

IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ANATÓMICOS CEREBRALES  
DESCRIPTORES DE LAS COORDENADAS TALAIRACH A PARTIR DEL  
ESTUDIO DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS

ANDRÉS EDUARDO LINEROS PINTO

ILMER JOSÉ GRANADOS CUELLO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2012

IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ANATÓMICOS CEREBRALES  
DESCRIPTORES DE LAS COORDENADAS TALAIRACH A PARTIR DEL  
ESTUDIO DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS

ANDRÉS EDUARDO LINEROS PINTO

ILMER JOSÉ GRANADOS CUELLO

Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Electrónico

Directores

MIE. CARLOS ANDRÉS NIÑO NIÑO

PHD. DANIEL ALFONSO SIERRA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE  
TELECOMUNICACIONES  
BUCARAMANGA

2012

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	12
1. MARCO TEÓRICO.....	14
1.1. REPRESENTACIÓN DIGITAL DE UNA IMAGEN.....	14
1.2. DICOM.....	14
1.3. MEJORAMIENTO DE IMÁGENES.....	15
1.3.1. FRECUENCIA ESPACIAL.....	15
1.3.2. TÉCNICAS DE FILTRADO.....	15
1.3.2.1. FILTRO PASABAJAS.....	15
1.3.2.2. FILTRO PASALTOS.....	16
1.4. DETECCIÓN DE LÍNEAS.....	17
1.5. TRANSFORMADA DE HOUGH.....	18
1.6. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA.....	18
1.7. PLANOS ANATÓMICOS.....	19
1.7.1. PLANO SAGITAL.....	20
1.7.2. PLANO CORONAL.....	20
1.7.3. PLANO TRANSVERSAL.....	21
1.8. ANATOMÍA CEREBRAL.....	21
1.9. SISTEMA DE COORDENADAS.....	22
2. METODOLOGÍA.....	25
2.1. CARGAR IMÁGENES DICOM.....	25
2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PLANO INTERHEMISFÉRICO.....	27
2.2.1. CISURA INTERHEMIFÉRICA VISTA AXIAL.....	27
2.2.2. CISURA INTERHEMIFÉRICA VISTA CORONAL.....	30
2.3. IDENTIFICACIÓN DEL PLANO COMISURAL.....	31
2.3.1. LOCALIZACIÓN COMISURA POSTERIOR.....	34
2.3.2. LOCALIZACIÓN COMISURA ANTERIOR.....	34
2.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS LÍMITE.....	38
2.5. CONSTRUCCIÓN DE CUBO DE COORDENADAS TALAIRACH.....	43
3. RESULTADOS.....	46
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
BIBLIOGRAFÍA.....	53

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Máscaras para la detección de líneas.....	17
Figura 2 Representación gráfica de la transformada de Hough.....	18
Figura 3 Planos anatómicos en sus tres vistas.....	20
Figura 4 Cortes Coronal, Sagital y Axial.....	21
Figura 5 Localización de las coordenadas Talairach en un sistema de tres dimensiones.....	23
Figura 6 Ubicación línea CA-CP y planos VCA y VCP.....	24
Figura 7 Línea divisoria de los dos hemisferios.....	24
Figura 8 Esquema de la metodología.....	25
Figura 9 Estructura de una hipermatriz.....	26
Figura 10 Cargar imágenes.....	27
Figura 11 Bordes de la imagen con el algoritmo de Canny.....	28
Figura 12 Representación gráfica de $\rho$ y $\theta$ .....	29
Figura 13 División interhemisférica.....	29
Figura 14 Rotación.....	30
Figura 15 Cisura Interhemisférica vista Coronal.....	31
Figura 16 Ubicación de las comisuras.....	32
Figura 17 Imagen de un corte en el plano Sagital.....	32
Figura 18 Localización y segmentación de los ventrículos laterales en el plano Sagital.....	33
Figura 19 Localización de la comisura posterior.....	34
Figura 20 Ventrículos laterales vistos en el plano Coronal.....	35
Figura 21 Punto de referencia de la comisura anterior en el plano coronal.....	36
Figura 22 Comisura anterior.....	37
Figura 23 Línea CA-CP que pasa por las dos comisuras y describe el plano comisural.....	37
Figura 24 Líneas VCA y VCP que describen estos planos.....	38
Figura 25 Crecimiento de regiones para localizar puntos extremos.....	39
Figura 26 Contorno de la estructura cerebral para localizar puntos extremos....	39
Figura 27 Ubicación de los puntos extremos.....	40
Figura 28 Corte en el plano Coronal.....	41
Figura 29 Límite inferior de la corteza temporal vista Coronal.....	41
Figura 30 Puntos para determinar el ancho del cerebro.....	43
Figura 31 Rejilla de Talairach en un corte Sagital.....	44
Figura 32 Rejilla de Talairach en un corte Coronal.....	45
Figura 33 Cubo de coordenadas Talairach.....	46
Figura 34 Reconstrucción 3D de la estructura cerebral.....	46
Figura 35 Localización deficiente de la cisura interhemisférica.....	49
Figura 36 Mala ubicación de las comisuras.....	51
Figura 37 Zona de los ventrículos deformada.....	51

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Verificación de los puntos extremos.....	44
Tabla 2 Verificación de la ubicación de la cisura interhemisférica.....	45
Tabla 3 Verificación de la localización de la comisura anterior.....	46
Tabla 4 Verificación de la localización de la comisura posterior.....	46

TITULO: IDENTIFICACIÓN DE PATRONES ANATÓMICOS CEREBRALES DESCRIPTORES DE LAS COORDENADAS TALAIRACH A PARTIR DEL ESTUDIO DE IMÁGENES TOMOGRÁFICAS\*.

AUTORES: Andrés Eduardo Lineros Pinto.  
Ilmer José Granados Cuello\*\*.

PALABRAS CLAVE: Coordenadas Talairach, Matlab, Reconstrucción 3D, Transformada de Hough.

Se presenta el desarrollo de un sistema para la ubicación de forma automática de las Coordenadas Talairach a partir de las imágenes tomográficas obtenidas del equipo Toshiba Helicoidal Aquilón 32L. Se usaron como referencia las imágenes de 19 sujetos con Accidente Cerebro Vascular (ACV).

Se obtienen los planos Sagital, Coronal y Axial a partir del plano Axial procedente del tomógrafo y por interpolación se aumentan el número de imágenes por plano a 512; estas imágenes se almacenan en una hipermatriz. Luego se rota la hipermatriz en estos tres planos basados en la Cisura Interhemisférica para los planos Axial y Coronal, y en la posición de las comisuras anterior y posterior para el plano Sagital.

El plano Interhemisférico se localiza con ayuda de la transformada de Hough encontrándola a dos profundidades; los puntos comisurales se hallan basados en su cercanía con estructuras cerebrales como los ventrículos laterales y el tercer ventrículo. Los puntos que limitan el área del cerebro se localizan analizando imágenes de todos los planos. Finalmente se realiza la reconstrucción 3D de la estructura cerebral junto con el cubo de coordenadas Talairach.

El sistema se validó por asesores médicos mediante el análisis de la ubicación real de cada uno de los puntos necesarios para la construcción de las coordenadas Talairach y su comparación con el resultado arrojado por el sistema implementado. Para esto se creó una interfaz gráfica que permitía la navegación por las imágenes de cada uno de los planos, la visualización de los puntos hallados, la obtención de las coordenadas procedentes de seleccionar un punto de la imagen cerebral y la reconstrucción 3D del cerebro añadiendo el cubo de coordenadas Talairach.

---

\* Proyecto de Grado.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: MIE. Carlos Andrés Niño Niño. Codirector: PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno.

TITLE: IDENTIFICATION OF BRAIN ANATOMIC PATTERNS DESCRIPTORS OF TALAIRACH COORDINATES FROM THE STUDY OF TOMOGRAPHIC IMAGES\*.

AUTHORS: Andrés Eduardo Lineros Pinto.  
Ilmer José Granados Cuello\*\*.

KEYWORDS: Talairach Coordinates, Matlab, 3D Reconstruction, Hough Transform.

The development of a system for automatic location of Talairach Coordinates from the tomographic images is presented. Tomographic brain images from 19 stroke patients are used as reference, all of them obtained from the Toshiba Helicoidal Aquilión 32L.

Sagittal, Coronal and Axial planes are obtained from the Axial plane from the scanner and an interpolation process increases the number of images to 512 in each plane. Then these images are stored in a hypermatrix. The hypermatrix is rotated along these three planes based on the interhemispheric fissure for Axial and Coronal planes, and in the position of the anterior and posterior comissures for the Sagittal plane.

The interhemispheric plane is found with the help of the Hough transform finding it in two depths; the comissure points were found based in the proximity with brain structures as the lateral ventricles and the third ventricle. The points that limit the area of the brain are located by analyzing images of all the planes. Finally the 3D reconstruction of brain along with the Talairach hub coordinates was performed.

The system was validated by medical advisors through analysis of the real location of each of the points needed for the construction of the Talairach coordinates and compared with the results given by the implemented system. For this a graphical interface was created, allowing the navigation through the images of each plane, displaying the located points, displaying the coordinates from a selected image point and the 3D reconstruction of the brain with the cube of Talairach coordinates.

---

\* Degree Project.

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Advisor: MIE. Carlos Andrés Niño Niño. Coadvisor: PhD. Daniel Alfonso Sierra Bueno.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los procedimientos abarcan cada vez áreas de interés más pequeñas que requieren mayor detalle y un mejor aporte que solamente el visual. Hasta el momento los profesionales de la salud, y en este caso los dedicados al estudio, diagnóstico y tratamiento de la estructura cerebral solo contaban con imágenes planas por lo cual debían realizar deducciones mentales y suposiciones para trabajar sobre un sujeto.

