inclinación.....	55
4.4.	Consola de control	56
4.5.	Cambio de tubo de rayos X.....	57
4.6.	Camilla	58
4.7.	<i>Gantry</i>	59
4.8.	Unidad de energización	60
	CONCLUSIONES.....	61
	RECOMENDACIONES.....	63
	BIBLIOGRAFÍA.....	65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Espectro electromagnético	1
2.	Diagrama interno de un tubo de rayos x.....	3
3.	Imagen de una tomografía	4
4.	Centralización del paciente	6
5.	Inyector de medio de contraste intravenoso	8
6.	Resolución versus número de proyecciones	11
7.	Reconstrucción en tres dimensiones de tomografía cerebral	12
8.	Primera generación de TC	13
9.	Segunda generación de TC.....	15
10.	Tercera generación de TC.....	16
11.	Cuarta generación de TC geometría hacia adentro	17
12.	Cuarta generación de TC geometría hacia afuera	18
13.	Tipos de cortes tomográficos.	19
14.	Ejemplo de tipo de cortes tomográficos.....	20
15.	Partes de una tomografía computarizada.....	21
16.	Diagrama del sistema para control de camilla	23
17.	Cilindro y bomba hidráulica	24
18.	<i>Gantry</i> estacionario y rotativo	25
19.	Sistema de control de <i>gantry</i> estacionario.....	26
20.	Sistema de control de <i>gantry</i> rotativo	27
21.	Sistema de anillos	28
22.	Block de cepillos	29
23.	Sistema de inclinación.....	30

24.	Tubo de rayos X	31
25.	Ejemplo de colimador	32
26.	Diagrama de rectificación	34
27.	Tanque de alta tensión	35
28.	Etapas de detección	36
29.	Diagrama de detector	37
30.	Consola de control	38
31.	Teclado de tomografía	39
32.	Unidad de energización	40
33.	<i>Loop</i> de seguridad	41
34.	Dimensiones de sala.....	43
35.	Planos de salas	44
36.	Base de cemento	45
37.	Dimensión de zanja	46
38.	Tornillo de anclaje.....	46
39.	Sala de una tomografía computarizada	49
40.	Normas IEEE	50

GLOSARIO

AC/DC	Conversión de energía alterna a energía continua.
Algoritmo de Fourier	En teoría es la secuencia la cual se encarga de reconstruir una imagen. Estos algoritmos provienen de Fourier, transformada rápida de Fourier, Teorema del corte entre otros.
Ánodo	Es el electrodo de carga positiva que va hacia el tubo de rayos X, y sirve también para dispersar calor.
Artefacto	Este nombre recibe a la distorsión en la imagen provocada por algún objeto, movimiento del paciente o algún daño en el equipo médico.
Cátodo	Es el electrodo de carga negativa que va hacia el tubo de rayos X.
Corte anatómico	Es un corte plano orientado en un eje sobre el cuerpo de una persona, esto con el fin de estudiar las partes internas.
CT o TC	Es el nombre común en inglés (Computed Tomography) de la tomografía computarizada.

Distorsión	Ocurre cuando un metal o un objeto en el paciente genera una proyección que no puede ser reconstruida. Esto se debe que los rayos X que atraviesan el material son reflectados.
Inyector	Sistema remoto que puede dosificar y programar la aplicación de un contraste intravenoso en el paciente.
Isocentro	Punto de referencia central en la cual se proyecta la imagen en la tomografía computarizada.
Gantry	Parte del equipo tomográfico que contiene las partes más importantes de los sistemas tales como: tubo de rayos X, detector, unidad principal de control entre otros.
Medio de contraste	Cualquier sustancia que se usa para mejorar la visibilidad de estructuras o fluidos dentro del cuerpo. Entre los medios de contraste más comunes se encuentran el sulfato de bario y algunos compuestos orgánicos yodados.
Phantom	Se conoce con este nombre a los bloques que simulan huesos o agua, para que el equipo de tomografía computarizada pueda ser calibrado.

Radiografía	Consiste en la obtención de una imagen de la zona anatómica de cuerpo humano, por la impresión en una placa fotográfica de una mínima cantidad de radiación, que se hace pasar por esa zona del cuerpo.
Sensor	Dispositivo que transforma magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.
SV	Conocido como Sievert, mide la dosis de radiación absorbida por la materia viva, corregida por los posibles efectos biológicos producidos. Esta unidad es utilizada para medir diferentes magnitudes usadas en protección radiológica, como la dosis equivalente, la dosis colectiva, la dosis ambiental o la dosis efectiva entre otras.
TAC	Nombre común para referirse a un estudio de tomografía computarizada.
Views	Es el número de proyecciones que puede generar un sistema al girar en un eje de 360 grados.

RESUMEN

El presente trabajo está conformado en cuatro capítulos donde para el capítulo 1 se introducirá al lector a los conceptos básicos para entender los principios una imagen tomográfica, así como los tipos de corte que existen y una breve explicación de cómo se genera una imagen por medio de proyecciones.

Después de tener conceptos básicos se llevará al lector en el capítulo 2 a una explicación intermedia de los componentes internos de una tomografía computarizada, no se hablará de diagramas avanzados ya que la finalidad es simplemente introducir al tema.

Posteriormente en el capítulo 3, se guiará al lector sobre los requerimientos básicos para la instalación de la tomografía computarizada y para por último en el capítulo 4 mencionar los mantenimientos preventivos que se requieren para mantener el equipo en óptimas, sumando tips de experiencia. Estos temas no se verán a profundidad, aunque si vale la pena mencionarlos.

OBJETIVOS

General

Crear una guía introductoria a la tomografía computarizada para que el lector tenga una percepción del tema.

Específicos

1. Explicar conceptos básicos de proyecciones para que el lector pueda entender cómo una tomografía computarizada produce imágenes a partir de rayos X.
2. Utilizar diagramas de bloques, para explicar las partes internas de una tomografía, así como su funcionamiento.
3. Unificar requerimientos tanto eléctricos y de seguridad, para una instalación correcta de una tomografía médica.
4. Llevar al lector a familiarizarse con el equipo médico, utilizando como herramienta la experiencia previa en el campo.

JUSTIFICACIÓN

A nivel regional, existen pocos ingenieros o técnicos que se dediquen al campo de equipo médico de diagnóstico, y a su vez en lo que respecta a información para entender la tomografía médica, está dispersa o también en su defecto escasa. Esto muestra una brecha en el campo que muy pocas personas se han percatado, por lo que este documento podría servir de gran motivación para involucrarse en mantenimiento de equipos médicos.

Como todo equipo que posea una electrónica interna o mecanismos de movimiento, se requiere de un mantenimiento preventivo para un funcionamiento adecuado, esto es de suma importancia ya que este tipo de mantenimiento puede generar un ingreso a las personas que deseen entrar al campo médico.

Utilizando la experiencia laboral, se pretende explicar de tal manera que el interesado pueda tener una mejor noción en el campo, también va orientado al estudiante joven para que adquiera interés en el área de la medicina y contraste la aplicación de la electrónica. El mayor beneficio de realizar este documento es que la unificación de la información y la simplificación de los argumentos sean comprensibles.

INTRODUCCIÓN

En el mundo médico existe una variación de equipos generadores de imágenes para el diagnóstico certero de una enfermedad, a su vez salvan vidas día a día ya que dan una proyección bastante precisa de lo que hay internamente en el cuerpo humano. Estos equipos fueron desarrollados de tal manera que fueran prácticos para los médicos especializados, pero no para el ingeniero encargado del mantenimiento periódico o resolución de problemas de hardware del equipo.

Uno de los equipos más utilizados para diagnósticos es la tomografía computarizada, que es más que un sistema el cual genera una imagen a partir de emisión de rayos X pero a diferencia de ser estático (como lo son los rayos X comunes), este gira alrededor del cuerpo trescientos sesenta grados, generando proyecciones para luego transformalas por medio de algoritmos en imágenes.

Estos equipos cuentan con una gran electrónica interna, así como fases de potencia, mecanismos de servomotores, detectores y hasta sistemas de protección, por lo que es de gran interés para el lector ya que los conocimientos adquiridos en la universidad se vuelven aplicables en la resolución de fallas.

Puntualmente se quiere realizar una práctica sobre tomografía médica para los ingenieros junior o lectores aficionados al campo, por lo que se presentará un documento compacto y de fácil entendimiento para expandir los conocimientos de estas personas.

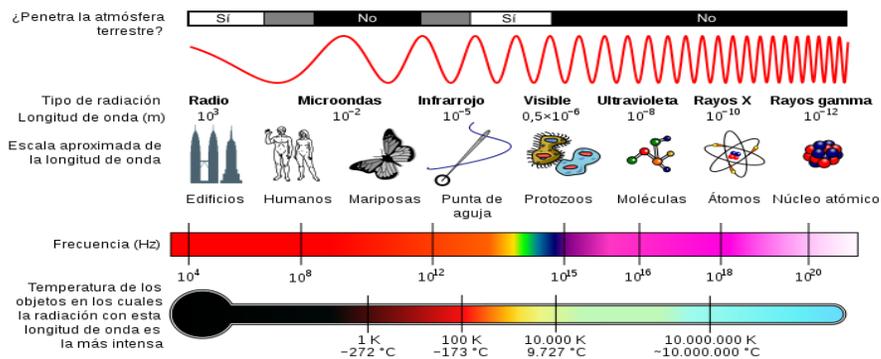
1. CONCEPTOS BÁSICOS

El lector para familiarizarse con los fenómenos que surgen dentro del equipo, debe de entender los conceptos básicos que se mencionan en este capítulo.

1.1. Rayos X

Es una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma. Los rayos X fundamentalmente son producidos por desaceleración de electrones. Los rayos X son una radiación ionizante porque al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones). En la figura 1, se observa la longitud de onda y frecuencia a la que se encuentran los rayos X.

Figura 1. Espectro electromagnético



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagnético

Consulta: 24 de julio de 2012.

1.1.1. Producción de rayos X

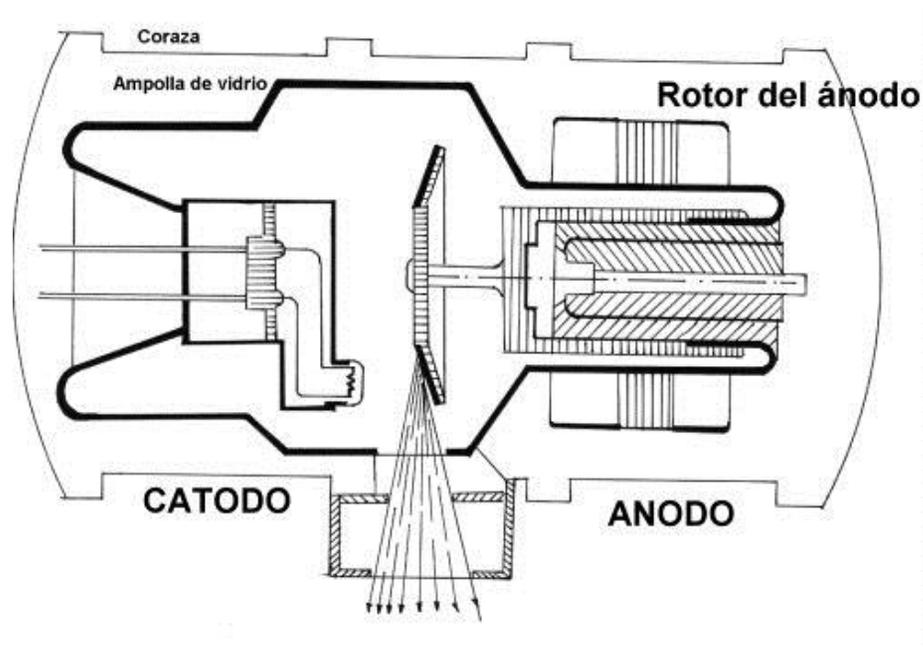
Los rayos X se pueden observar cuando un haz de electrones muy energéticos (del orden de 1 keV) se desaceleran al chocar con un blanco metálico. Según la mecánica clásica, una carga acelerada emite radiación electromagnética, de este modo, el choque produce un espectro continuo de rayos X a partir de cierta longitud de onda mínima dependiente de la energía de los electrones. Este tipo de radiación se denomina radiación de frenado.

En la práctica de la medicina, se utilizan tubos de filamento al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. El cátodo es un filamento de tungsteno y el ánodo es un bloque de metal con una línea característica de emisión de la energía deseada. Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de 45°) y los rayos X son generados como producto de la colisión.

El total de la radiación que se consigue equivale al 1% de la energía emitida; el resto son electrones y energía térmica, por lo cual el ánodo debe estar refrigerado para evitar el sobrecalentamiento de la estructura, esto explica la baja eficiencia de la energía en la producción de rayos X. A veces, el ánodo se monta sobre un motor rotatorio; al girar continuamente el calentamiento se reparte por toda la superficie del ánodo y se puede operar a mayor potencia. Finalmente, el tubo de rayos X posee una ventana transparente a los rayos X, elaborada en berilio, aluminio o mica.

En la figura 2 se observan las partes de un tubo de rayos X de filamento al vacío. El cableado hacia el cátodo es de muy alta tensión y la unión hacia el filamento es una tipo candela sumergida en un líquido dieléctrico para evitar fugas de energía.

Figura 2. **Diagrama interno de un tubo de rayos X**



Fuente: <http://personal.telefonica.terra.es/web/radiologia/images/1-3.jpg>

Consulta: 25 de Julio de 2012.

1.1.2. **Aplicación en la medicina**

Los rayos X son especialmente útiles en la detección de enfermedades del esqueleto, aunque también se utilizan para diagnosticar enfermedades de los tejidos blandos, como la neumonía, cáncer de pulmón, edema pulmonar, abscesos.

En otros casos, el uso de rayos X tiene más limitaciones, como por ejemplo en la observación del cerebro o los músculos. Las alternativas en estos casos incluyen la tomografía axial computarizada, la resonancia magnética nuclear o los ultrasonidos. Los rayos X también se usan en procedimientos en tiempo real, tales como la angiografía, o en estudios de contraste.

1.2. Tomografía computarizada

Es el equipo médico el cual utiliza radiación X para formar imágenes obteniendo cortes o secciones de objetos anatómicos con fines diagnósticos. La posibilidad de obtener imágenes de cortes tomográficos reconstruidas en planos no transversales, ha hecho que en la actualidad se prefiera denominar a ésta técnica tomografía computarizada o TC.

En lugar de obtener una imagen de proyección, como la radiografía convencional, la TC obtiene múltiples imágenes al efectuar la fuente de rayos X y los detectores de radiación movimientos de rotación alrededor del cuerpo. La representación final de la imagen tomográfica se obtiene mediante la captura de las señales por los detectores y su posterior proceso mediante algoritmos de reconstrucción. Un ejemplo de una imagen adquirida se muestra en la figura 3.

Figura 3. Imagen de una tomografía



Fuente: http://articulos.sld.cu/otorrino/files/2011/02/glumus_tac.jpg

Consulta: 29 de agosto de 2012.

1.2.1. Aplicación en la medicina

La TC, es una exploración o prueba radiológica muy útil para el diagnóstico o estudio de extensión de los diferentes tipos de cáncer, en especial en la zona craneana, el cáncer de mama, cáncer de pulmón y cáncer de próstata o la detección de cualquier cáncer en la zona nasal los cuales en su etapa inicial pueden estar ocasionando alergia o rinitis crónica. Otro uso es la simulación virtual y planificación de un tratamiento del cáncer con radioterapia es imprescindible el uso de imágenes en tres dimensiones.

Se pueden mencionar varios tipos de exámenes que se pueden clasificar según se requiera medio de contraste en el paciente o no.

1.2.1.1. Preparación para un examen de TC

Ciertos exámenes requieren un colorante especial, llamado medio de contraste, que se introduce en el cuerpo antes de que el examen de inicio. El medio de contraste ayuda a que ciertas áreas se vean mejor en las radiografías.

En caso de ser el paciente, comentar al médico si alguna vez se ha tenido una reacción al medio de contraste. Es posible que necesite tomar medicamentos antes del examen con el fin de recibir esta sustancia sin problema alguno. Además el médico debe confirmar el historial del paciente, y/o cerciorarse de su estado clínico, puesto que algunas enfermedades o medicamentos pueden causar efectos no deseados por la toma de éste.

El medio de contraste se puede administrar de varias maneras y depende del tipo de tomografía computarizada que se lleve a cabo.

- Se puede administrar a través de una vena (IV) en la mano o en el antebrazo.
- Se puede administrar a través del recto utilizando un enema.

Si se utiliza un medio de contraste, es posible que también se le solicite al paciente no comer ni beber nada durante 4 a 6 horas antes del examen.

En caso que el paciente pese más de 300 libras, verificar el peso máximo que soporta la camilla de la tomografía. Demasiado peso puede causar daño a las partes funcionales del equipo.

Se solicita al paciente quitarse las joyas, objetos de metal y ponerse una bata de hospital durante el estudio, esto se debe que los metales generan un artefacto que puede distorsionar el estudio.

Figura 4. **Centralización del paciente**



Fuente: http://www.maisondesante.org.pe/images/stories/servicios_medicos/diagnostico_imagenes/tomografia_1.jpg

Consulta: 29 de octubre de 2012.

Como se muestra en la figura 4, el enfermero se encarga de centralizar al paciente dependiendo el estudio, la TC cuenta con un sistema de láser para poder hacer el punto de referencia. También se ajusta la altura de la camilla ya que la TC no lo puede hacer por si sola.

1.2.1.2. Exámenes sin medio de contraste

Algunos tipos de exámenes que no requieren ningún medio de contraste, estos exámenes se pueden hacer rápidamente, ya que no requieren preparación previa del paciente.

Entre estos exámenes se pueden mencionar:

- TAC de articulación
- TAC cerebral simple
- TAC de columna cervical
- TAC de columna lumbar
- TAC de huesos por sospecha de fractura
- TAC de órbitas sin contraste
- TAC pelvis ósea
- TAC tórax simple de rutina
- TAC de senos paranasales
- TAC para cálculos urinarios (llamada también UROTAC)

1.2.1.3. Exámenes con medio de contraste oral

Algunos exámenes requieren medio de contraste bebido u oral, y están orientados a estudios del sistema digestivo, hígado y páncreas. Estas pruebas son los siguientes:

- TAC de abdomen y pelvis
- TAC de abdomen inferior
- TAC de abdomen superior
- TAC de hígado bifásico
- TAC de páncreas
- TAC de pelvis por patología intestinal o rectal

1.2.1.4. Exámenes con medio de contraste intravenoso

Debido a que el equipo TC tiene que sincronizar la aplicación del medio de contraste intravenoso, se requiere que el técnico lo aplique de manera remota controlando un inyector, véase en la figura 5 un ejemplo. El inyector es programable según dosis y tiempo requerido.

Figura 5. **Inyector de medio de contraste intravenoso**



Fuente: <http://www.gbarco.com.co/Portals/0/suministro/STELLANTDUAL.png>

Consulta: 28 de octubre de 2012.

Los exámenes que se pueden realizar por medio de este tipo de contraste son:

- Angiografía de arterias abdominales por TAC
- TAC cerebral con contraste
- TAC de cuello- paratoditis
- TAC de glándulas submaxilares
- TAC de orofaringe
- TAC de cavidad oral
- TAC de piso de boca
- TAC de nasofaringe
- TAC de espacio parafaríngeo
- TAC de espacio masticatorio
- TAC de laringe
- TAC de hipofaringe
- TAC de órbitas con contraste
- TAC de torax con contraste
- TAC hepatobiliar
- TAC por enterocclisis
- TAC renal
- Urografía por TAC

El propósito de haber mencionado los exámenes es familiarizarse con los estudios, si el lector está interesado en profundizar más el tema, se le sugiere consulte libros, web y/o a su médico.

1.2.2. Riesgos para la salud

Siempre existe la leve probabilidad de adquirir secuelas o efectos secundarios como el cáncer siendo una consecuencia de la exposición excesiva a la radiación. Sin embargo, el beneficio de un diagnóstico exacto es ampliamente mayor que el riesgo. La dosis efectiva de radiación de este procedimiento es de aproximadamente 10 mSv, que es casi la misma proporción que una persona, en promedio, recibe de radiación de fondo en tres años.

En el caso de las mujeres en edad fértil, se debe tener el cuidado de informar a su médico y al técnico de rayos X si existe la posibilidad de que estén embarazado; de igual forma, el personal que hace los estudios, verificará si existe esta condición o no.

En general, el diagnóstico por imágenes por TC no se recomienda para las mujeres embarazadas salvo que sea médicamente necesario debido al riesgo potencial para el bebé, este riesgo se reduce al colocar un chaleco con plomo alrededor del abdomen.

El riesgo de una reacción alérgica grave al material de contraste que contiene yodo muy rara vez ocurre, (existen unos cobertores que se colocan en el cuello, y se le debería de colocar a todos los pacientes, especialmente a las personas hipertiroideas) y los departamentos de radiología están bien equipados para tratar tales reacciones. Debido a que los niños son más sensibles a la radiación, se les debe someter a un estudio por TC únicamente si es fundamental y no exámenes repetitivos.

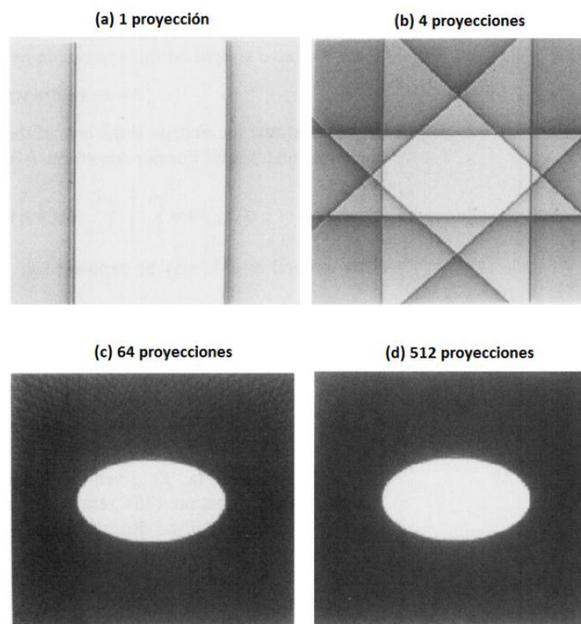
1.3. Proyección de imágenes

Para que las imágenes sean obtenidas en una TC, la fuente de rayos X tiene que girar alrededor del cuerpo que está en estudio, cada emisión de rayos X más detección genera un *view* o también llamada proyección, a mayor cantidad de proyecciones mayor será la resolución de la TC.

La detección de los rayos X varía conforme un parámetro nombrado números CT que depende del material que está siendo atravesado.

Para reconstruir una imagen se necesita de un algoritmo de Fourier complejo. Se observa un objeto circular en la figura 6, como dependiendo de las proyecciones la resolución del objeto va mejorando.

Figura 6. Resolución versus número de proyecciones

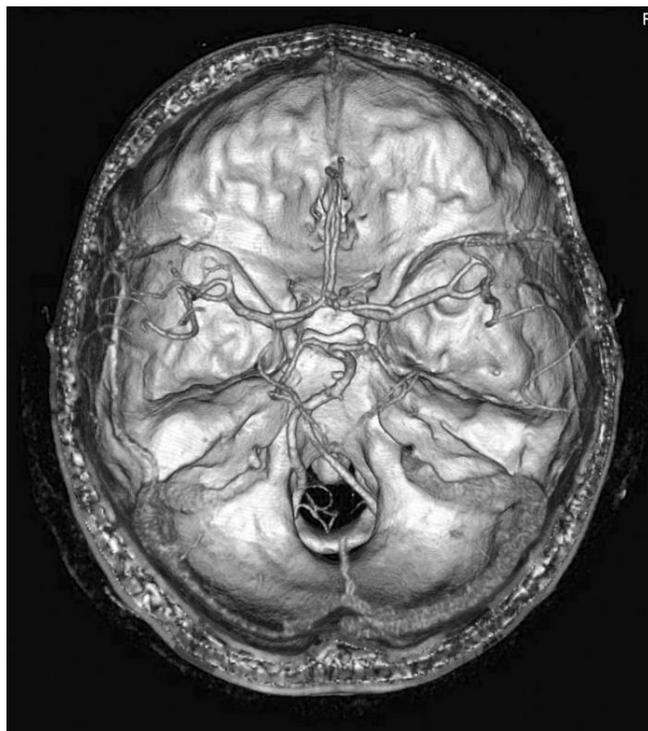


Fuente: SLANEY, Malcom. Principles of Computerized Tomographic Imaging. p. 63.

Cada imagen generada en términos médicos se refiere como a cortes, existen nuevas tecnologías donde el detector de la TC puede detectar más de una imagen en un solo barrido de 360 grados. Las TC que pueden hacer esto se les conoce como multicorte, esto quiere decir que también la distancia entre cortes también será reducida y con esto aumentará la resolución.

Si se sobrepone una imagen sobre otra, se genera un volumen, y con ayuda de software (cada marca de tomografía tiene su software propietario) se pueden generar modelos tridimensionales. En la figura 7 se observa un modelo en tres dimensiones del cerebro.

Figura 7. **Reconstrucción en tres dimensiones de tomografía cerebral**



Fuente:<http://scielo.isciii.es/img/revistas/medinte/v31n6/64v31n06-13108554fig06.jpg>

Consulta: 30 de agosto de 2012.

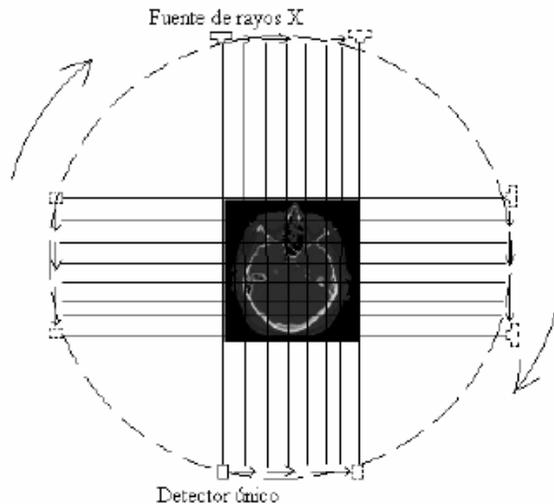
1.4. Tipos de tomografía computarizada

Conforme a la evolución de la tecnología, las generaciones de tomografía computarizada han avanzado, esto quiere decir que se ha replanteado la adquisición así como ha mejorado considerablemente el tiempo de adquisición de imagen incluyendo su resolución. Existen hasta el momento cinco tipos de generaciones de TC.

1.4.1. Primera generación

En la primera generación de TC, cada proyección se crea cuando una fuente de rayos X dirige un rayo X al objeto y se recibe su energía en el detector del otro lado del objeto, como muestra la figura 8. El detector crea un brillo que es proporcional a la absorción del material en el objeto a lo largo de la línea entre el detector y su fuente.

Figura 8. Primera generación de TC



Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.6.

La fuente y el detector de rayos X son parte de una estructura circular que rodea al objeto en el plano de la sección transversal deseada. Después de la adquisición de la primera imagen de proyección, se gira ligeramente (1°) la estructura alrededor del objeto y se adquiere otra imagen de proyección. Este proceso se realiza 180° alrededor del objeto. Así, se han adquirido 180 imágenes. Mientras que cada imagen de proyección tiene poco valor por sí misma, cuando se combinan se obtiene la imagen del corte transversal.