La ubicación de las estructuras cerebrales se puede hacer a través de un atlas cerebral. Un atlas cerebral es una representación gráfica de la neuroanatomía del cerebro <sup>(1)</sup>. La utilidad de un atlas cerebral está en que por medio de él se puede recolectar información de los diferentes tejidos y órganos que pueden ser de interés para un especialista; además se pueden establecer relaciones espaciales de la estructura cerebral.

Uno de los atlas utilizados en neuroanatomía es el de Talairach y Tournoux (*Sistema de Coordenadas Talairach*). Este sistema ubica el cerebro en una rejilla (malla) en tres dimensiones, lo cual permite establecer la posición de estructuras específicas dentro del cerebro en función de la casilla o conjunto de casillas ocupadas <sup>(2)</sup>.

La implementación del sistema de coordenadas se realiza a partir de dos estructuras cerebrales principales: *la comisura anterior y la comisura posterior* <sup>(2)</sup> las cuales constituyen la referencia necesaria para determinar los planos ortogonales y paralelos característicos de este sistema. Además se deben encontrar los puntos que limitan la estructura cerebral en sus tres vistas (Axial, Sagital y Coronal) los cuales definen el cubo de coordenadas que posteriormente se subdivide en 12 secciones axiales, 11 en sentido coronal y 8 en sentido sagital. De este modo el total del volumen de la estructura cerebral se transforma en un conjunto de 1.056 casillas de Talairach, y las distintas regiones cerebrales quedan definidas en función de dichas casillas <sup>(3)</sup>.

En el presente trabajo de investigación se propone un método para la localización automática de los dos puntos comisurales y de los puntos límite que describen el sistema de coordenadas Talairach. Para este propósito se implementan técnicas de procesamiento digital imágenes sobre las imágenes *DICOM* en el plano axial que ofrece el tomógrafo. El algoritmo implementado también permite visualizar cortes en diferentes niveles, en el plano coronal y en el plano sagital, ubicados dentro de la rejilla característica del sistema coordinado; de igual manera permite observar la construcción del cubo de coordenadas que contienen todo el volumen de la estructura cerebral.

Adicionalmente se realiza la reconstrucción 3D de la estructura cerebral dentro del cubo de coordenadas Talairach, lo cual le permitirá al especialista una mejor visualización y ubicación más objetiva de estructuras específicas de la anatomía del cerebro, ya que cada estructura está ubicada en una casilla o casillas de la rejilla de coordenadas.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. REPRESENTACIÓN DIGITAL DE UNA IMAGEN

Una imagen se puede definir como una función bidimensional,  $f(x, y)$ , donde  $X$  e  $Y$  son coordenadas espaciales, y a la amplitud de  $f$  de cualquier par de coordenadas  $(X, Y)$  se le conoce como intensidad de la imagen en dicho punto. El término nivel de grises se usa normalmente para referirse a la intensidad de imágenes monocromáticas. Las imágenes a color están formadas por una combinación de imágenes 2D individuales. Por ejemplo, en el sistema de colores *RGB*, un color se constituye de tres componentes individuales de imágenes [Red(R), Green (G), Blue (B)]. Por esta razón, muchas técnicas desarrolladas para imágenes monocromáticas pueden extenderse a imágenes con color, procesando individualmente las imágenes que la componen.

Una imagen puede ser continua respecto a las coordenadas  $X$  e  $Y$ , así como su amplitud. Para convertir dicha imagen a su forma digital requiere que tanto las coordenadas como la amplitud sean digitalizadas. Digitalizar los valores de las coordenadas se llama muestreo, la digitalización de los valores de amplitud se llama cuantización<sup>(4)</sup>.

### 1.2. DICOM

*Digital Imaging and Communication in Medicine (DICOM)*, es el estándar reconocido mundialmente para el intercambio de imágenes médicas, pensando para el manejo, almacenamiento, impresión y transmisión de las mismas. Incluye la definición de un formato de fichero y de un protocolo de comunicación de red. El protocolo de comunicación entre sistemas. Los ficheros DICOM pueden intercambiarse entre dos entidades que tengan capacidad de recibir imágenes y datos de pacientes en formato DICOM.

DICOM permite la integración de escáneres, servidores, estaciones de trabajo, impresoras y hardware de red de múltiples proveedores dentro de un sistema de almacenamiento y comunicación de imágenes. Las diferentes máquinas, servidores y estaciones de trabajo tienen una declaración de conformidad DICOM (*conformance statements*) que establece claramente las clases DICOM que soportan<sup>(5)</sup>.

### **1.3. MEJORAMIENTO DE IMÁGENES**

Las técnicas para el mejoramiento digital de imágenes buscan adecuarlas para una determinada aplicación o posterior procesamiento que quiera hacerse con ésta. El uso de una u otra técnica depende del problema específico a resolver. Los métodos para el mejoramiento de imágenes pueden dividirse en dos campos: métodos para el mejoramiento espacial y métodos para el mejoramiento frecuencial. En el mejoramiento espacial se hacen manipulaciones directas sobre los píxeles de la imagen mientras que en el frecuencial se modifica la transformada de *Fourier* de la imagen.

#### **1.3.1. FRECUENCIA ESPACIAL**

La magnitud de cambios en el nivel de gris que se da en una determinada zona de la imagen está definida por la frecuencia espacial, las zonas como los bordes que presentan grandes cambios o rápidas transiciones se conocen como áreas de altas frecuencias, mientras que las que muestran transiciones graduales son definidas como áreas de bajas frecuencias. Basados en esto los filtros espaciales pueden dividirse en tres categorías principales: *Filtros pasabajas*, *Filtros pasaaltas* y *Filtros detectores de bordes*<sup>(6)</sup>.

#### **1.3.2. TÉCNICAS DE FILTRADO**

##### **1.3.2.1. FILTRO PASABAJAS**

Se puede decir que al aplicar un filtro pasabajas sobre una imagen se busca atenuar detalles irrelevantes de la misma. Una de las técnicas usadas para

realizar este tipo de filtrado es promediar todos los píxeles contenidos en el vecindario de la máscara utilizada.

Si bien es cierto que el uso más común de estos filtros es el de atenuación, también se puede utilizar este tipo de filtro para suavizar los falsos contornos producidos por la cuantización con un número insuficiente de niveles de gris. Además se pueden utilizar estos filtros para la atenuación de ruido.

El procedimiento básico para realizar este tipo de filtrado es reemplazar el valor de cada píxel en una imagen por el promedio de los niveles de grises del vecindario definido por la máscara.

Cuanto más grande es el tamaño de la máscara utilizada, mayor será el borronado en la imagen, con lo cual se logra que los objetos dentro de la imagen con niveles de grises similares, se confundan y así poder eliminar las partes no deseadas de la misma <sup>(6)</sup>.

La forma general de implementar un filtro pasabajos con máscaras promediadas es la siguiente:

$$\frac{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b f(x+i, y+j) * h(i, j)}{\sum_{i=-a}^a \sum_{j=-b}^b h(i, j)}$$

### 1.3.2.2. FILTRO PASALTOS

Producen el efecto contrario a los pasabajos, se orientan a acentuar las altas frecuencias y de esta manera, de forma general, mejorar los límites de la imagen.

Para este tipo de filtrado se hace uso de la diferenciación, ya que fundamentalmente la magnitud de la aplicación del operador derivada es proporcional al grado de discontinuidad presentado en cada punto donde es aplicado este operador. De esta manera la diferenciación de una imagen realza los bordes y atenúa áreas donde el nivel de gris varía gradualmente.

Los filtros pasaltos se basan en el uso de la primera y segunda derivada y deben cumplir con las siguientes condiciones en cualquiera de los casos.

Para la primera derivada:

- Debe ser cero en las zonas con nivel de gris constante.
- Distinta de cero a un cambio escalón o rampa en el nivel de gris.
- Distinta de cero en toda la zona con un cambio de tipo rampa.

Para la segunda derivada:

- Cero en zonas con nivel de gris constante.
- Distinta de cero al principio o al final de un cambio del tipo rampa o escalón en el nivel de gris.
- Cero en toda la zona con cambio del tipo rampa y pendiente constante.

#### 1.4. DETECCIÓN DE LÍNEAS

El uso de máscaras como las presentadas en la Figura 1, al ser aplicadas con cada uno de los pixeles de la imagen presenta diferentes respuestas de acuerdo a la orientación de líneas del ancho de un pixel. Si la línea se encuentra orientada de forma horizontal, vertical, a  $45^\circ$  o a  $-45^\circ$  responderá mejor a cada una de las máscaras descritas en el mismo orden.

**Figura 1.** Máscaras para la detección de líneas.

VERTICAL	HORIZONTAL	$45^\circ$	$-45^\circ$
-1	-1	-1	2
2	2	2	-1
-1	-1	-1	2

Fuente: (7)

## 1.5. TRANSFORMADA DE HOUGH

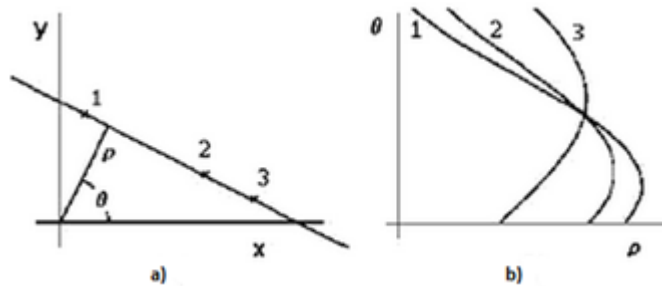
La transformada de Hough es una técnica utilizada para aislar características de forma particular dentro de una imagen. La idea básica es encontrar curvas que puedan ser parametrizadas como líneas rectas, polinomios y círculos.