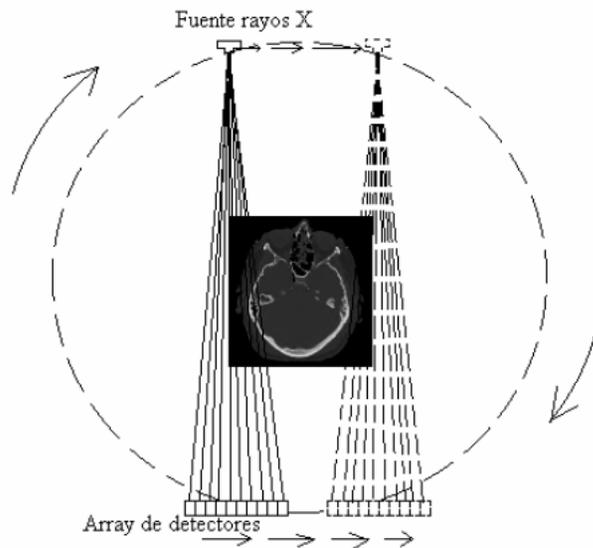
El proceso rota sólo 180° alrededor del objeto, y no 360° . Dadas las propiedades sintéticas del sistema, la proyección tomada en 0° es idéntica a la tomada en 180° , justo invertida. Las adquisiciones entre 180° y 360° únicamente imitarían a las adquiridas entre 0° y 180° , no aportando nueva información.

La primera generación de TC utiliza fuentes y detectores paralelos para crear imágenes de proyección. En las que el tiempo necesario para tomar una imagen varía entre 4.5 minutos y 5.5 minutos.

1.4.2. Segunda generación

La segunda generación de TC, rayos en abanico, se basa en el principio de la primera, mover-girar, con algunas diferencias. La proyección de rayos en abanico utiliza una fuente de rayos X única para iluminar una línea de detectores (mayor número que en el caso anterior), como se muestra en la figura 9. Los rayos son divergentes en lugar de ser paralelos.

Figura 9. **Segunda generación de TC**



Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.7.

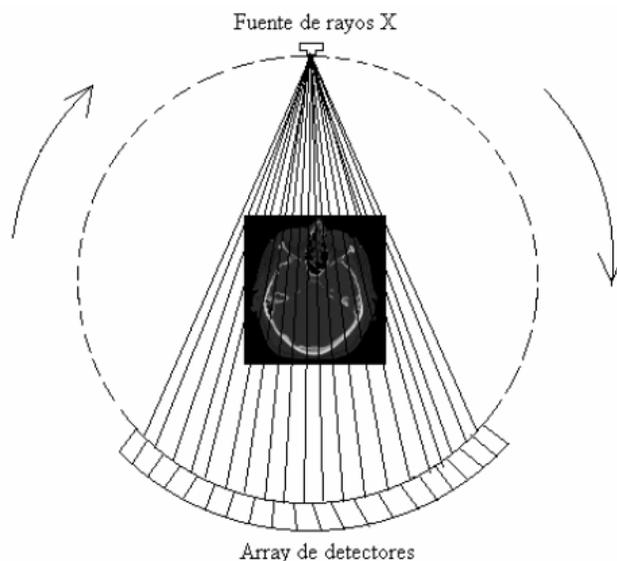
El funcionamiento es el siguiente, en primer lugar, se lanzan los rayos, se gira el tubo de rayos X y el conjunto de detectores con un incremento grande (con respecto a los escáneres de la primera generación). El proceso se repite para cubrir 180° . Los incrementos en los giros y el mayor número de detectores hacen que el tiempo de escaneo varíe entre 20 segundos y 3.5 minutos. En general, el tiempo es inversamente proporcional al número de detectores.

1.4.3. Tercera generación

La tercera generación de TC se basa en el uso de una geometría de rayos en abanico, que gira continuamente alrededor del paciente 360° . Los detectores ahora no forman una línea recta, sino que siguen una trayectoria curva, y forman un arco de 30° a 40° con el tubo de rayos X.

Cuando el tubo de rayos X y los detectores giran, se toman las imágenes de proyecciones. Se toma una vista por cada punto fijo del tubo y cada detector. Refiriéndonos a la figura 10. En este caso se toman imágenes de los 360°, no de 180° como en los casos anteriores. La toma de datos en esta generación es más rápida que la de las generaciones anteriores, generalmente unos pocos segundos.

Figura 10. **Tercera generación de TC**



Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.7.

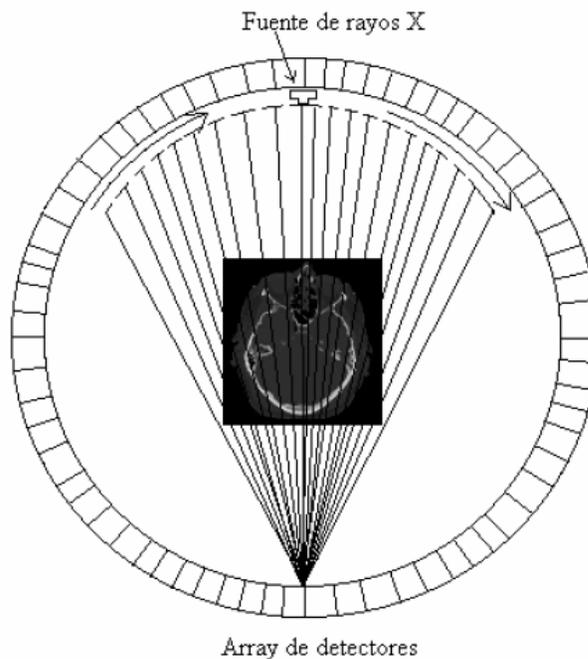
1.4.4. **Cuarta generación**

La cuarta generación de TC, tiene dos tipos de geometría, un tubo o fuente de rayos en abanico con un número de detectores fijo dispuestos en forma de anillo, y un tubo de rayos fuera del anillo de detectores. Mencionaremos las dos geometrías a continuación:

En la primera geometría, el tubo de rayos X está fijo en una posición. Los rayos describen un gran abanico. El tubo se mueve de punto a punto en el círculo, los rayos chocan con un detector de punto a punto. Los rayos no se producen al mismo tiempo (como en la tercera generación), sino secuencialmente, cuando el tubo se mueve de punto a punto durante su recorrido circular.

Los tiempos de escaneado son muy cortos y varían entre TC, dependiendo del fabricante. El camino seguido por el tubo de rayos X es circular como muestra la figura 11.

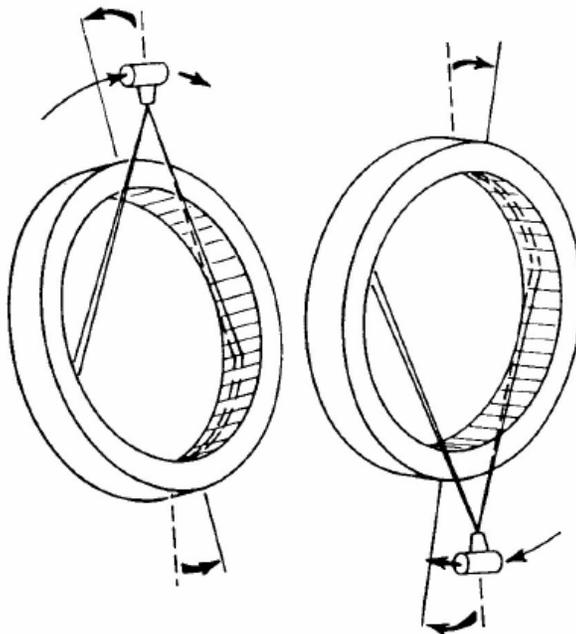
Figura 11. **Cuarta generación de TC geometría hacia adentro**



Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.8.

En la segunda geometría, el tubo de rayos X gira fuera del anillo. Cuando gira, el anillo se inclina de forma que el rayo choque con un arreglo de detectores situado lo más alejado posible del tubo de rayos X, mientras que los detectores más cercanos al tubo están fuera del alcance de los rayos en referencia la figura 12.

Figura 12. **Cuarta generación de TC geometría hacia afuera**



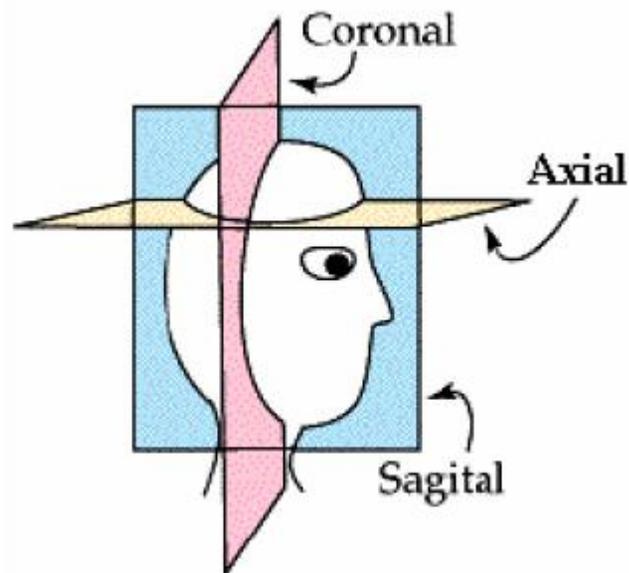
Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.8.

Las TC de primera y segunda generación están obsoletos y actualmente no están disponibles comercialmente. Cada vez los clínicos precisan mayor resolución en las imágenes y menor tiempo en su obtención. Esto hace que día a día los productores de TC mejoren sus productos y ofrezcan mayores prestaciones.

1.5. Tipos de corte tomográficos

Existen diferentes tipos de cortes a los que la TC puede variar dependiendo del estudio a realizar en el paciente, una forma fácil de verlos es tomando en referencia el cuerpo humano como eje central. En la figura 13 se puede observar cómo se relaciona el corte con el plano espacial, este concepto de suma es importancia ya que en la medicina se escucha constantemente.

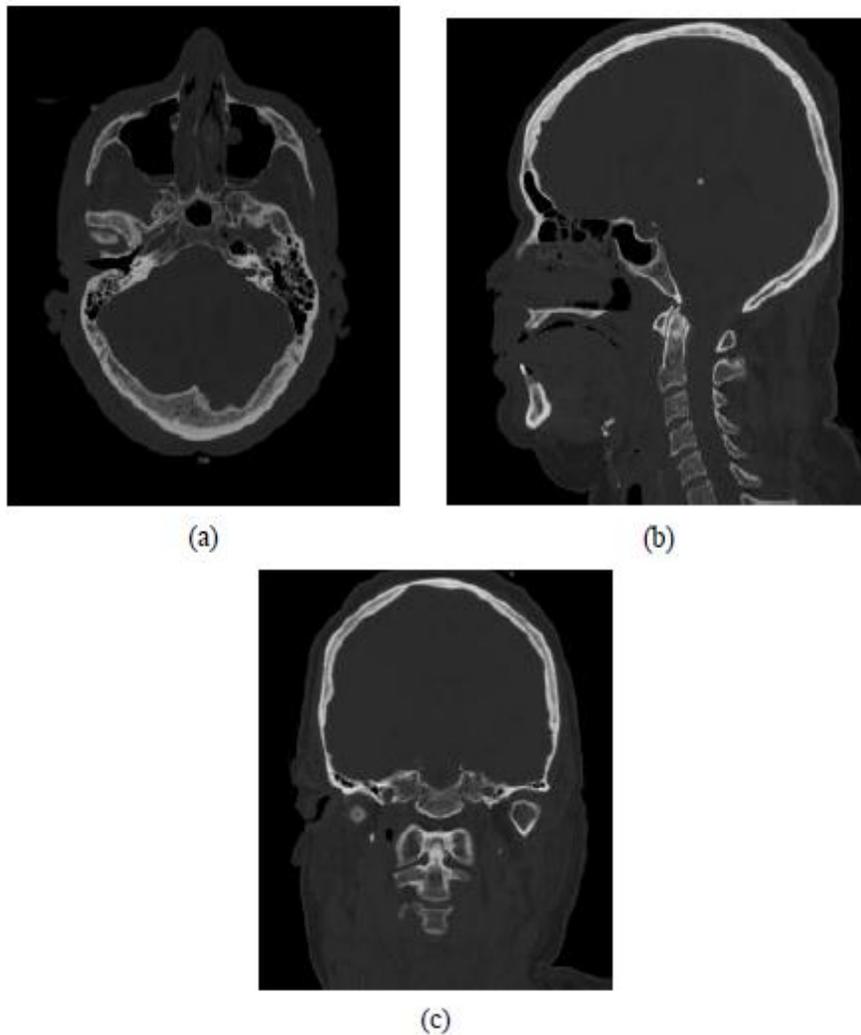
Figura 13. Tipos de cortes tomográficos



Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.3.

Para fines prácticos se muestra una imagen cerebral donde en la figura 14, (a) corte tipo axial, (b) un corte tipo sagital y (c) un corte tipo coronal.

Figura 14. **Ejemplo de tipo de cortes tomográficos**



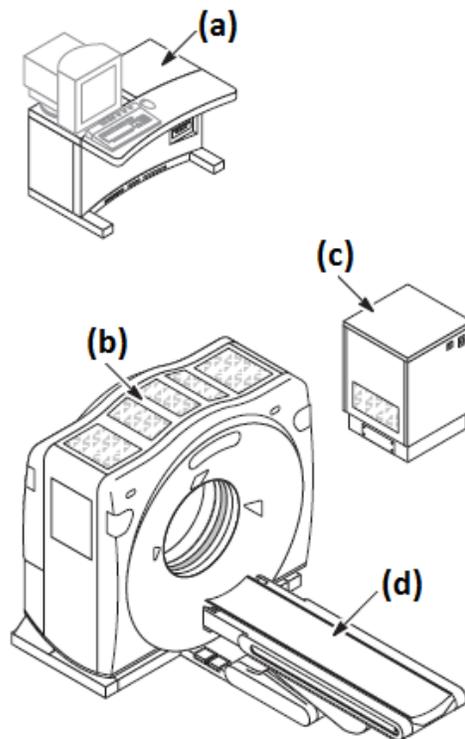
Fuente: ARANDA, Carlos. Síntesis en imágenes médicas. p.3.

2. PARTES DE UNA TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Una TC consta básicamente de las siguientes partes básicas:

- Consola de control figura 15 (a)
- Gantry figura 15 (b)
- Unidad de energía figura 15 (c)
- Camilla figura 15 (d)

Figura 15. Partes de una tomografía computarizada



Fuente: General Electric, General Electric Hispeed renewel parts. p.1-2.

2.1. Camilla

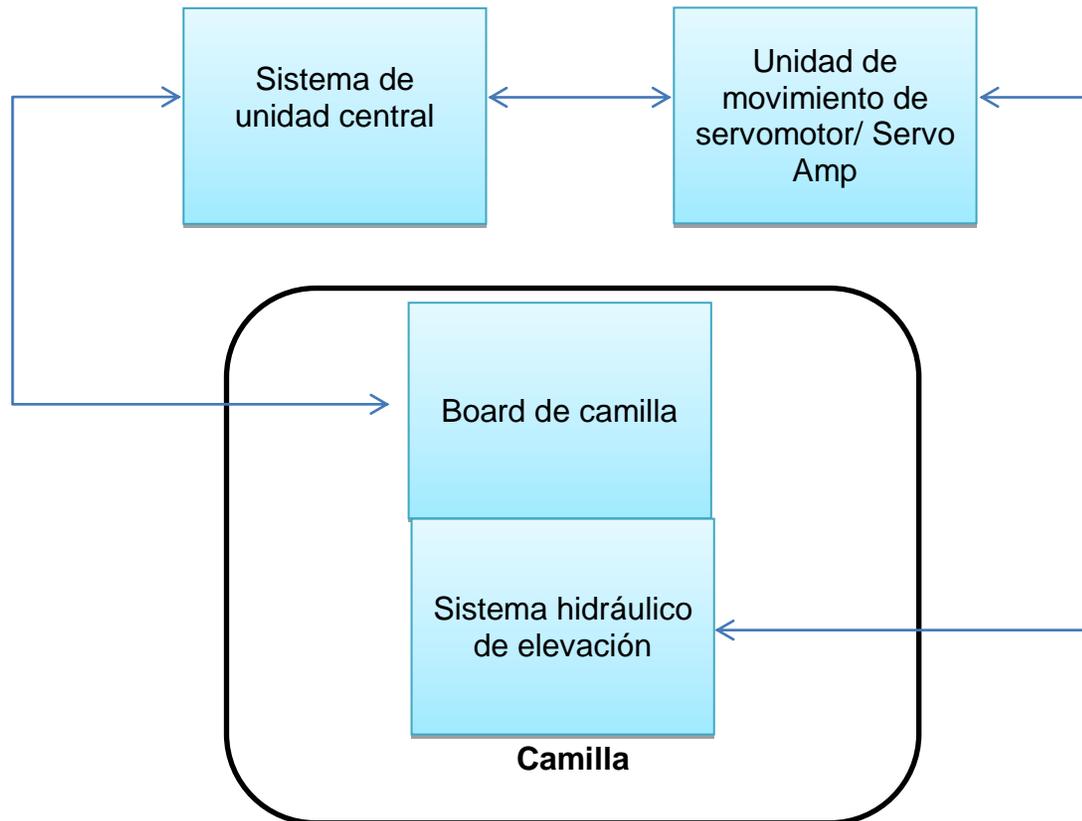
Una parte muy importante en una TC es la camilla, en ella es donde se coloca al paciente para poder realizar los estudios correspondientes ordenados por el médico que le trata o solicita los exámenes. Este sistema consta de una sincronía entre el giro del tubo de rayos X en conjunto con los detectores, si hubiera un problema de este tipo los cortes de las imágenes no serían exactas y provocaría una distorsión en la adquisición.

2.1.1. Sistema para control de camilla

El movimiento horizontal de la camilla lo realiza un conjunto de motores paso a paso, lo cual restringe el peso máximo que pueda soportar la plataforma principal. En la figura 16 se puede observar el flujo de comunicación entre la unidad central, unidad de movimiento conjunto el servoamplificador y los componentes básicos de la camilla. Los circuitos pueden llegar a ser más complejos, aunque el principio para una TC genérica es el mismo.

La camilla no es un sistema sencillo, normalmente está en comunicación con la unidad central de control. Para el movimiento vertical existe una unidad de elevación hidráulica, este sistema es dependiente de la unidad central de elevación, esta unidad es la que controla el servomotor y la sincronía entre la posición de la camilla y el giro del tubo. Los sistemas de elevación contienen *switches* manuales para poder mover la camilla; en caso que el sistema hidráulico entre en fallo, existe una palanca manual.

Figura 16. **Diagrama del sistema para control de camilla**



Fuente: elaboración propia.

2.1.2. **Pedales de posicionamiento**

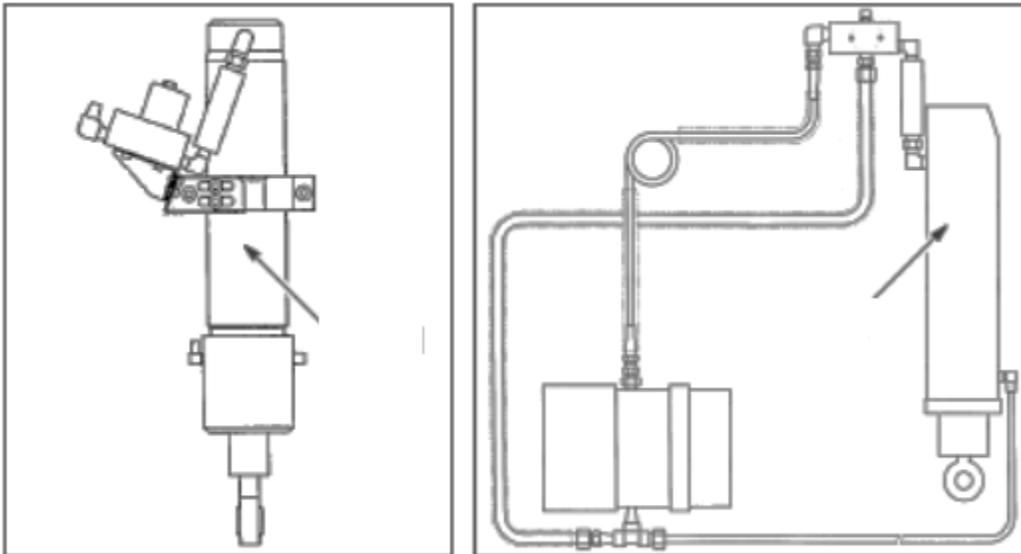
Como se vio con anterioridad, es fundamental que los pacientes estén colocados en una posición estándar, para que el resultado de la prueba sea óptimo. Para ello se deben realizar movimientos que los ajusten a ese punto exacto de la toma de prueba.

Estos movimientos, horizontal o vertical, pueden ser controlado por medio de pedales, los cuales cuando la TC está en funcionamiento normal, son utilizados para que la enfermera coloque el punto central del paciente. El componente de los pedales de posicionamiento son unos *switches*.

2.1.3. Unidad hidráulica

Este sistema es básicamente una pequeña bomba hidráulica que mueve un cilindro el cual empuja la camilla hacia arriba y al liberar la presión del aceite hace que la camilla tenga un movimiento contrario. En algunos casos contiene un potenciómetro con propósitos de retroalimentación. En la figura 17 se muestra un ejemplo del cilindro y la bomba.

Figura 17. **Cilindro y bomba hidráulica**



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed renewel parts. p.2-8.

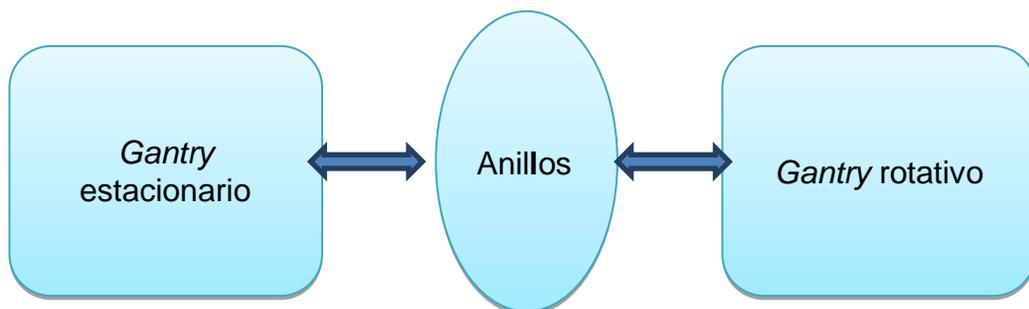
2.2. **Gantry**

La parte más importante de una TC es el *gantry*, éste contiene los componentes primordiales para la adquisición de imágenes. El *gantry* es un sistema de recolección de datos, también conocido como conjunto-grúa, y está compuesto por un generador de alta tensión, un tubo de rayos X, detectores, sistemas de adquisición de datos (DAS), colimadores y por todas las partes mecánicas necesarias para que funcionen los elementos anteriores.

Se llama *gantry* al cuerpo vertical de la unidad que presenta un orificio central, en el que se introduce la camilla de exploración con el enfermo. El *gantry* está constituido por un conjunto de elementos controlados desde la consola del operador y que en el transcurso de la prueba transmite datos para el análisis y producción de la imagen TC.

El *gantry* tiene una parte estacionaria que se conecta por medio de anillos a una parte rotativa como se observa en la figura 18.

Figura 18. **Gantry estacionario y rotativo**



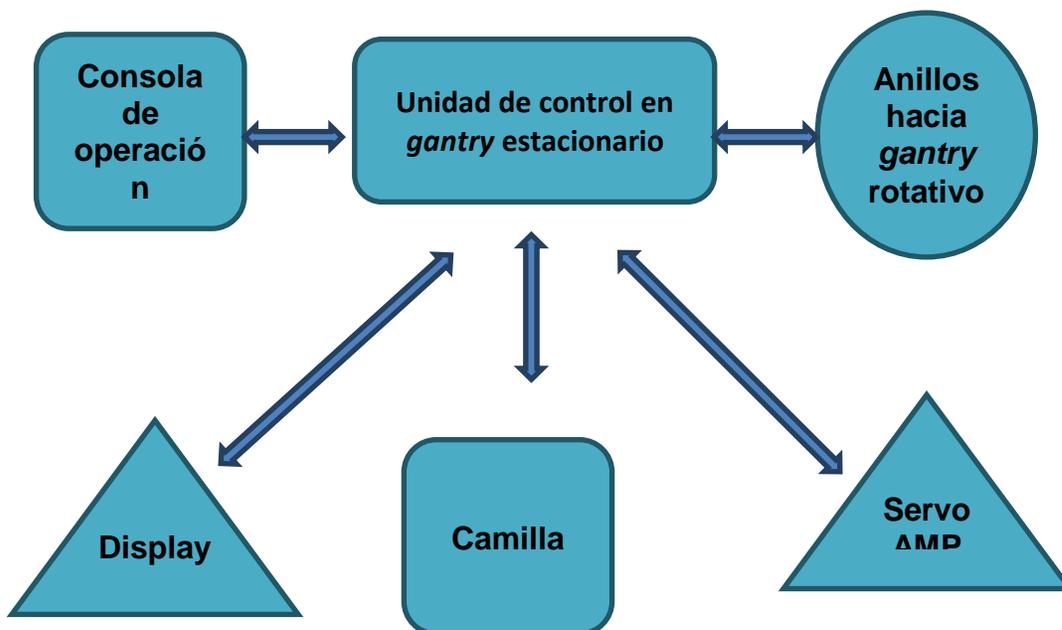
Fuente: elaboración propia.

2.2.1. Sistema de control en *gantry* estacionario

Este sistema se encarga de establecer comunicación entre la camilla, el servo amplificador, los displays de posición, la computadora de operación y el sistema de control en *gantry* rotativo. También contiene los *switches* de operación manual del movimiento del *gantry*,

Como se observa en la figura 19, está en constante comunicación con el sistema de control en *gantry* rotativo, esto también quiere decir que poseen una sincronía muy esencial para recolección de datos.