Se puede analíticamente describir un segmento de línea en varias formas. Sin embargo una ecuación conveniente para describir un conjunto de líneas es la notación paramétrica o normal, este comportamiento está descrito por la siguiente ecuación <sup>(7)</sup>

$$\rho = x \cos\theta + y \sin\theta$$

donde *rho* es la longitud desde el origen hasta la línea y *theta* es el ángulo de rho con respecto al eje X, Ver Figura 2.

**Figura 2.** Representación gráfica de la transformada de Hough. a) Espacio Cartesiano, b) Espacio Paramétrico.



, Fuente: (7)

## 1.6. TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA

La Tomografía Axial Computarizada (TAC) es una modalidad de imagen médica que produce imágenes donde se puede observar el interior del cuerpo humano, a

través de cortes transversales al eje céfalo-caudal (cortes transaxiales) <sup>(8)</sup>, de hecho tomografía proviene del griego thomos que significa rebanada.

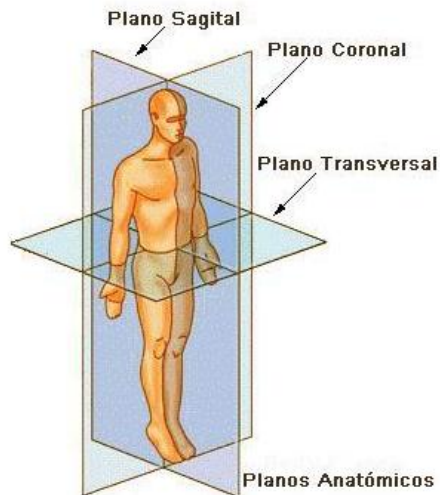
Si se compara con la radiografía convencional, que es una imagen de muchos planos superpuestos, la imagen obtenida por tomografía axial computarizada muestra una mejora significativa en el contraste de los tejidos que componen la estructura del cuerpo humano. Una imagen tomográfica es reconstruida matemáticamente a partir de un gran número de proyecciones en una dimensión del plano elegido. Estas proyecciones son adquiridas electrónicamente utilizando un arreglo de detectores de estado sólido y una fuente de rayos X que gira alrededor de un sujeto.

La tomografía axial computarizada se usa rutinariamente en exámenes radiológicos para diagnóstico y en aplicaciones especiales como planeación de tratamiento en radioterapia o en imagenología tridimensional para planeación quirúrgica.

### **1.7. PLANOS ANATÓMICOS**

Son superficies imaginarias que dividen al cuerpo en secciones para la descripción y ubicación de sus componentes <sup>(9)</sup>, (Ver Figura 3).

**Figura 3.** Planos anatómicos en sus 3 vistas.



Fuente: (9)

### **1.7.1. PLANO SAGITAL**

El plano sagital se llama así por la sutura sagital, que es una articulación fibrosa tipo sutura en la línea media del cráneo. También conocido plano sagital medio, divide el cuerpo en mitades derecha e izquierda. Planos paralelos pero que no pasan por la línea media son denominados parasagitales.

### **1.7.2. PLANO CORONAL**

El plano coronal, también llamado plano frontal, es cualquier plano que pase a través del cuerpo paralelo a la sutura coronal del cráneo, dividiendo el cuerpo en una porción anterior y otra posterior. Los planos coronales son por lo tanto, perpendiculares al plano sagital y pasan a través de la longitud del cuerpo

### 1.7.3. PLANO TRANSVERSAL

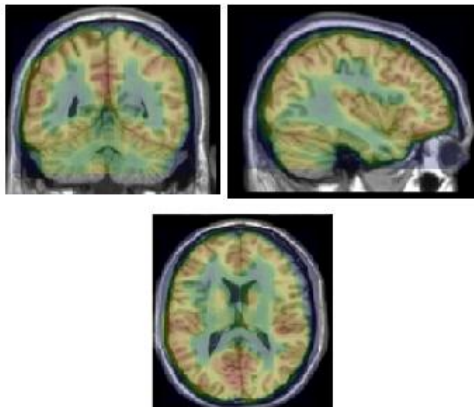
Los planos transversales son perpendiculares a ambos planos, sagital y coronal. Pasan por el ancho del cuerpo en dirección horizontal o dirección transversal, similar a las rebanadas de una hogaza de pan. Los planos transversales dividen al cuerpo en una sección superior y otra inferior y también son denominados plano horizontal, axial o secciones transversales.

### 1.8. ANATOMÍA CEREBRAL

Dentro de los sistemas que buscan dar una descripción adecuada de la anatomía cerebral se encuentra la técnica de Talairach, la cual describe una serie de mapas cerebrales dentro de un sistema de coordenadas dependientes de dos puntos anatómicos de origen: *La comisura anterior y la comisura posterior*.

Para tener una percepción de los planos anatómicos que forman las vistas del cerebro humano, en las Figura. 4 se muestra de forma gráfica los tres planos principales que conforman la topología del cerebro <sup>(10)</sup>.

**Figura 4.** Corte axial, corte sagital, corte coronal.



Fuente: (11)

## 1.9. SISTEMA DE COORDENADAS

En el sistema de coordenadas de Talairach existen una serie de puntos que determinan unos planos que forman el sistema, y son los siguientes<sup>(12)</sup> :

- Plano horizontal que se determina por la línea CA-CP donde CA es la Comisura Anterior y CP es la Comisura Posterior.
- Plano vertical. La línea VCA es una línea tangencial al margen posterior de la Comisura Anterior y define este plano.
- La línea VCP es una línea vertical tangencial al margen anterior de la Comisura Posterior.
- La línea media en el plano interhemisférico sagital es la base para las medidas en los desplazamientos laterales y viene determinada por la comisura interhemisférica.

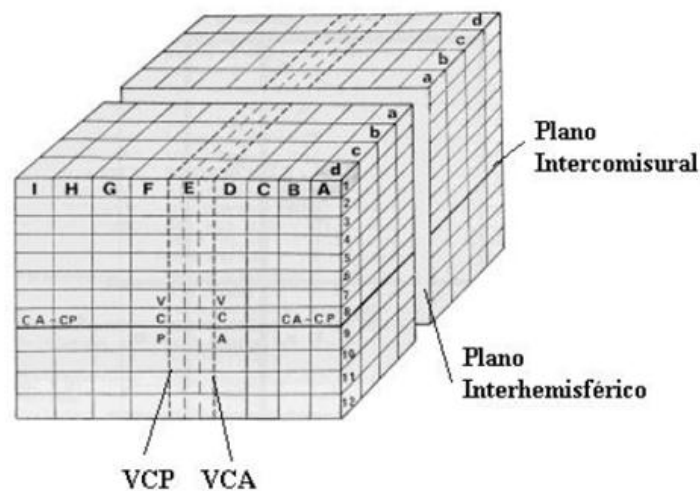
El origen de coordenadas está localizado en el punto de intersección de los 3 planos.

Para establecer una subdivisión adecuada en el sistema tridimensional se utiliza la siguiente técnica: El sistema se establece de acuerdo a las dimensiones máximas del cerebro en los tres planos del espacio. Concretamente, la denominación técnica de los puntos que determinan este volumen es la siguiente:

- El punto más alto de la corteza parietal.
- El punto más posterior de la corteza occipital.
- El punto más inferior de la corteza temporal.
- El punto más anterior de la corteza frontal.
- El punto más lateral de la corteza parieto-temporal.

En la Figura 5, se muestra el sistema de coordenadas de Talairach, y las divisiones que en ella aparecen son las siguientes: El volumen total se divide horizontalmente, encima de la línea CA-CP en ocho partes numeradas del 1 al 8. Debajo de la línea en cuatro partes, numeradas de 9 a 12. Verticalmente, anterior a la línea VCA en cuatro partes, numeradas de D a A. Posteriormente a la línea VCP en cuatro partes, numeradas de F a I. El espacio entre las líneas VCA y VCP se divide en tres partes para una localización más exacta de las estructuras centrales, parte central identificada como E.

**Figura 5.** Localización de las coordenadas Talairach en un sistema de 3 dimensiones.

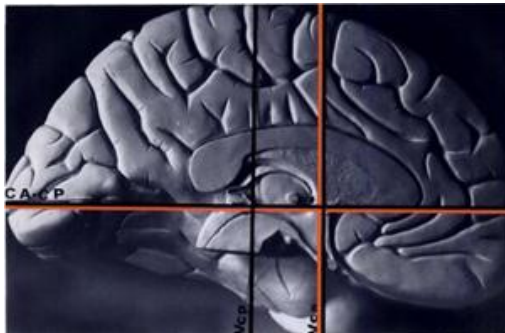


Fuente: (10)

Para ubicar la comisura anterior y la comisura posterior se debe realizar un corte sagital en la división de los 2 hemisferios cerebrales, donde se podrá observar los 2 puntos que demarcan las coordenadas iniciales del sistema.

En la Figura 6, se muestra la localización de los Puntos de referencia antes mencionados así como los planos que forman.

**Figura 6.** Ubicación Línea CA-CP, y planos VCA y VCP.



Fuente: (2)

Luego de definir la línea divisoria de los dos hemisferios(izquierdo y derecho) como se observa en la Figura 7 se obtiene el corte sagital de esta sección, corte de donde se procede a localizar los dos puntos comisurales. Una vez ubicada la parte posterior de la comisura anterior (línea vertical comisura anterior VCA) y la parte anterior de la comisura anterior (línea vertical comisura anterior VCP), se marcan 2 líneas perpendiculares a la recta que los une, como se indica en la Figura 6.

**Figura 7.** Línea divisoria de los dos hemisferios.



Fuente: (10)

## 2. METODOLOGÍA

Para determinar los puntos característicos de las coordenadas Talairach, se sigue el esquema presentado en la (Ver Figura 8).

**Figura 8.** Esquema Metodología.

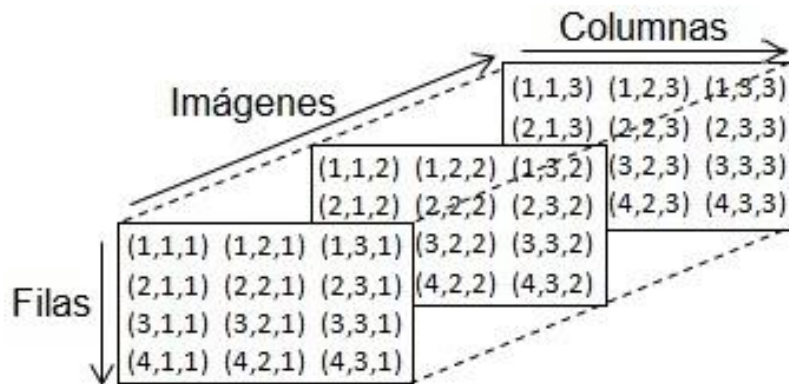


Fuente: Autores

### 2.1. CARGAR IMÁGENES DICOM

Para el almacenamiento de las imágenes se hace uso de una hipermatriz; dicha hipermatriz se define mediante tres dimensiones: el número de filas y el número de columnas de las imágenes corresponden respectivamente al largo y ancho de cada matriz, definiendo de esta manera las dos primeras dimensiones, la tercera dimensión hace referencia al número de tomografías con las que se cuenta para cada sujeto.

**Figura 9.** Estructura de una Hipermatriz.



Fuente: Mathworks

En primer lugar se determina la cantidad de archivos con formato Dicom (.*dcm*) dentro de la carpeta de imágenes del sujeto, de esta forma se tiene el número de tomografías. Para poder acceder a cada tomografía se hace necesario dividir la ruta de acceso y el nombre de cada imagen en dos partes, la primera parte corresponde a la ruta y la parte inicial del nombre del archivo, la segunda parte serán los últimos tres caracteres del nombre del archivo pues estos indican el número de la imagen que pueden ponerse a variar.

Para almacenar las imágenes desde la 1 hasta la 9 varía la última cifra, desde la 10 hasta la 99 varían las dos últimas cifras del nombre del archivo y para almacenar desde la 100 hasta la 999 se toman las tres últimas cifras. Se usa un ciclo *for* para la variación de las cifras en cada una de las tres etapas, el último ciclo *for* se detiene cuando se llega al final de imágenes contenidas en la carpeta. (Ver Figura 10).

**Figura 10.** Cargar imágenes.

C:\paciente\lm00001.dcm

C:\paciente\lm00010.dcm

C:\paciente\lm00100.dcm

Fuente: Autores

## **2.2. IDENTIFICACIÓN DEL PLANO INTERHEMISFÉRICO**

Para la identificación de este plano se deben conocer la cisura interhemisférica en la vista axial y en la vista coronal, lo cual da como resultado 2 líneas perpendiculares entre sí, que proyectadas forman el plano interhemisférico.

### **2.2.1. CISURA INTERHEMISFÉRICA VISTA AXIAL**

Para la detección de la Cisura Interhemisférica se hace uso de la Transformada de Hough, ésta a su vez es usada para calcular el ángulo de rotación axial. Como se explicará más adelante, este ángulo es necesario debido a que el sujeto puede no encontrarse con la cabeza correctamente ubicada y alineada en los tres planos(axial, coronal y sagital) y corrigiéndolo se logra solucionar una de estas tres desviaciones. La Cisura Interhemisférica juega un papel de gran importancia, ya que no solo hace parte del Sistema de Coordenadas de Talairach y sirve como referencia para determinar la rotación en sentido axial, como se mencionó anteriormente, sino que también será usada para determinar el ángulo de rotación coronal.

Para ahorrar tiempo de ejecución se hace un barrido de las imágenes de la parte superior del cerebro comenzando desde la que está más cercana al centro y

desplazándose hacia arriba, ya que es allí donde se observa con claridad esta cisura, a fin de encontrar la línea de mayor tamaño que se localice en la parte central de la tomografía. Cuando se cumplan los requisitos de tamaño y ubicación se detiene el barrido.

El primer paso que debe hacerse es el de preparar la imagen para poder realizar la Transformada de Hough, este primer paso consiste en eliminar las dos zonas de la imagen en las que se observa el soporte de la camilla del tomógrafo y detectar los bordes, para detectar los bordes se usa el algoritmo de Canny, (Ver Figura 11).

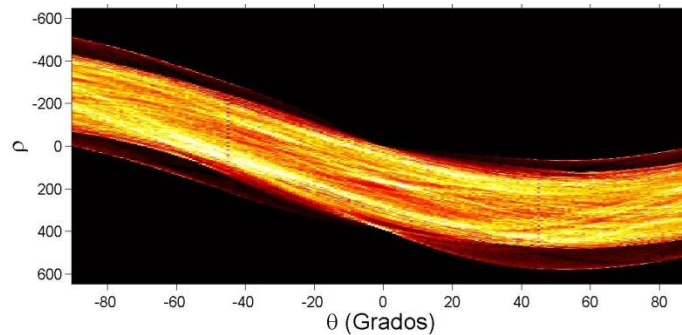
**Figura 11.** Bordes de la imagen con el algoritmo de Canny.



Fuente: Autores

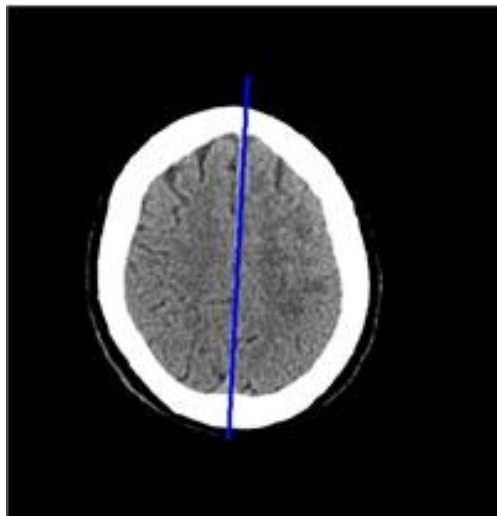
Luego de preparar la imagen se aplica la Transformada de Hough, pueden usarse uno o varios picos de la matriz H pero para este caso se usará solo uno puesto que la Cisura Interhemisférica es la mayor línea recta que puede observarse, esta matriz H nos permite relacionar el número de veces en las que una misma línea recta pasa por cada pixel de la imagen, de esta forma el primer pico hace referencia a la línea de mayor longitud y más representativa. En la Figura 12 las zonas blancas representan los picos de la transformada de Hough. A partir de este análisis la línea obtenida se observa en la Figura 13.

**Figura 12.** Representación gráfica de  $\rho$  y  $\theta$ .



Fuente: Autores

**Figura 13.** División Interhemisférica.

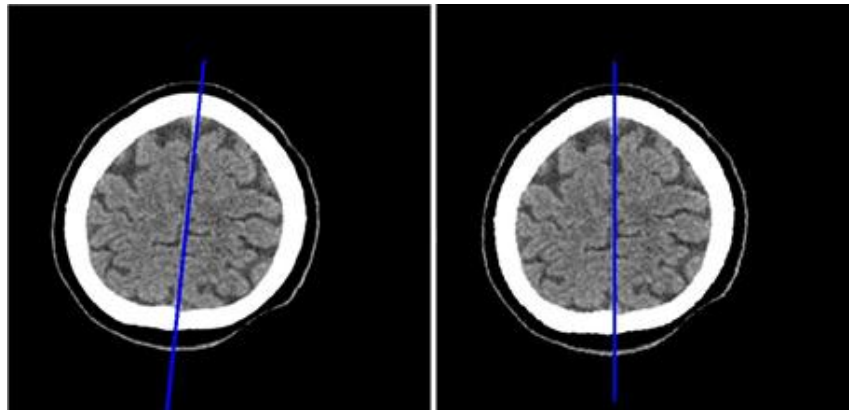


Fuente: Autores

De la Figura 13 puede observarse uno de los grados de inclinación que debe corregirse, el ángulo que representa la desviación en el plano axial se determina a partir de dos puntos sobre la línea recta. Por la forma en la que se acomoda el sujeto en la camilla del tomógrafo pueden darse dos condiciones: En el primer caso la línea puede tener un ángulo, referenciado a una línea horizontal, menor a  $90^\circ$ ; alternativamente el ángulo podrá estar entre  $90^\circ$  y  $180^\circ$ , pues para que ese

ángulo se diera el sujeto debería estar acostado sobre un lado de su cuerpo. Con estas dos consideraciones, se procede a calcular dicho ángulo para dar rotación a las imágenes. Una imagen rotada y su comparación con la original dada por el tomógrafo se muestran en la Figura 14.