Figura 19. Sistema de control en *gantry* estacionario



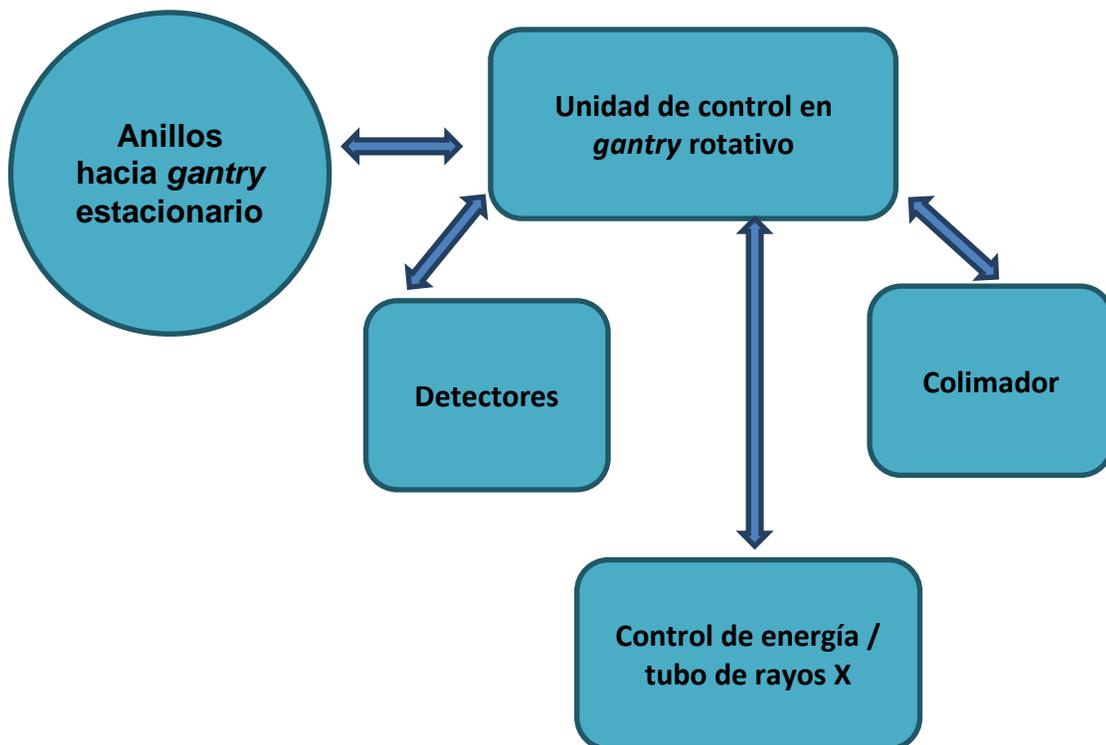
Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Sistema de control en *gantry* rotativo

Esta unidad de control está en constante comunicación con el colimador de rayos X, unidad de control de energía que incluye también el tubo de rayos X, luces de posición del paciente y el detector. Para enviar la información de comunicación entre el sistema de control en *gantry* estacionario, utiliza los anillos.

En la figura 20, se observa la conexión a simplificada hacia los bloques, cuando ésta unidad falla es improbable que se puedan emitir imágenes.

Figura 20. Unidad de control en *gantry* rotativo

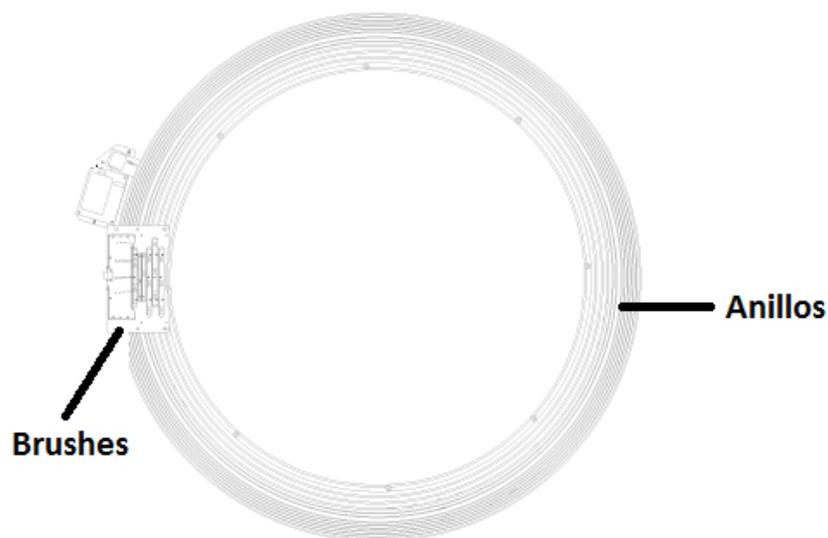


Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Sistema de anillos

Debido a que existe una parte rotativa y otra móvil, para poder energizar, establecer comunicación y sincronizar, las TC tienen un sistema de anillos. El sistema está en contacto por medio de un block donde unos *brushes* o cepillos. En la figura 21 se da un ejemplo de cómo son realmente estos anillos y cómo se acoplan los cepillos.

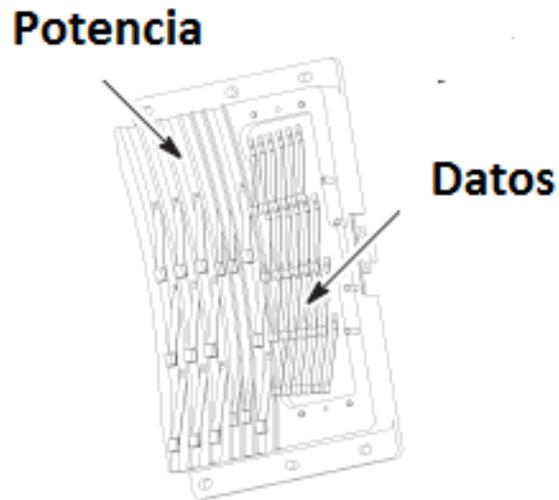
Figura 21. Sistema de anillos



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed renewel parts. p.2-8.

Los cepillos tienen en la punta una aleación de metales, de tal manera que son conductivos pero a la vez resistentes al desgaste. En la figura 22 se observa un ejemplo de cómo los cepillos de potencia los cuales portan voltajes de corriente alterna con denominaciones de 480 voltios trifásico y 120 voltios bifásico, en cambio los cepillos de datos relativamente más pequeños son los de comunicación y sincronía.

Figura 22. **Block de cepillos**



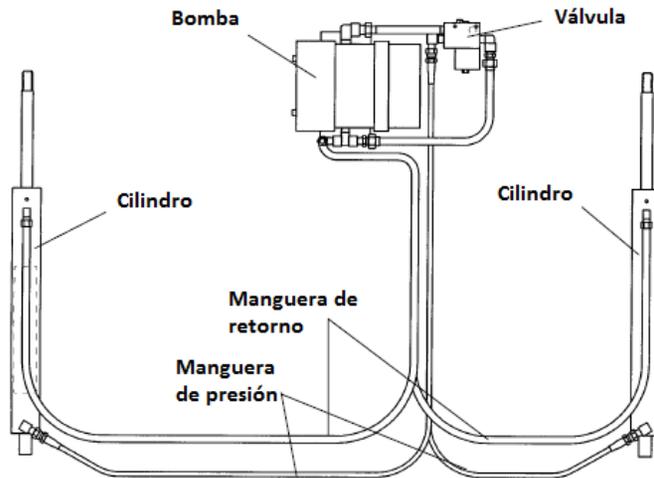
Fuente: General Electric. General Electric Hispeed renewel parts. p.2-8.

2.2.4. **Sistema de inclinación**

La TC necesita de poder tener una variación en la inclinación del *gantry* para poder hacer cortes transversales, por lo que tiene un rango de libertad entre -35 grados y 35 grados. El sistema de inclinación es bastante sencillo, cuenta con dos cilindros, una válvula y sensores de posición del *gantry* para determinar la inclinación. Quien ordena la inclinación normalmente es el sistema de control en *gantry* estacionario.

En la figura 23 se observa un diagrama de la conexión hidráulica hacia los cilindros de movimiento, esto en conjunto con la bomba que aumenta y la válvula que libera la presión.

Figura 23. **Sistema de inclinación**



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed advanced theory of operation. p.2-15.

2.2.5. Emisión de rayos X

Para poder explicar ampliamente los conceptos de las etapas que intervienen en la emisión de rayos X, se divide esta sección en dos áreas.

2.2.5.1. Tubo de rayos X

Esta parte de la TC es la que emite los rayos X de alta potencia, en comparación con un tubo de radiología tiene hasta 15 veces más potencia, esto quiere decir que emite entre 80 y 160 kilovolts. El tubo tiene una ventana que es donde los rayos X son direccionados, éste lleva un ánodo y un cátodo en forma de candela, que están sumergidos en un líquido dialéctico especial para aislar cualquier arco eléctrico en el interior. Cuando ocurre una emisión de rayos X, el ánodo dispersa la energía no utilizada en forma de calor, esto ocurre en *housing* o carcasa del tubo.

La ampolla es el corazón del tubo de rayos X, la cual está sumergida en aceite y en el interior se encuentra al vacío; si existiera una ausencia de ya sea aceite o vacío, se provocaría un arco eléctrico y no habría emisión de rayos X. El propósito del aceite es que por medio del *chiller* y un rotor que impulsa el líquido pueda disipar el calor que el ánodo emite, por eso contiene unos ventiladores que enfrían el panel donde circula el aceite y retorna donde se encuentra la ampolla.

Un ejemplo en vivo de un tubo de rayos X se puede observar en la figura 24, donde el tubo esta recostado sobre el panel y ventiladores, también se puede observar los cilindros que es donde se conectan las candelas del ánodo y cátodo. Hay que tomar en cuenta que estos tubos pesan aproximadamente 800 libras, por lo que su manejo tiene que ser delicado y con una cadena especial de elevación.

Figura 24. **Tubo de rayos X**



Fuente: <http://ct-mr.oxford-instruments.com/ct-scanner-parts>

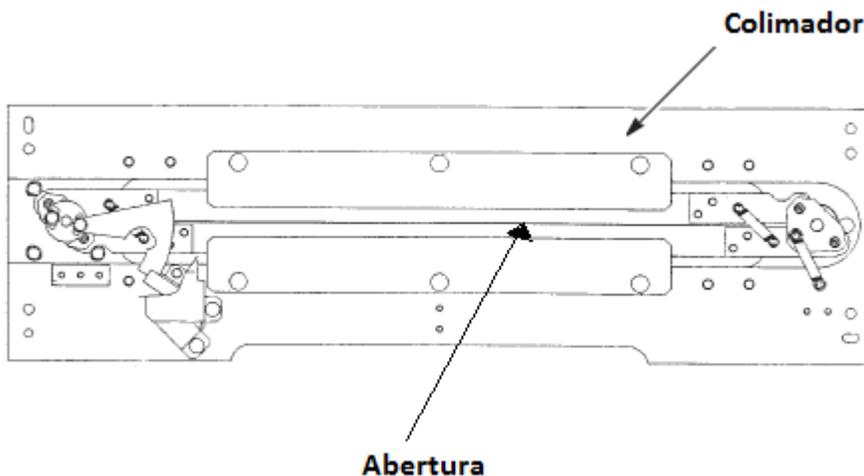
Consulta: 31 de agosto de 2012.

2.2.5.2. Colimador

Cuando los rayos X son emitidos por la ventana del tubo, estos no están direccionados del todo, por eso existe el mecanismo de colimación con el propósito de tener una abertura tal que se pueda controlar el tamaño del corte de la imagen. El colimador está controlado por el sistema de control en *gantry* rotatorio, la precisión de la abertura es puramente milimétrica y un daño en el sistema de colimación implicaría un cambio completo de la pieza de colimación.

En la figura 25 se puede observar un colimador donde la abertura es la parte central y en el lado izquierdo se encuentra el mecanismo compuesto por un motor paso a paso de alta precisión.

Figura 25. **Ejemplo de colimador**



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed advanced theory of operation. p.2-17.

2.2.5.3. Rectificador de AC/DC

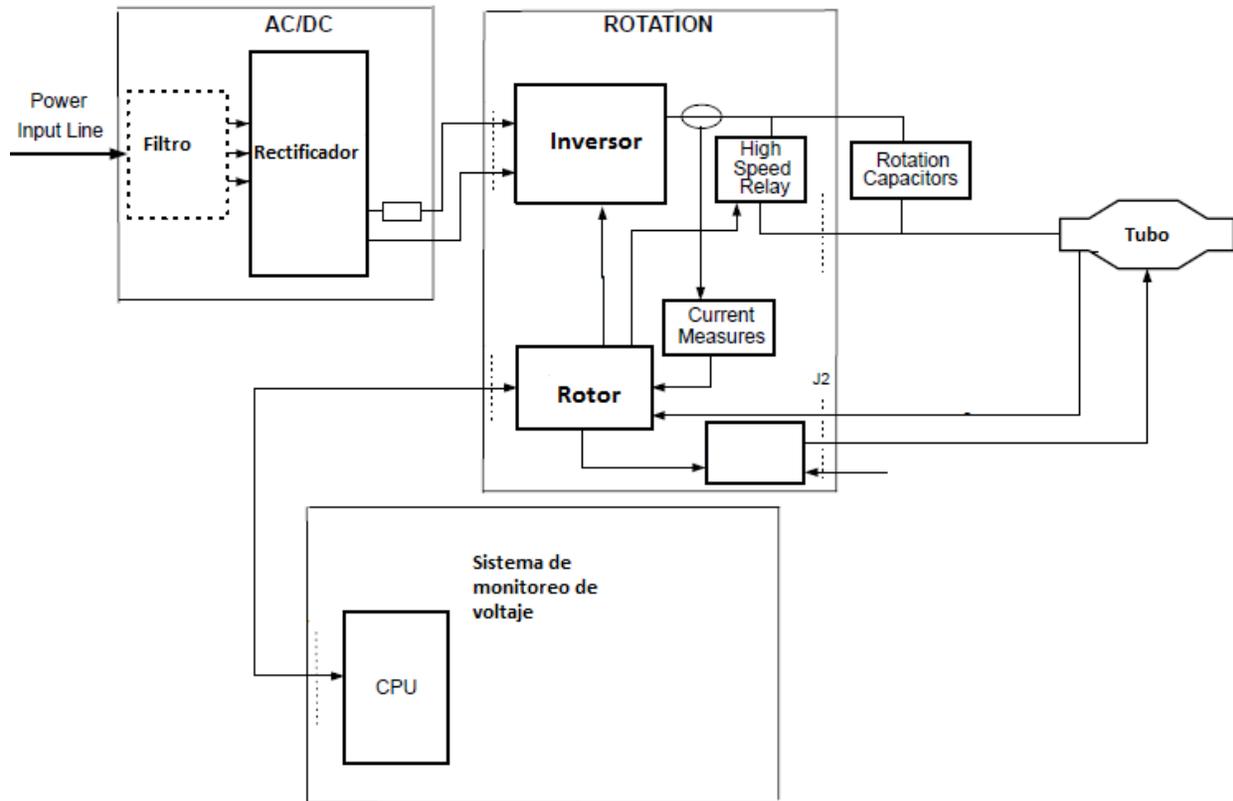
Para la producción de rayos X, se requiere de un complejo rectificador de onda, este sistema es de alta potencia ya que la onda a rectificar viene de la acometida trifásica de 480 VAC.