**Figura 14.** Rotación.



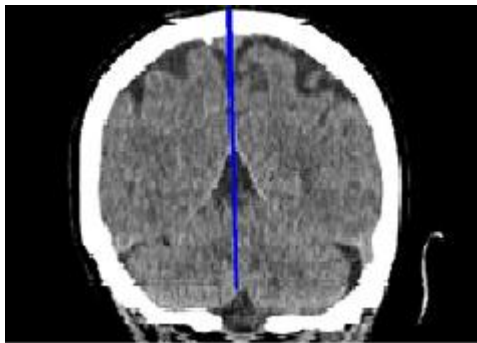
Fuente: Autores

### **2.2.2. CISURA INTERHEMISFÉRICA VISTA CORONAL**

El ángulo de rotación en el plano coronal se establece de forma similar al encontrado en la cisura interhemisférica vista axial. Se hace un barrido desde la parte superior del cerebro hacia la parte inferior hasta encontrar la primer línea cuya posición y tamaño permitan decir que se trata de la Cisura Interhemisférica, para esto deben tomarse un mayor número de picos de la Transformada de Hough, esto debido a que las líneas que se encuentran en esas imágenes son de menor tamaño y pueden confundirse con otras líneas obtenidas por la Transformada de Hough. Al tener varios picos se tienen también varias líneas rectas en una misma imagen y se hace necesario hacer el barrido tanto por imágenes como por las líneas que se obtienen a partir de cada imagen. Luego de encontrar esa última línea se tienen dos líneas rectas que representan la Cisura

Interhemisférica a diferentes profundidades, lo más separadas posible. Se toman dos puntos de cada línea para determinar la ecuación de la recta que las representa, con esta ecuación se encuentra un punto de la línea ubicado a igual distancia en el eje de coordenadas Y (filas de la matriz) para ambas líneas, la unión de dichos puntos vistos desde el plano coronal representa la Cisura Interhemisférica en ese plano, (Ver Figura 15).

**Figura 15.** Cisura Interhemisférica Vista Coronal.

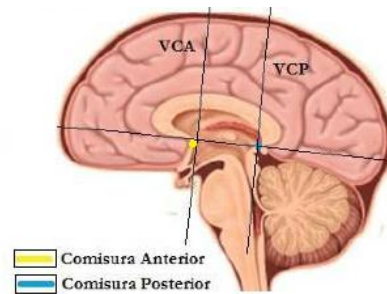


Fuente: Autores

### **2.3. IDENTIFICACIÓN DEL PLANO COMISURAL**

El plano comisural es un plano perpendicular al plano interhemisférico demarcado por una línea que pasa por las comisuras anterior y posterior (*CA-CP*) presentadas en la Figura 16 por esto se hace necesario encontrar las dos estructuras anteriormente mencionadas las cuales se ubican en el plano sagital (Ver Figura 17).

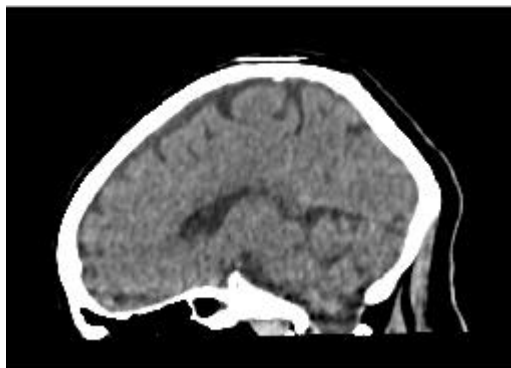
**Figura 16.** Ubicación de las Comisuras.



Fuente: (10)

Para encontrar el plano sagital y el plano coronal se debe hacer una proyección en los diferentes ejes de coordenadas de las imágenes *DICOM* del corte axial que ofrece el tomógrafo. Luego se debe realizar una interpolación para encontrar los niveles intermedios de grises que aportarán la información para tener la cantidad de cortes necesarios para la ubicación de las estructuras que describen el sistema de Coordenadas Talairach.

**Figura 17.** Imagen de un corte en el plano sagital.



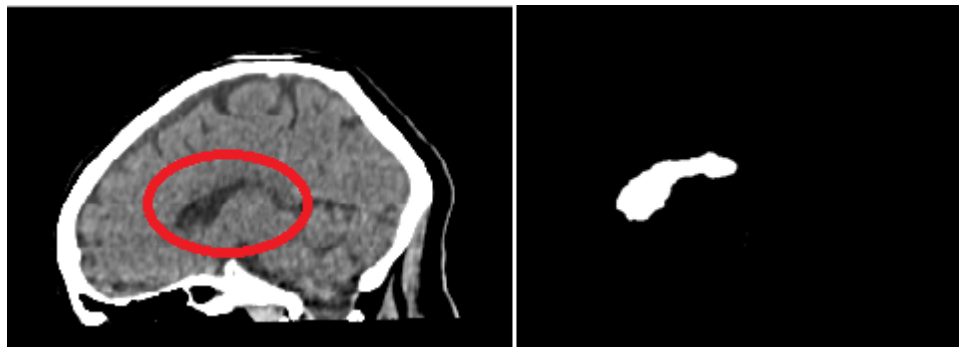
Fuente: Autores

Dadas las diferencias anatómicas distintivas de cada individuo se debe procesar un rango de imágenes amplio para encontrar las estructuras, ya que la ubicación de estas cambia de un sujeto a otro.

Lo primero que se debe hacer es un pre-procesado (filtrado) de la imagen para eliminar los efectos de ruido y de inhomogeneidad, este proceso permitirá el reconocimiento de los puntos CA (comisura anterior) y CP (comisura posterior).

La comisura posterior se ubica posterior a la porción más superior del acueducto cerebral (12). Por su parte, la comisura anterior se encuentra en la separación de los ventrículos laterales y el tercer ventrículo, por lo cual se hace indispensable segmentar la imagen para separar los ventrículos en un corte sagital del resto de la misma. Para lograr este propósito se utilizó la técnica de crecimiento de regiones (*RegionGrowing*) teniendo en cuenta que la semilla de crecimiento será el nivel de intensidad gris de la zona más oscura perteneciente a dicha estructura. Dada la resolución que brindan las imágenes tomográficas, los niveles de intensidad cercanos a los niveles pertenecientes a los ventrículos pueden encontrarse en otras zonas de la imagen, pero pueden descartarse teniendo en cuenta la ubicación típica de la estructura de interés, (Ver Figura 18).

**Figura 18.** Localización y segmentación de los ventrículos laterales en el plano sagital.

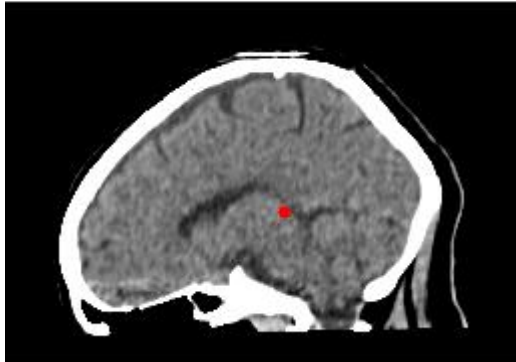


Fuente: Autores

### 2.3.1. LOCALIZACIÓN COMISURA POSTERIOR

Ubicados y segmentados los ventrículos laterales en el plano sagital, se procede a encontrar el punto inferior de la parte posterior de la misma que sirve como referencia para localizar la comisura posterior (CP) <sup>(2)</sup>. Para este efecto se recorre el contorno de la imagen (ventrículos laterales) hasta encontrar los puntos extremos y se demarca el siguiente pixel, (Ver Figura 19).

**Figura 19.** Localización CP.

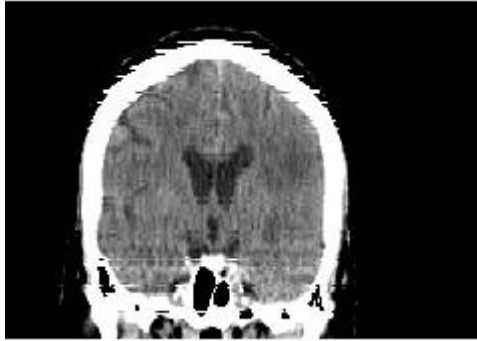


Fuente: Autores

### 2.3.2. LOCALIZACIÓN COMISURA ANTERIOR

Para la ubicación de este punto es necesario localizar los ventrículos laterales, y el tercer ventrículo estructuras cerebrales que se pueden apreciar en el plano coronal, (Ver Figura 20).

**Figura 20.** Ventrículos vistos en el plano coronal.



Fuente: Autores

Para ahorrar tiempo de procesamiento se deben encontrar los cortes a partir de los cuales esta estructura se hace visible, esto se consigue encontrando el punto más exterior (recorriendo la imagen de izquierda a derecha) de los ventrículos laterales y realizando los cortes en el plano coronal a partir de ese punto.

Luego de encontrar todas las imágenes donde los ventrículos se hacen visibles, se realiza sobre estas un pre-procesado con el fin de separar las estructuras cerebrales (ventrículos) de las demás, siguiendo el mismo procedimiento utilizado anteriormente en la segmentación de los ventrículos en el plano sagital.

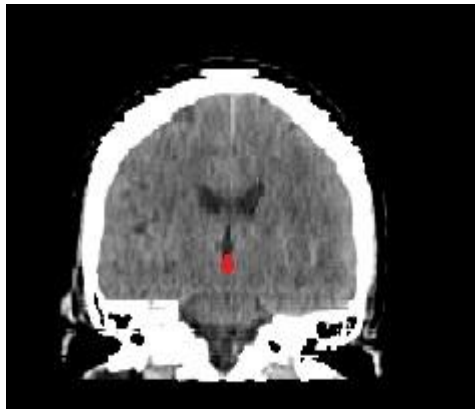
Aunque la zona de los ventrículos tiene un nivel de intensidad que los diferencia de otras estructuras, se debe tener en cuenta que pueden encontrarse regiones con este mismo nivel de intensidad y que no hacen parte de los ventrículos.