Después de la etapa de rectificación pasa a un filtro y termina en un inversor, cuando la elevación de voltaje es lo suficientemente alta los transistores IGBT conmutan de tal manera, que la potencia pueda ser controlada por medio de PWM y recaen en un tanque de alta tensión el cual deriva el voltaje al tubo de rayos X. Todo el procedimiento lo hace un sistema de control el cual retroalimenta muestras de voltaje y corriente del tubo, adicionalmente también la temperatura.

El rectificador trabaja en conjunto con la unidad de rotación, la cual se encarga de mantener en óptimas condiciones la temperatura y así establecer una medida de seguridad. También se puede observar en la figura 26, cómo se incluye un sistema de monitoreo de voltaje, cuando existe algún problema de temperatura o de arco eléctrico la unidad de monitoreo envía una alarma a la consola de control.

Las tarjetas del sistema de monitoreo de voltaje están alimentadas con 110 VAC, también se puede observar que se necesita un sistema de prefiltrado en la etapa antes del rectificador AC/DC y cuenta también con un fusible de protección en caso de sobre corriente.

Figura 26. Diagrama de rectificación

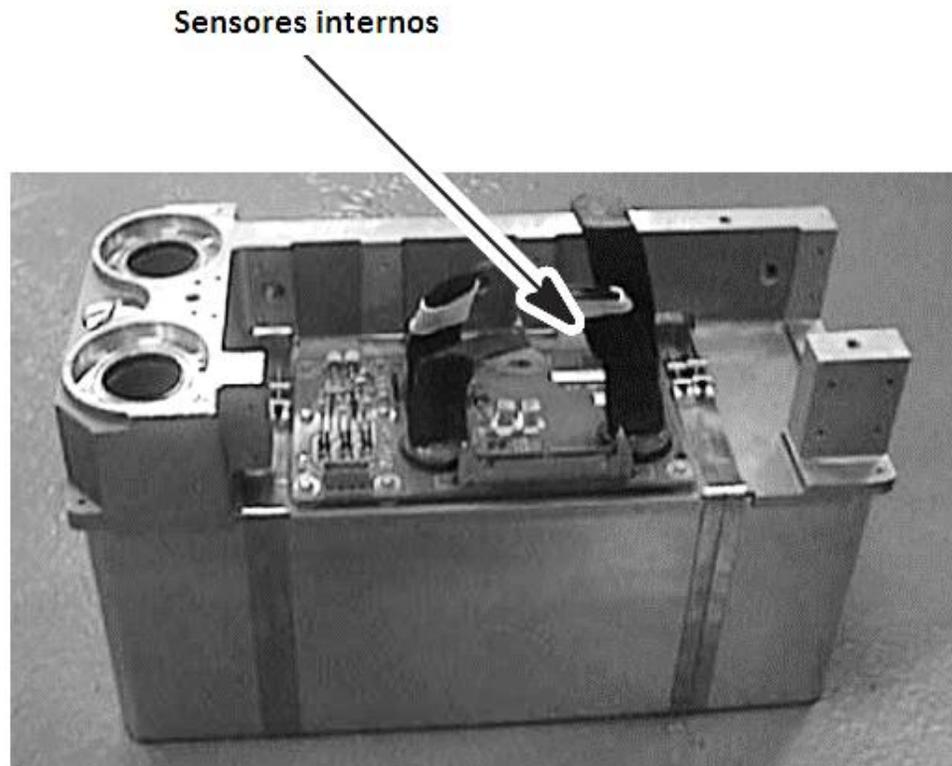


Fuente: General Electric. General Electric Hispeed advanced theory of operation. p.2-17.

2.2.5.4. Tanque de alta tensión

El propósito del tanque de alta tensión es controlar la conmutación entre el filamento de enfoque pequeño y enfoque grande del tubo de rayos X, también proporciona un sistema de monitoreo directo entre el voltaje y la corriente, y recordando también que brinda un sistema de protección en caso de sobrecarga o fallo en el tubo (figura 27).

Figura 27. **Tanque de alta tensión**

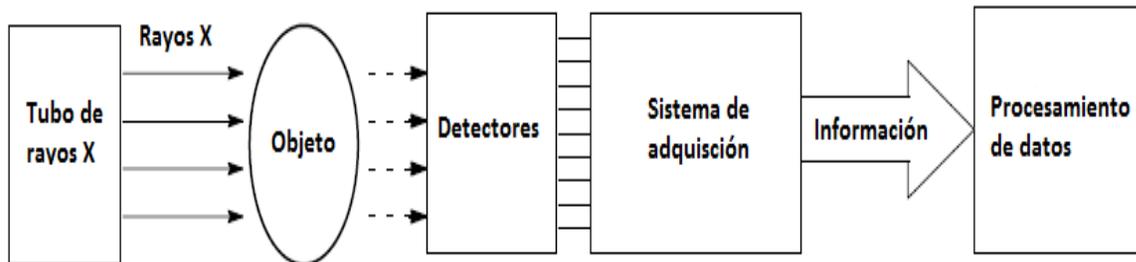


Fuente: General Electric.General Electric Hispeed renewel parts. p.2-8.

2.3. Detector de rayos X

Refiriéndonos a la figura 28, se puede ver como el tubo de rayos X emite ondas electromagnéticas para luego ser recibidas por el arreglo de detectores, después pasa a una etapa de adquisición y luego recae en un sistema de procesamiento de información para ser transportado hasta la computadora de operación.

Figura 28. **Etapa de detección**



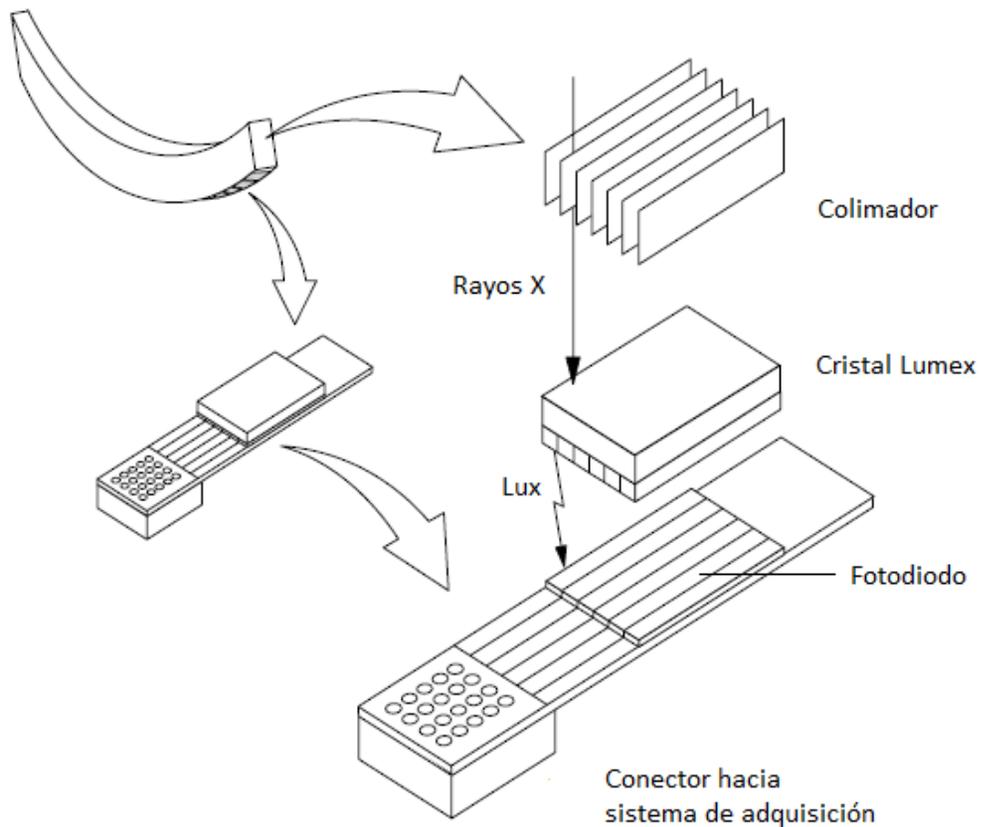
Fuente: elaboración propia.

2.3.1. Detectores

Los detectores usualmente están hechos de un material tipo cristal llamado *lumex* o también *scintillator* el cual brilla cuando está expuesto a emisión de rayos X, luego de que el material brilla es detectado por un fotodiodo el cual convierte energía de luz en corriente eléctrica. El material tiende a tener un efecto llamado *afterglow*, este efecto consiste que el material queda brillante en un lapso pequeño pero lo suficiente para causar un error. El error de *afterglow* se corrige luego en la unidad de adquisición por medio de compensación.

Cada uno de los detectores cuenta con diferentes canales de detección los cuales al trabajar en conjunto generan una proyección, recordando que existe un teorema fundamental de Fourier, la información pasa hacia una tarjeta recolectora para luego enviarla al sistema de reconstrucción. En la figura 29 se hace una referencia la composición de un detector.

Figura 29. Diagrama de detector



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed renewal parts. p.2-3.

2.3.2. Sistema de adquisición

Después de la etapa donde los detectores transmiten la señal de corriente eléctrica detectada de los rayos X, estas son procesadas por tarjetas independientes que abarcan cierto número de detectores. Luego que las señales fueron cuantificadas, estas son transmitidas a un dispositivo que se encarga de empaquetar la información y transmitirla hacia la consola de operación.

2.4. Consola de control

Cuando se han realizado el muestreo de proyecciones, la información todavía no va en forma de imágenes, quien se encarga de realizar este proceso es la consola de control. Esta consola también cuenta con un sistema de parada de emergencia y discos duros internos que realizan una compilación de información para luego procesarla.

La información va transportada en fibra óptica desde el *gantry*. En la figura 30 se hace referencia un ejemplo de una consola. El propósito de tener dos monitores es que en una pantalla se pueda controlar la TC y en la otra se muestren las reconstrucciones de imágenes.

Figura 30. Consola de control



Fuente: www3.gehealthcare.com.sg/en-GB/Products/Categories/PET-CT/PET-CT_Scanners/

Consulta: 3 de septiembre de 2012.

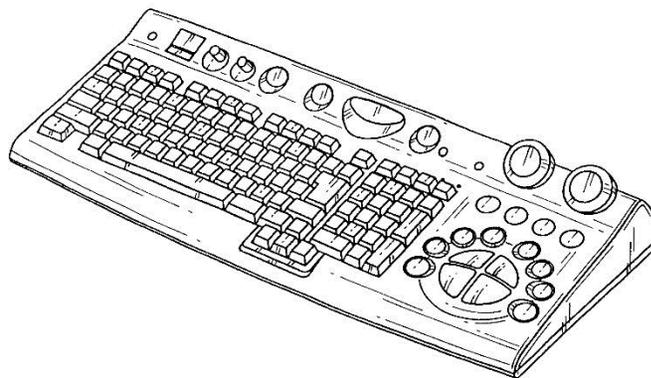
2.4.1. Unidad de reconstrucción de datos

Debido a que la cantidad de datos es demasiado extensa, se necesita de una computadora independiente que procese el algoritmo de Fourier para poder reconstruir la imagen. Esta unidad es la que recibe la fibra óptica desde el *gantry* con la información, cuenta con un procesador multinúcleo de la gama de servidores y un arreglo de discos duros para procesamiento de información.

2.4.2. Computadora

Es por su defecto una computadora de escritorio la cual recibe las imágenes desde la unidad de reconstrucción de datos, cuenta con un disco duro para almacenamiento de imágenes y un software especial para controlar la tomografía. El teclado es especial porque cuenta con botones donde se puede manejar la parada de emergencia, el micrófono y el volumen para medidas de seguridad del paciente. En la figura 31 está el ejemplo de un teclado el cual es distinto a los normales.

Figura 31. Teclado de tomografía



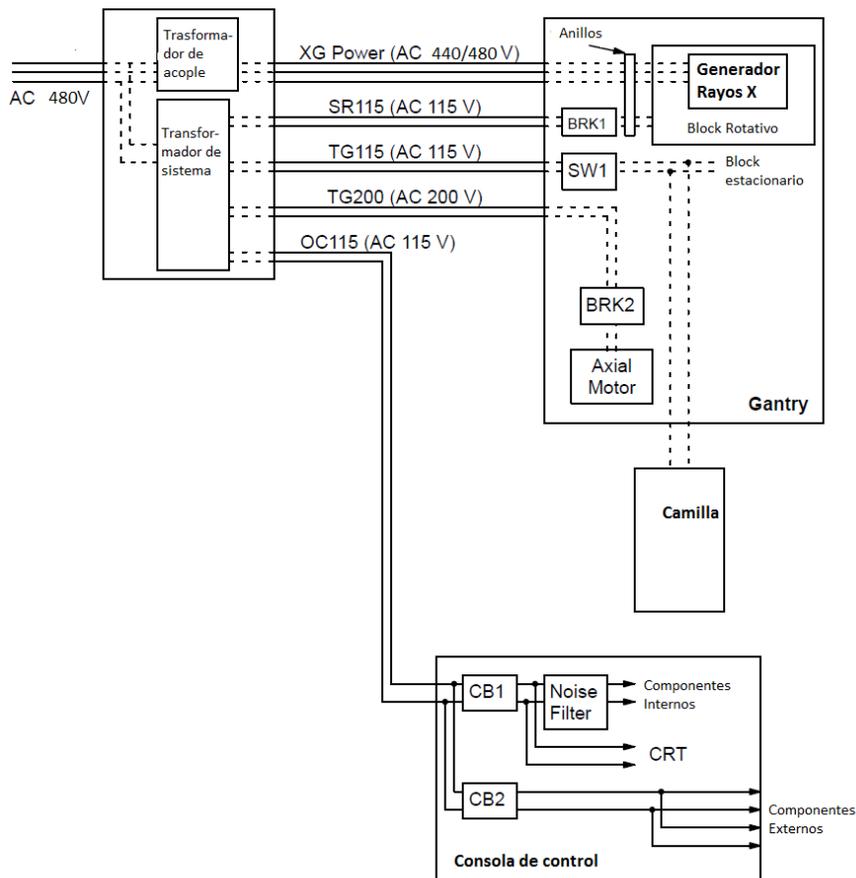
Fuente: <http://www.freepatentsonline.com/D0523146-0-large.jpg>

Consulta: 3 de septiembre de 2012.

2.5. Unidad de energización

Cuenta con un sistema de conmutación de *releys*, *breakers* de activación de voltaje, protección con fusibles de la acometida trifásica de 480 VAC y acometida bifásica de 120 VAC. También está compuesto de un sistema de prefiltrado de las líneas de energía y un transformador principal que del voltaje de 480 de la acometida deriva el voltaje de 120 VAC de alimentación de la TC. En la figura 32 está un ejemplo de una unidad de energización.

Figura 32. Unidad de energización

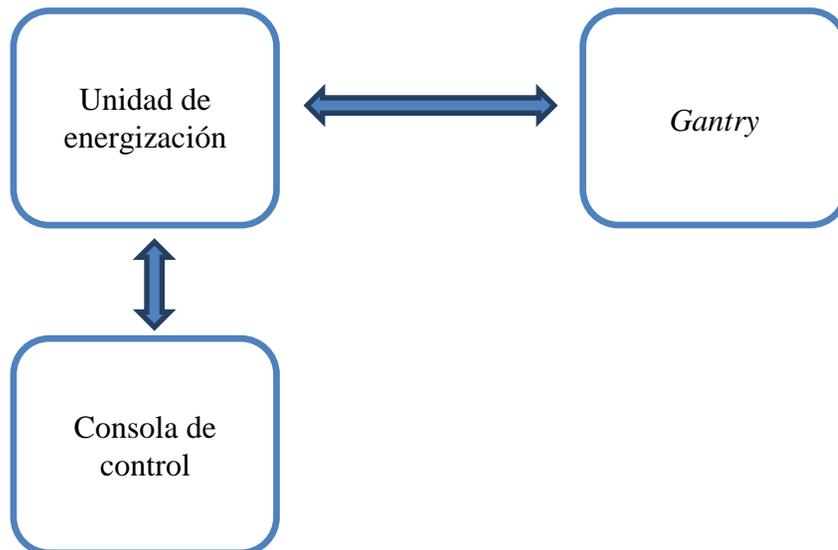


Fuente: General Electric. General Electric Hispeed preinstalation. p.4-4.

2.5.1. **Loop de seguridad**

El propósito de crear un *loop* de seguridad, es que la unidad de energización detenga el voltaje en caso que exista un fallo en el *gantry* o en la consola de operación tal como se mira la relación en la figura 33. También entra en fallo cuando las tapaderas del *gantry* están desmontadas, esto es por medida de seguridad ya que el sistema rota a velocidades de entre 90 a 150 revoluciones por minuto.

Figura 33. **Loop de seguridad**



Fuente: elaboración propia.

3. REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Los siguientes requerimientos son básicos, pero a la vez necesarios para poder tener una instalación correcta y funcional del equipo médico.

3.1. Tamaño de sala

Existe un tamaño estándar para el área donde se instalará la tomografía computarizada, en la figura 34 se puede observar las dimensiones mínimas de altura del cielo y tamaño de la sala.

Figura 34. Dimensiones de sala

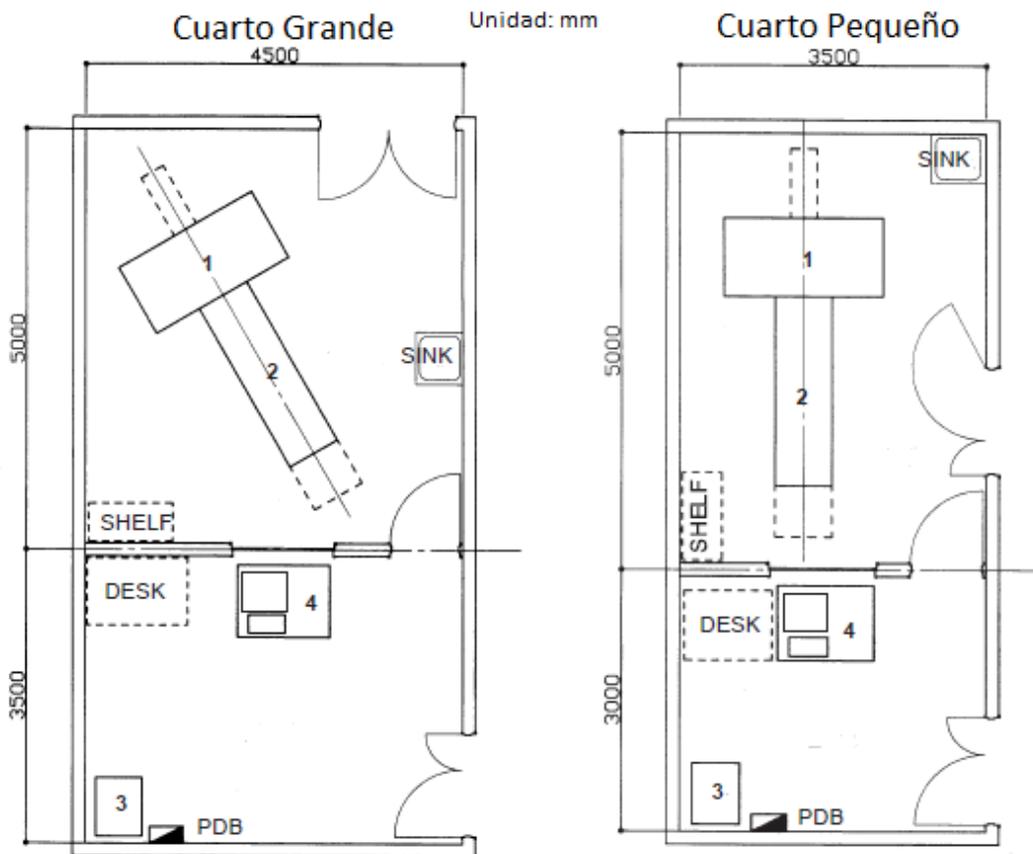
Cuarto	Área mínima m ²	Dimensiones típicas en metros	Techo en metros
Gantry/ Cuarto de scaneo	10.8	2.7 x 4	2.3
Operador / Consola	4.3	2.5 x 1.7	2.3

Fuente: General Electric. General Electric Hispeed preinstalation. p.2-3.

Para tener un ejemplo más concreto o una idea más cercana a la realidad se puede observar el diseño de dos áreas en la figura 35. Del lado izquierdo se encuentra un ejemplo de implementación de *gantry* en posición inclinada con una sala relativamente grande, y en el lado derecho con una sala pequeña con posición central.

Los planos mostrados no son necesariamente acoplados al diseño arquitectónico, ahora los requerimientos mínimos de tamaño de área sí son primordiales para la instalación. Recordar también que la radiación tiende a ser hacia todas direcciones del cuarto, por lo que es recomendable que si se coloca en un edificio de varios niveles, exista un aislamiento perfecto con el uso de una capa delgada de plomo entre las paredes.

Figura 35. Planos de salas

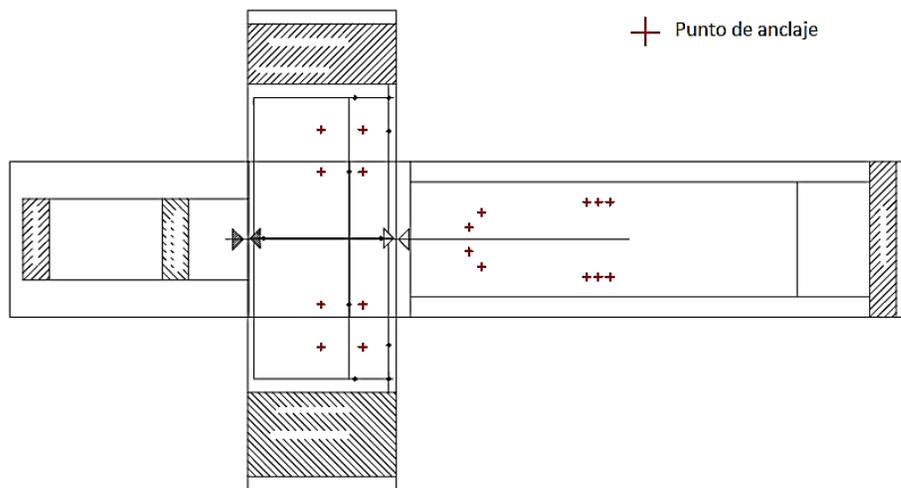


Fuente: General Electric. General Electric Hispeed preinstalation. p.2-4.

3.2. Base de cemento

Se tiene que colocar una base de cemento de al menos 10 cms de grosor, para soportar el peso y movimiento constante del *gantry*. Esta base tiene que abarcar al menos el área de los puntos de anclaje y la del *gantry* con la camilla. En la figura 36 se muestra un ejemplo de la base de cemento con los puntos de anclaje de la TC. El peso del *gantry* es aproximadamente 1,000 kilos.

Figura 36. Base de cemento

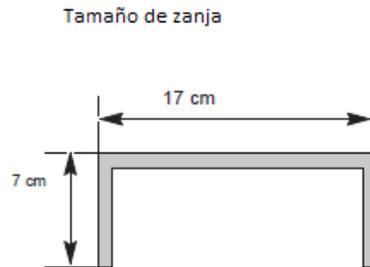


Fuente: elaboración propia con programa de Autocad.

3.2.1. Zanja

Con fines de acabados, es necesario construir una zanja en el cuarto, de tal manera que la dimensión se muestra en la figura 37. El propósito es que el cableado se encuentre oculto, el fin es que no interrumpa el paso de pacientes o bien de equipo cuando es transportado, además al tenerlo oculto se evitan accidentes de desconexión o desgaste del conductor que alimenta el equipo.

Figura 37. **Dimensión de la zanja**

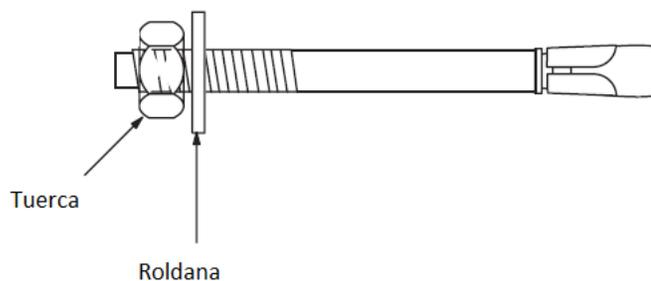


Fuente: elaboración propia con programa de Autocad.

3.2.2. Anclaje

Cuando la base de cemento está terminada junto con la zanja, es necesario primero colocar los tornillos para anclar la TC. Estos tornillos son especiales y tiene la punta expansiva para aferrarse a la base de cemento, refiriéndonos a la figura 38. Tiene que estar a 10 centímetros de profundidad del suelo además este tipo de tornillo es acerado.

Figura 38. **Tornillo para anclaje**



Fuente: General Electric. General Electric Hispeed preinstalation. p.2-11.

3.3. Temperatura

Como la TC contiene una electrónica interna que produce calor, es de suma importancia que se encuentre en los parámetros siguientes además de poseer un sistema de enfriamiento de aire acondicionado.

Gantry:

- Temperatura: 15 °C – 28 °C
- Humedad relativa: 20 – 80 % no condensativa

Sala de control:

- Temperatura: 15 °C – 30 °C
- Humedad relativa: 30 – 70 % no condensativa

Idealmente la temperatura recomendable es de 20 °C, este influye para hacer el cálculo del tamaño de condensador de aire acondicionado y la manejadora que se instalara en el sitio. Utilizar aire acondicionado de precisión.

3.4. Energización

Dependiendo la potencia del tubo y de la unidad de energización la potencia requerida de la acometida variará, aunque los datos de distorsión, transitorios, frecuencia y balance de voltaje seguirán siendo una norma.

- Voltaje: acometida trifásica con 480 V
- Potencia: 23 KVA – 30 KVA
- Variación máxima de voltaje: + 10% hasta – 6 %
- Distorsión por armónicas total máxima: 5 %
- Balance de fases: 3 % entre la fases

- Transitorios de voltaje: 1,000 V con duración máxima de 100 nano segundos.
- Frecuencia: + 6% hasta – 5 % de 60 Hz de referencia

Estos son algunos requerimientos de la acometida de voltaje, por lo que se recomienda tener un sistema de monitoreo antes de alimentar la TC.

3.5. Otros requerimientos

Existen otros requerimientos que no deben pasarse por alto, entre ellos se encuentran:

- Paredes: como el equipo provocará radiación, las paredes tienen que estar hechas de block con relleno de cemento, esto evitará que la radiación se disperse a otros lados.
- Cristal de protección: en la sala de control el técnico estar en la sala de control revisando las imágenes captadas, pero necesita una visión hacia el paciente en caso de emergencia. Este cristal tiene que ser especializado para protección contra rayos X, contiene un recubrimiento delgado de plomo y es conocido como vidrio plomado y su espesor tiene que ser de 1.5 cm. o se puede dividir en doble cristal de 0.75 cms.
- Puerta: esta tiene que estar con un blindaje de plomo, se utiliza planchas de 2 mm de espesor aunque el distribuidor de la tomografía comúnmente vende la puerta junto con el equipo médico. Se recomienda utilizar bisagras reforzadas en caso que la puerta sea fabricada localmente.