Para segmentar los ventrículos se utiliza el siguiente procedimiento:

- Se realiza un barrido por la imagen coronal que se obtiene a partir del punto de referencia (Punto Izquierdo de los ventrículos laterales en el plano sagital).

- Se binariza la imagen, haciendo que las zonas con las intensidades correspondientes al área de los ventrículos tome el valor de 1, y las que no cumplan con este criterio tomen el valor de 0.
- Luego de la binarización se obtiene el área de los ventrículos, además se obtienen otras áreas de menor tamaño con las mismas características de intensidad de los ventrículos. Estas áreas pueden descartarse teniendo en cuenta además del tamaño, la ubicación de las mismas, ya que los ventrículos están localizados en la zona central del cerebro <sup>(2)</sup>.

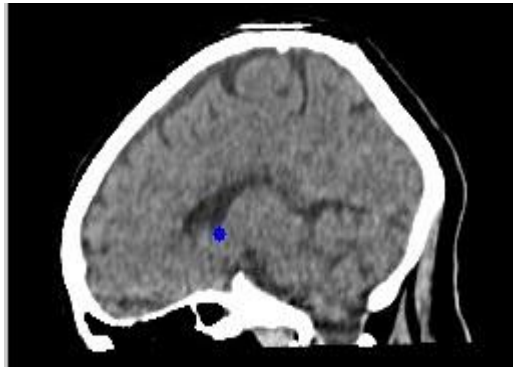
**Figura 21.** Punto de referencia de la CA plano Coronal.



Fuente: Autores

El punto inferior del tercer ventrículo (Ver figura 21) se determina almacenando las coordenadas del punto inferior de cada una de las imágenes en un vector y seleccionando de éste el punto cuya coordenada en Y sea mayor, luego este punto es proyectado al plano sagital, buscando sobre los ventrículos laterales esta misma coordenada, se marca el pixel siguiente el cual ubica la CA <sup>(12)</sup>, (Ver Figura 22).

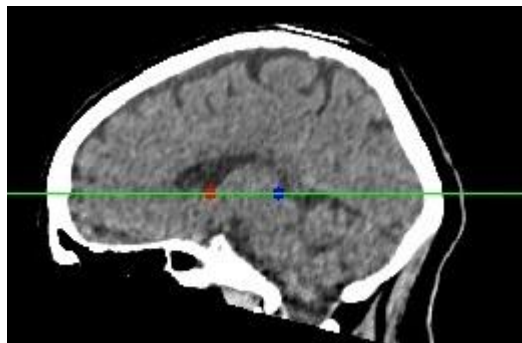
**Figura 22.** Comisura Anterior.



Fuente: Autores

Luego de tener ubicados CA y CP se encuentra la inclinación de la imagen respecto al eje horizontal, con esto se busca tener las imágenes en los 3 planos paralelas a cada uno de los ejes coordenados (X, Y, Z). Luego de hallar este ángulo de inclinación y de rotar la imagen se traza el plano (CA-CP) descrito por estas 2 estructuras y que es perpendicular al plano interhemisférico y paralelo al eje X, (Ver Figura 23).

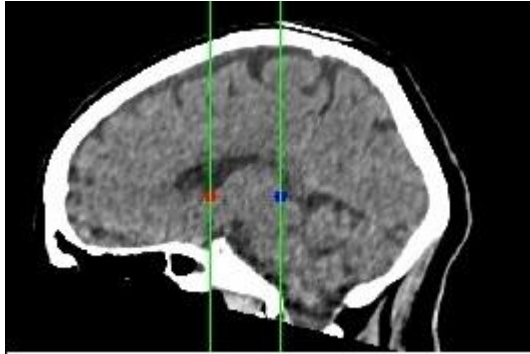
**Figura 23.** Línea CA-CP que pasa por las dos comisuras y describe el plano comisural.



Fuente: Autores

Además del plano comisural y el plano interhemisférico se deben trazar los planos que pasan por cada comisura y que son perpendiculares a los planos anteriores y paralelos entre sí, (Ver Figura 24).

**Figura 24.** Líneas VCA y VCP que describen estos planos.



Fuente: Autores

## 2.4. IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS LÍMITE

Para ubicar el volumen total de la estructura cerebral dentro de la rejilla descrita por las Coordenadas Talairach se deben encontrar los puntos extremos de la estructura<sup>(2)</sup>:

- Punto más anterior de la corteza frontal.
- Punto más posterior de la corteza occipital.
- Punto más alto de la corteza Parietal.
- Punto más inferior de la corteza Temporal.

Para ubicarlos se debe realizar una segmentación de toda la corteza cerebral, para lo cual se utiliza la técnica de crecimiento de regiones tomando como semilla inicial el valor del pixel de mayor intensidad que describa el área a segmentar.

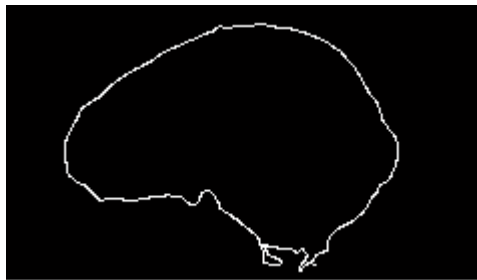
También se debe encontrar el contorno del resultado de la segmentación, para tener una mayor fiabilidad en la ubicación de los puntos de interés, (ver Figura 26).

**Figura 25.** Crecimiento de regiones para localizar puntos extremos.



Fuente: Autores

**Figura 26.** Contorno de la estructura cerebral para la localización de los puntos extremos.

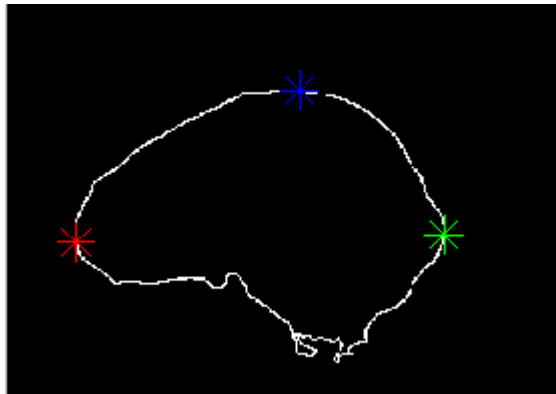


Fuente: Autores

Luego de tener el contorno de la corteza cerebral el punto más anterior de la corteza frontal se encuentra recorriendo el perímetro y marcando el punto más a la izquierda de la imagen que corresponde al pixel en la menor posición de la coordenada X, de igual manera para encontrar el punto más posterior de la corteza occipital se marcará el punto más a la derecha en la imagen el cual corresponde al pixel en la mayor posición de la coordenada X. El punto más alto

de la corteza Parietal se localiza ubicando el pixel en la menor posición de la coordenada Y, (Ver Figura 27).

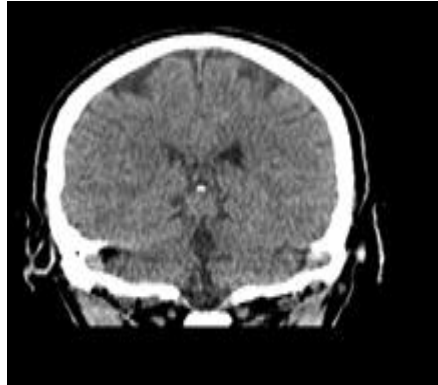
**Figura 27.** Ubicación puntos extremos.



Fuente: Autores

Los puntos anteriores se encontraron sobre la vista sagital ya que permite una mejor ubicación de los mismos, pero para la localización del punto más inferior de la corteza Temporal es necesario encontrar el punto más inferior de la estructura cerebral en la vista coronal. El procedimiento necesario para la segmentación de la estructura cerebral es el mismo realizado en la vista sagital para la localización de los demás puntos característicos. Luego de tener las coordenadas de este punto, (ver Figura 29), se traslada a la vista sagital para tener todos los cuatro puntos límites que caracterizan las Coordenadas Talairach en esta vista.

**Figura 28.** Corte en el plano coronal.



Fuente: Autores

**Figura 29.** Límite inferior de la corteza Temporal vista Coronal



. Fuente: Autores

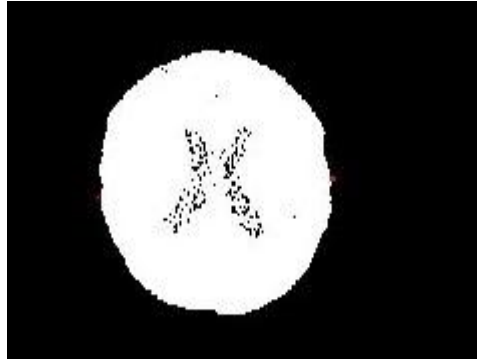
Además de los puntos anteriormente mencionados, se deben calcular los puntos que dan el ancho del cerebro. Para determinar estos puntos se procede a analizar una serie de imágenes a diferentes niveles, con el propósito de obtener de ese conjunto de imágenes el punto con la menor coordenada en el eje X (punto Parieto-Temporal izquierdo) y el punto con la mayor coordenada en X (punto Parieto-Temporal derecho). Estos puntos extremos que indican la finalización del área cerebral se determinan luego de rotar las imágenes en los tres planos, de no hacerse así se obtendrían lecturas erróneas a causa de la inclinación de la cabeza del sujeto.