- Señalizaciones: el ministerio de minas obliga a instalar un dispositivo que alarme cuando el equipo está en emisiones de rayos X.
- Iluminación: la sala donde está la tomografía médica tiene que estar debidamente iluminada, se recomienda poner la iluminación alrededor de la mesa de tal manera que la luz no moleste la visión del paciente que esta recostado en la camilla.
- Piso: este tiene que ser un piso especial para equipo médico, ya que tiene la particularidad que no conserva bacterias y es más fácil de limpiar. No debe existir ninguna grada ya que el paciente entrará en una camilla.

En la figura 39 se observa la sala de una tomografía computarizada común, tomar en cuenta los detalles de iluminación y que el piso contiene el mínimo de separaciones.

Figura 39. **Sala de una tomografía computarizada**



Fuente: Internet, <http://www.flickr.com/photos/clinicasoncologicasintegradas/4932094757/>

Consulta: 16 de septiembre de 2012.

3.6. Normas

Como todo equipo electrónico, es necesario tener conocimiento de las normas básicas como se observa en la figura 40.

Figura 40. Normas IEEE

EN 60601-2-44 Equipo Médico eléctrico – Parte 2-44: Requerimientos particulares para la seguridad del equipo de rayos “X” para tomografía computarizada.	EN ¹	
JIS Z 4923:1997 Phantoms para tomografía computarizada de rayos “X”	JIS ²	1997
IEC 60601-2-44 Ed. 2.1 en: 2002, Equipo Médico Eléctrico - Parte 2-44: Requerimientos particulares para la seguridad de los equipos de tomografía computarizada por rayos “X”.	IEC ³	2002
ASTM E1695-95(2001) Métodos de Prueba Estándares para la Medición del Desempeño de los Sistemas de Tomografía Computarizada	ASTM ⁴	2001
ASTM E1672-95(2001)e1 Standard Guide for Computed Tomography (CT) System Selection Guía Estándar para la Selección de Sistemas de Tomografía Computarizada	ASTM	2001

¹ European Norm

² Japanese Industrial Standard

³ International Electrotechnical Commission

⁴ American Society for Testing and Materials

Fuente: Genetec. Guía tecnológica no. 6. p.2.

3.7. Preinstalación

Antes de que comience el trabajo de instalación, consulte el sitio para verificar el cumplimiento de los conductos, pistas de rodadura, y el instalado el cableado, de acuerdo con las especificaciones.

Revise el manual de preinstalación y los planes de diseño de la instalación utilizados para comprobar el cumplimiento en todas las áreas. Preparación de la sala debe incluir lo siguiente antes de la instalación del equipo comience:

- Zanjas de conductos, suelo y/o pared del conducto en su lugar
- Cables del contratista suministrado tirado y etiquetado
- Energía eléctrica para el sistema instalado y comprobado. Interruptores de circuito principal *off* y etiquetados.
- Habitación con aire acondicionado completo y comprobado
- Puertas, y el pasillo libres para que la tomografía pueda entrar sin Problemas.
- Potencia disponible para taladros manuales, aspiradoras y equipos de prueba.
- Las disposiciones tomadas por el bloqueo de habitaciones, bloqueo de herramientas y equipos de seguridad hasta que sea desempacado.
- Teléfono extensión en el cuarto de control

4. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Como todo equipo que posea una electrónica y un mecanismo de movimiento, es necesario un mantenimiento preventivo para evitar futuras fallas. El servicio preventivo consta en varias secciones, de preferencia y para maximizar el tiempo es recomendable realizar todos los pasos ya que detener un equipo médico significa una pérdida considerable de ingresos de dinero. Utilizando el criterio de realizar el mantenimiento en intervalos de tres o seis meses, dependiendo el uso constante del equipo.

4.1. Sistema de anillos

Debido a que los anillos están en constante movimiento y los cepillos en constante desgaste es necesario darle servicio cada 50,000 rotaciones. Por lo que requiere de lo siguiente:

- Tiempo aproximado: 3 horas
- Recurso humano: 2 técnicos
- Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Limpiar el block y chequear desgaste de cepillos
- Pulir con lija 800 o fina el block
- Utilizar para la limpieza etanol de alta pureza, tiene que ser del 98% como mínimo y recalibrar el block de cepillos

Experiencia:

- Al destornillar la base metálica que protege a los anillos de cualquier contacto, revisar que esta base no raspe contra cualquier otra superficie. Si no se revisa la separación correctamente, esto puede provocar un grave arco eléctrico y dañar las pistas de los anillos.
- Para recalibrar el block de cepillos es necesario iluminación directa entre la pista y el block, siempre tratar la manera de dejar lo más centrado posible.
- Siempre revisar que no haya quedado algún cable suelto.

4.2. Detectores

Cuando sea conveniente, se puede aprovechar el mantenimiento de las 50,000 rotaciones. Los detectores requieren lo siguiente:

Tiempo aproximado: 4 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Utilizar aire comprimido para limpiar el área de ventilación de la Unidad de Recolección de Datos.
- En caso que exista algún detector dañado cámbialo según sea conveniente, a veces estos detectores vienen en bloques completos y no se pueden cambiar.
- Limpiar las tarjetas de recolección

Experiencia:

- Al sacar cualquier componente, hacerlo con bastante delicadeza ya que se pueden dañar.
- Nunca dejar de utilizar una pulsera aterrizada para no provocar un corto circuitos y dañar las tarjetas del detector o los mismos detectores.

4.3. Sistema de inclinación

El mecanismo de inclinación se le puede dar mantenimiento cuando el equipo requiere de lo siguiente:

Tiempo aproximado: 2 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Revisar los ductos de compresión hacia los cilindros para ver si no hay fugas de aceite.
- Limpiar rieles de movimiento
- Engrasar el mecanismo con grasa para equipo médico, esta es especial porque tiene componentes que no resguardan bacterias y absorbe menos polvo.

Experiencia:

- Se recomienda remover la grasa desgastada y aplicar una nueva capa en los carriles de movimiento.

4.4. Consola de control

La consola requiere de lo siguiente en un período de cada 6 meses:

Tiempo aproximado: 2 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Limpieza de teclado con aire comprimido y luego alcohol puro
- Quitar el polvo interior al CPU y a la unidad de reconstrucción de datos con aire comprimido.
- Limpiar los contactos de los monitores, teclado y mouse
- Revisar todos los conectores

Experiencia:

- En caso que sea necesario remover algún cable, dejarlo debidamente etiquetado para no cometer equivocaciones al regresarlo a su lugar.
- Utilizar un brazaletes aterrizado hacia el chasis de la consola, esto evita que se cualquier electroestática que dañe algún componente.

4.5. Cambio de tubo de rayos X

El desgaste del tubo va a depender del uso, en su mayoría vienen con garantía de 200,000 disparos, luego de esto se requiere un cambio. Lo siguiente es necesario para instalar un tubo.

Tiempo aproximado: 5 horas

Recurso humano: 2 técnicos

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Anclar la cadena de soporte para elevar el tubo
- Cambiar los tornillos que sujetan el tubo
- Calibración de posición del tubo
- Rutina de dilatación de filamento
- Calibración de isocentro
- Calibración de números CT
- Calibración con phantoms

Los nuevos equipos de tomografía computarizada vienen con rutinas de calibración predeterminadas, por lo que es más fácil de realizar el cambio de tubo.

Experiencia:

- Si el equipo no dilata el filamento del tubo de rayos X desde un principio, esto puede provocar arcos eléctricos no deseado o reducir drásticamente la vida útil del tubo.

- Siempre revisar si los cables del ánodo y cátodo no queden sueltos o con posibles colisiones al girar, siempre utilizar cinchos especiales para sujetarlos. Esto quiere decir que se tiene que hacer girar el *gantry* en velocidad manual para comprobar la libertad de giro.

4.6. Camilla

Para el mecanismo interno de la camilla el mantenimiento es el siguiente:

Tiempo aproximado: 4 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Revisar los ductos de compresión hacia los cilindros para ver si no hay fugas de aceite.
- Limpiar rieles de movimiento
- Engrasar el mecanismo con grasa para equipo médico, esta es especial porque tiene componentes que no resguardan bacterias y absorbe menos polvo.
- Adicional revisar fajas tensoras de motores paso a paso
- Limpiar la carcasa con etanol puro
- Limpiar la electrónica con aire comprimido

Experiencia:

- Siempre revisar que en las fajas de los motores o en el mecanismo de movimiento no exista ningún obstáculo.
- En caso que la camilla este desenergizada y se requiera movilizarla, existen mecanismos secundarios para moverla manualmente.

4.7. Gantry

El *gantry* se refiere a las tapaderas que cubren el alma de la tomografía computarizada, requiere de lo siguiente:

Tiempo aproximado: 4 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y mascara antipolvo

Procedimiento:

- Limpieza de ventiladores
- Limpieza con etanol puro de las tapaderas
- Limpiar la electrónica con aire comprimido

Experiencia:

- Nunca recostarse en el *gantry* ya que esto puede provocar que se raje la carcasa.

4.8. Unidad de energización

Esta unidad requiere de lo siguiente:

Tiempo aproximado: 4 horas

Recurso humano: 1 técnico

Equipo de protección: guantes delgados de hule y máscara antipolvo

Procedimiento:

- Revisión de contactores, en caso que estén sucios limpiarlos
- Chequeo alguna anomalía
- Limpiar la electrónica con aire comprimido
- Revisar los voltajes de entrada

Experiencia:

- Siempre garantizar que la unidad de energización este completamente desconectada de la fuente de energía para poder trabajar.
- Se recomienda fuertemente tener fusibles disponibles de repuesto, ya que en caso que se dañen los repuestos pueden tomar muchos días en llegar a Guatemala.

CONCLUSIONES

1. Una exposición prolongada a rayos X, puede provocar que una persona presente mareos o nauseas, esto quiere decir que el nivel de toxicidad de las emisiones radioactivas es alta.
2. Al instalar un tubo de rayos X nuevo, primero es necesario dilatar el filamento interno y luego calibrarlo por medio de la secuencia propietaria de la marca del equipo
3. Si el equipo entra en modalidad de falla la unidad de control puede mostrar códigos de errores, estos errores se pueden ver en el manual del equipo para diagnosticar el problema.
4. En la primer instalación de equipo tomográfico, la acometida trifásica viene que cumplir con los requerimientos mencionados, en caso que no se cumplan puede resultar un daño irreversible a la unidad de energización del equipo.
5. Cuando los equipos de tomografía computarizada son nuevos de fábrica, estos contienen un sistema de elevación que se acopla a la base del *gantry* para poder ser movilizado y posicionado en la sala. Es de suma importancia guardar este sistema de elevación para futuros mantenimientos o en caso que se quiera mudar la tomografía computarizada a otro sitio.

6. Al hacer cualquier limpieza interna del equipo, se tiene que utilizar etanol de alta pureza, esto se debe a que se evapora bastante rápido y así evitar un corto circuito.
7. Idealmente es necesario un sistema de aire acondicionado en la sala donde se encuentra el *gantry*, sin este sistema el equipo se puede detener debido a un sobrecalentamiento o reducir el período de vida útil.
8. El engrase de las piezas mecánicas de cualquier equipo médico tiene que ser con grasa de estándar médico, debido a las propiedades de los compuestos, se evita contaminación bacteriana interna del equipo.

RECOMENDACIONES

1. Cuando la TC sea calibrada, existen emisiones de rayos X de alta potencia, por lo que no tiene que existir ninguna persona adentro de la sala.
2. La mayoría de equipos tienen manuales de la marca propietaria, por lo que si se va a trabajar en un equipo es primordial la lectura previa a tocar cualquier componente interno.
3. Al abrir las tapaderas del *gantry*, el equipo se queda en modalidad de alerta, esto quiere decir que la persona encargada de mantenimiento debe mantener una distancia prudente del equipo.
4. Las consolas de control contienen *backups* del sistema operativo, por lo que en caso de falla es necesario tener los discos para instalación.
5. Antes de realizar la instalación del *gantry* y la mesa del equipo, primero se tiene que marcar el suelo de tal manera que se pueda aproximar el área que ocuparán.
6. Siempre utilizar las herramientas especiales para servicios de mantenimiento preventivo.
7. Cuando se trabaje en el *gantry*, el primer paso a realizar es apagar los *switches* de energía del equipo y luego bloquear el *gantry* rotativo por medio de un pin de seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

1. General Electric. "TAC GE Hispeed theory advance function". *GE Medical Systems*, 2002. num. 16. 142 p.
2. ————. . "TAC GE Hispeed theory of operation". *GE Medical Systems*, 2002. num. 16. 142 p.
3. ————. . "TAC GE Preinstallation". *GE Medical Systems*, 2002. num. 22, 120 p.
4. ————. . "TAC GE Renewal Parts". *GE Medical Systems*, 2002. num. 31, 242 p.
5. ————. . "TAC GE Installation". *GE Medical Systems*, 2002. num. 26, 290 p.
6. MUÑOZ BELTRAN, Cayetano. "Tecnología radiológica: rayos". ciudad: *Thompson Paraninfo*, 1996. 616 p.
7. MIIGNONE C & BARNES. "Más allá de lo que el ojo ve: el espectro electromagnético". *Science in School* 20, 2011, 59 p.
8. RADIOLOGICAL SOCIETY OF NORTH AMERICA, *TAC abdomen y pelvis*. [en línea].
<<http://www.radiologyinfo.org/sp/info.cfm?pg=abdominct>>.
[Consulta: mayo de 2012].

9. SLANEY, Malcolm; KAK, Avinash. "Principles of computerized tomographic". *ciudad: Society of Industrial and Applied Mathematics*, 2001. 350 p.

10. SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING. "*Principles of computer tomographic imaging*". [en línea].
<<http://www.slaney.org/pct/pct-toc.html>>.
[Consulta: enero de 2012].