El primer paso para encontrar la localización de estos extremos consiste en separar la región del cerebro del resto de la imagen, la zona ósea tiene intensidades con valores positivos muy superiores al resto de la imagen, la zona exterior de la tomografía donde no se encuentra la cabeza del sujeto tiene valores de intensidad negativos, y la zona del cerebro toma valores de intensidad que se diferencian de la intensidad que se presenta en la estructura ósea, es por esta razón que pueden diferenciarse con facilidad tres grandes zonas dentro de la tomografía, de la cual se necesita solo la correspondiente al nivel de intensidad que caracteriza la estructura cerebral.

Sabiendo que existe esta diferencia de intensidad se procede a hacer un barrido por la imagen binarizándola, la zona de interés tomará el valor 1 y el resto de zonas, la de las estructuras óseas y la externa a la cabeza, tomará el valor 0, dentro de este rango quedan también pequeñas zonas alrededor del cráneo por lo tanto es necesario eliminarlas antes de continuar con el procedimiento. Se procede a hacer un conteo de las diferentes áreas con valor 1, de éstas se selecciona el área con el mayor número de píxeles y sus coordenadas, el resto de áreas toman el valor de 0, de esta forma queda totalmente diferenciada la región a analizar.

Para finalizar se encuentran los puntos anteriormente mencionados, se toman un rango de imágenes a partir de la imagen central y se analizan de igual forma imágenes hacia arriba y hacia debajo de ésta, los valores de los puntos se guardan en un vector para luego de este vector seleccionar la mayor y la menor coordenada en X con sus respectivos valores de coordenada en Y. Estos dos puntos serán los extremos y se muestran en la Figura 30.

**Figura 30.** Puntos para determinar el ancho del cerebro.



Fuente: Autores

## **2.5. CONSTRUCCIÓN DEL CUBO DE COORDENADAS TALAIRACH**

Luego de definir los puntos característicos en los distintos planos, se define una rejilla que contiene todo el volumen cerebral, y en la cual estarían representadas diferentes zonas con la posición que indican el sistema de Coordenadas Cartesianas Talairach. La construcción de la rejilla se hace llevando a cabo las siguientes indicaciones:

### **✓ *Vista en el Plano Sagital***

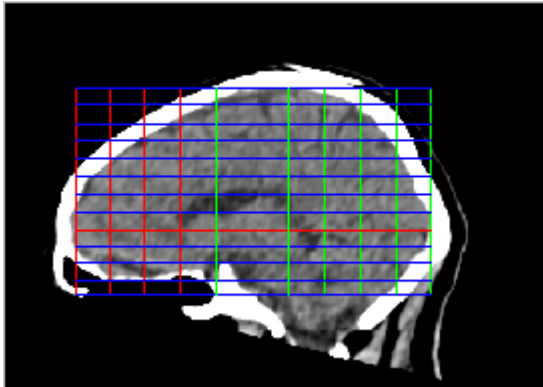
Líneas Verticales:

- Desde la línea de comisura VCA hasta el punto más anterior de la corteza frontal del cerebro se demarcan cuatro zonas de igual tamaño.
- Desde la línea de comisura VCP hasta el punto más posterior de la corteza occipital de cerebro se delimitan cuatro zonas de igual tamaño.
- Entre las líneas comisurales VCA y VCP se definen tres zonas de igual tamaño<sup>(10)</sup>.

Líneas Horizontales:

- De la línea horizontal que pasa por las 2 comisuras CA-CP se trazan líneas paralelas equidistantes hasta el punto más alto de la corteza parietal de la estructura cerebral, las cuales dividirán el cerebro en ocho zonas.
- De la línea horizontal que pasa por las 2 comisuras CA-CP se trazan líneas paralelas equidistantes hasta el punto más inferior de la corteza temporal del cerebro, las cuales dividirán el mismo en cuatro zonas de igual tamaño <sup>(10)</sup> (Ver Figura 31).

**Figura 31.** Rejilla de Talairach en un corte Sagital.



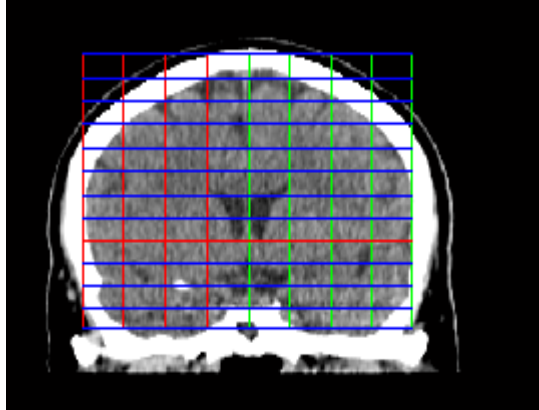
Fuente: Autores

✓ ***Vista en el Plano Coronal***

Líneas Verticales:

- Desde la línea media del cerebro se hace la división en 4 zonas equidistantes hasta los puntos más laterales en ambos lados del cerebro <sup>(10)</sup> (Ver Figura 32).

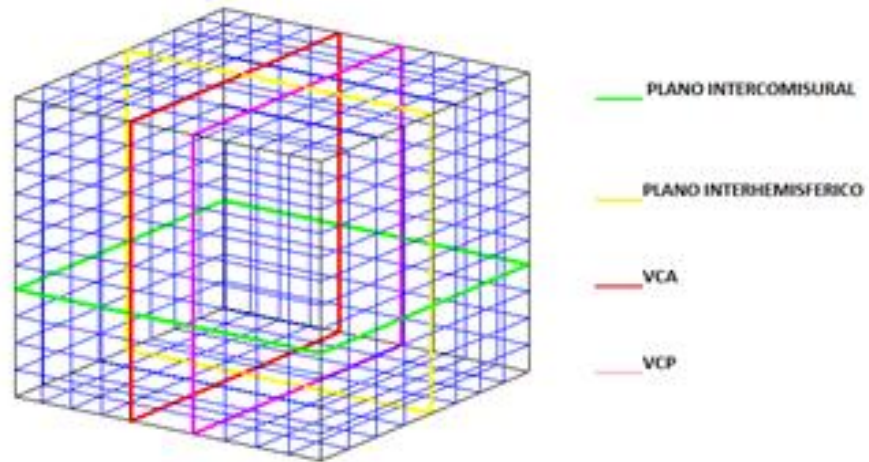
**Figura 32.** Rejilla de Talairach en un corte Coronal.



Fuente: Autores

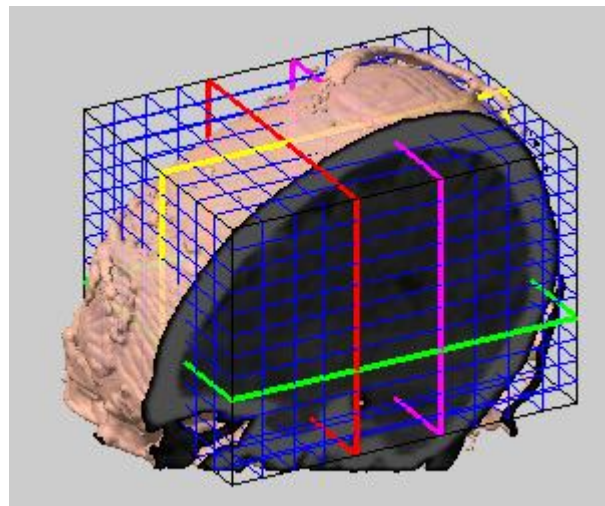
La ventaja que se tiene al trabajar con el sistemas de coordenadas Talairach es que permite ubicar todo el volumen de la estructura cerebral en un cubo, el cual se forma proyectando en los ejes coordenados  $x$  e  $y$  las rejillas obtenidas en los cortes sagital y coronal, y la altura del cubo está determinada por la cantidad de imágenes en el plano axial (Ver Figura 33). La cantidad de imágenes se obtienen luego de ubicar todos los puntos que describen el sistema de coordenadas, y de rotar y orientar todos los planos se realiza una última interpolación para obtener 512 imágenes en el plano axial, para realizar una reconstrucción en 3D, la cual permitirá a un especialista tener un acercamiento a la estructura cerebral en una perspectiva más óptima.

**Figura 33.** Cubo de Coordenadas Talairach.



Fuente: Autores

**Figura 34.** Reconstrucción 3D de la estructura cerebral.



Fuente: Autores

### 3. RESULTADOS

Para la implementación del sistema de localización de las coordenadas Talairach, se utilizó la base de datos de imágenes tomográficas de 19 sujetos usadas en

Niño *et al.* (10), con un promedio de edad de 72 años y que presentaban Accidente Cerebro Vascular (ACV).

Para el proceso de verificación, se realizó una clasificación basada en cinco criterios de acuerdo a la cercanía de cada uno de los puntos necesarios para ajustar las coordenadas Talairach, con el resultado arrojado por el sistema implementado. Los criterios de clasificación usados fueron los siguientes:

- 1) Seguramente no es.
- 2) Probablemente no es.
- 3) Dudosamente es.
- 4) Probablemente es.
- 5) Seguramente es

Se sometió cada uno de los puntos de los 19 sujetos al análisis del asesor médico, los resultados se presentan en las tablas a continuación:

- **PUNTOS EXTREMOS**

**TABLA 1. VERIFICACIÓN DE LOS PUNTOS EXTREMOS**

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE SUJETOS
Seguramente no es	0
Probablemente no es	0
Dudosamente es	0
Probablemente es	0
Seguramente es	19

En la ubicación de los puntos extremos de la estructura cerebral, no se presentaron fallas por parte del sistema implementado.

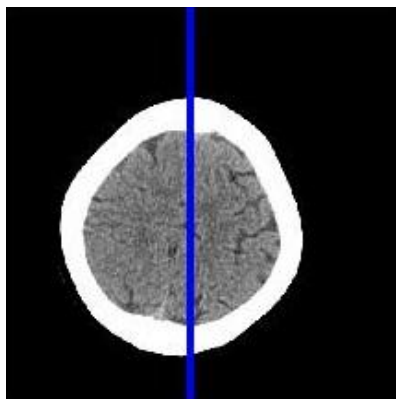
- **CISURA INTERHEMISFÉRICA**

**TABLA 2.** VERIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE LA CISURA INTERHEMISFÉRICA.

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE SUJETOS
Seguramente no es	1
Probablemente no es	0
Dudosamente es	0
Probablemente es	0
Seguramente es	18

Como se observa en la Tabla 2, el sujeto que presentó una mala clasificación de la Cisura Interhemisférica padecía de inflamación en el área cerebral de manera que la cisura se encontraba reducida de tamaño, esta compresión evita que mediante el método de la Transformada de Hough pueda identificarse la Cisura Interhemisférica con éxito. Una posible solución que podría implementarse en un futuro estudio para este tipo de casos, sería el de utilizar alguna técnica que permitiera corregir la diferencia de ángulo entre la línea obtenida por la Transformada de Hough, y unas pequeñas zonas de la Cisura Interhemisférica que pudieran observarse en la zona límite entre la masa cerebral y la estructura ósea (ver Figura 35).

**Figura 35.** Localización deficiente de la cisura interhemisférica.



Fuente: Autores

- **COMISURA ANTERIOR Y COMISURA POSTERIOR**

**TABLA 3.** VERIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE LA COMISURA ANTERIOR.

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE SUJETOS
Seguramente no es	1
Probablemente no es	0
Dudosamente es	1
Probablemente es	5
Seguramente es	12

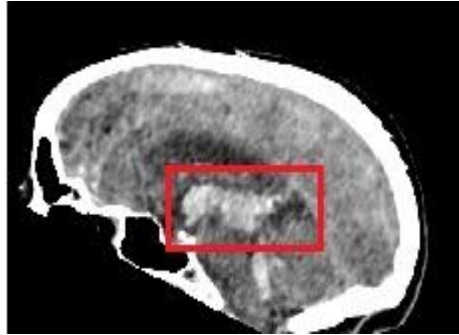
**TABLA 4.** VERIFICACIÓN DE LA LOCALIZACIÓN DE LA COMISURA POSTERIOR.

CLASIFICACIÓN	CANTIDAD DE SUJETOS
Seguramente no es	1
Probablemente no es	1
Dudosamente es	4
Probablemente es	5
Seguramente es	8

Teniendo en cuenta la difícil diferenciación de las estructuras comisurales en el estudio de imágenes tomográficas puede observarse un mayor número de clasificaciones probables acertadas y dudosas con respecto a las obtenidas en la ubicación de los demás puntos. Es por esto que para su ubicación y basados en la recomendación del especialista médico, se determinan dos puntos cercanos a los ventrículos laterales que puedan representar la ubicación de dichas estructuras. Para la ubicación de la comisura anterior se encuentra el punto de unión entre el tercer ventrículo y los ventrículos laterales; el tercer ventrículo se localiza realizando cortes coronales y encontrando el punto inferior de esta estructura. Este punto se traslada al corte sagital encontrando la coordenada donde se une con los ventrículos laterales, ahí se marca la comisura anterior. Para localizar la comisura posterior se localiza el punto inferior de la región posterior de los ventrículos laterales, y se recorre la imagen en sentido vertical hacia abajo hasta encontrar el tercer ventrículo y se marca el pixel anterior, ahí se ubica la comisura posterior.

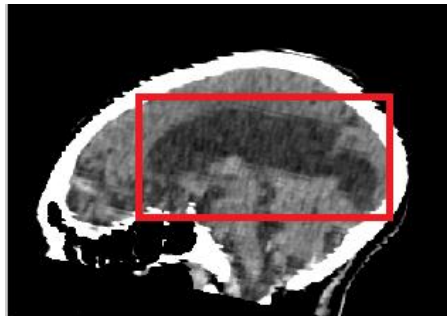
En las Figura 36 y Figura 37 se observa los casos en el que la ubicación de las comisuras anterior y posterior no fueron acertados. En la Figura 36 se observa un sujeto en el cual la zona donde se encuentran las estructuras está cubierta por una mancha blanca, la cual el médico clasificó como sangre producto del ACV. En la Figura 37 el médico observó que el sujeto presenta una deformación de los ventrículos laterales. Ambos casos corresponden a lesiones que deforman las estructuras cerebrales de referencia para ubicar la comisura anterior y la comisura posterior, por esta razón no se puede aplicar el sistema de coordenadas Talairach (12).

**Figura 36.** Mala ubicación de las comisuras.



Fuente: Autores

**Figura 37.** Zona de los ventrículos deformada.



Fuente: Autores

#### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Mediante el estudio de la intensidad característica de cada región cerebral usada para la ubicación de las coordenadas Talairach, se pudo diferenciar zonas como los ventrículos laterales para obtener algunos de los puntos necesarios para las coordenadas dadas las diferencias de contraste encontradas en éstas.
- Las comisuras anterior y posterior se ubicaron gracias al estudio tanto de las imágenes obtenidas generando el plano sagital como las que se obtuvieron generando el plano coronal.

- Se obtuvo los puntos más frontal, más temporal, más posterior y más occipital de cada sujeto analizando los tres planos y diferenciando de éstos la zona del cerebro del resto de la imagen.
- La obtención de la Cisura Interhemisférica se hizo mediante la Transformada de Hough, el ángulo de esta cisura con respecto a una línea recta horizontal se usó para corregir la desviación del plano axial. Para la desviación del plano coronal se usó esta misma cisura pero obteniéndola a diferentes profundidades y observando la unión de estas líneas vistas desde el plano coronal.
- Se determinó de forma automática todos los puntos necesarios para ajustar las coordenadas de Talairach en cuyos sujetos la cisura interhemisférica no presentaba alteraciones, y teniendo en cuenta que este tipo de coordenadas no se usan en pacientes con deformaciones del tejido blando.
- Es de resaltar que el sistema no se desarrolló para realizar ningún tipo de diagnóstico, sino que se realizó con el fin de estandarizar la ubicación de las estructuras cerebrales, las cuales se ubican dentro de un conjunto de casillas de la rejilla construida, logrando así una localización objetiva, inherente a criterios visuales subjetivos que pueden variar entre un especialista y otro. Dada la poca resolución que ofrecen las imágenes TAC se obtuvo un porcentaje de éxitos menor al 100% en la ubicación de las estructuras que describen este sistema de coordenadas. Por esta razón se recomienda para futuras investigaciones implementar el estudio sobre Imágenes de Resonancia Magnética (*Magnetic Resonance Imaging*, MRI).

## BIBLIOGRAFÍA

1. APLICACIÓN SEMIAUTOMÁTICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE TEJIDOS DEL CEREBRO HUMANO BASADO EN EL ATLAS DE TALAIRACH Y TOURNOUX. **Forero, G y Bocanegra, O.** 3, 2003, Bioingeniería y Física Médica cubana, Vol. IV.
9. **Bimba, Juan.** [En línea] 2008. [Citado el: 12 de febrero de 2012.] <http://softwarelibrevenezuela.blogspot.com/2008/10/orientacin-anatmica.html>.
11. Determinación estadística de áreas cerebrales patológicas empleando tomografía por emisión de positrones. **Vásquez, Manuel, y otros, y otros.** 2007, alabimn journal.
4. **González, Rafael, Woods, Richard y Eddins, Steven.** Digital Image Processing Using Matlab. 2009.
7. IMPLEMENTACION DE LA TRANSFORMADA DE HOUGH PARA LA DETECCIÓN DE LÍNEAS PARA UN SISTEMA DE VISIÓN DE BAJO NIVEL. **URREA, JUAN y OSPINA, EMMANUEL.** 2004, Redalyc.
10. **Niño, Carlos.** Sistema de Procesamiento y Análisis de la Señal Cardíaca como Indicador del Balance del Sistema Nervioso Autónomo y su Correlación con Datos Tomográficos en Pacientes con Accidente Cerebrovascular. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga : s.n., 2011. págs. 59-68, Tesis de Maestría.
12. **Ortega, Mario.** MÉTODO DE REGISTRO NO RÍGIDO BASADO EN FUNCIONES DE BASE RADIAL, APLICACIÓN A NEUROCIRUGÍA UTILIZANDO ATLAS CEREBRALES. 2009. Tesis Doctoral.
5. **SEN, Grupo de Estudio de Enfermedades Cerebrovasculares de la.** DICOM. [En línea] SEN, 2012. [Citado el: 20 de marzo de 2012.] <http://www.ictussen.org/?q=node/113>.
2. **Talairach, Jean y Tournoux, Pierre.** Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain: 3-Dimensional Proportional System. 1988.
3. Técnicas de cuantificación de imágenes PET (Tomografía por Emisión de Positrones): Aplicación al estudio de la esquizofrenia. **Gispert, J,D, y otros, y otros.** [ed.] pertenece a la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) Departamento de Ingeniería Electrónica (DIE). págs. 2-4.
8. Tomografía Axial Computada. **Corbo, Diego.** 2004.
6. [En línea] Universidad Nacional de Quilmes., 2005. [Citado el: 20 de marzo de 2012.] <http://iaci.unq.edu.ar/materias/vision/archivos/apuntes/Filtrado%20Espacial.pdf>.

