

# Desarrollo de un marco estereotáctico para aplicación en neurocirugía y radiocirugía

J. Jesús Nieto-Miranda<sup>1</sup>  
Arturo Minor-Martínez<sup>1</sup>  
Jaime Álvarez-Gallegos<sup>2</sup>  
Mario A. Alonso-Vanegas<sup>3</sup>  
Manuel F. Carbajal-Romero<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Sección Bioelectrónica,  
CINVESTAV-México.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Eléctrica,  
Sección Mecatrónica,  
CINVESTAV-México.

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía

<sup>4</sup>SEPI-ESIME Azcapotzalco;  
MÉXICO.

Recibido el 24 de mayo de 2006; aceptado el 29 de noviembre de 2006.

## 1. Resumen

Se presenta el desarrollo de un marco estereotáctico utilizado durante la realización de cirugía estereotáctica y radiocirugía, su diseño se basa en diferentes formas y tamaños de cráneos. El desarrollo se complementa con un análisis numérico mediante el método del elemento finito, para corroborar que las dimensiones propuestas y el material seleccionado son los adecuados en el diseño.

**Palabras clave:** cirugía funcional, radiocirugía, estereotaxia, neurocirugía, cirugía estereotáctica, cráneo.

## 2. Abstract (Development of a Stereotactic Frame used in Neurosurgery and Radiosurgery)

We present the construction and development of a stereotactic frame, which is applied in neurosurgery and radiosurgery. Its design is based on different skull shapes and sizes. The development is by a numeric analysis by means of the element finite method, to corroborate that the proposed dimensions and the selected material are the appropriate in the design.

**Key words:** functional surgery, radiosurgery, stereotaxis, neurosurgery, stereotactic surgery, skull.

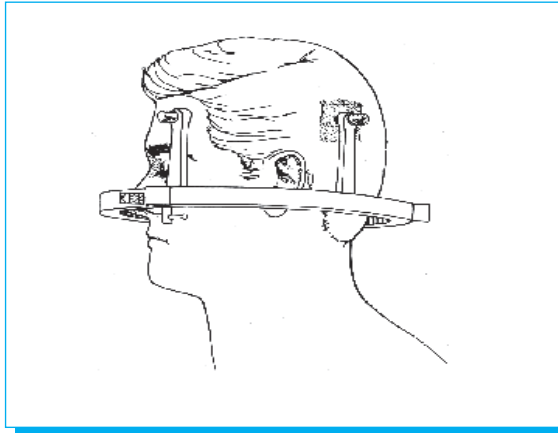
## 3. Introducción

La estereotaxia es un nombre derivado del griego estéreo: "tridimensional" y taxia: "arreglo" [1,2]. En neurocirugía y radiocirugía el marco estereotáctico es utilizado para obtener una guía tridimensional que se ajuste a la cabeza, localizándose objetivos importantes previamente definidos y con precisión en el cerebro [3].

Los principios de la técnica estereotáctica fueron descritos en 1906 por Henry Clarke y Víctor Horsley, quienes diseñaron un dispositivo mediante el cual lograron, desde el exterior, posicionar e insertar electrodos dentro del cerebro de un animal experimental con precisión aceptable. Ellos afirmaron que "por esos medios podría ser estudiado y registrado cada milímetro cúbico del cerebro" [4]. En la actualidad el término estereotáctico(a) se identifica con prácticas en animales y el término estereotáctico(a) con cirugías en humanos; aunque para referirse al campo general de la cirugía estereotáctica se usa aún el término estereotaxia.

La cirugía estereotáctica consiste en colocar al paciente un marco estereotáctico de metal (figura 1) que tiene un peso aproximado de 2 kg, el cual se fija a la cabeza con cuatro pinchos bajo anestesia local, dos en la región frontal y otros dos en la región occipital (figura 2). Sobre el marco se colocan unos localizadores (paletas o placas) que llevan marcas radiopacas y que aparecerán después en los estudios radiológicos y que fundamentalmente sirven para localizar la profundidad del blanco quirúrgico. Enseguida se realiza el estudio radiológico indicado (tomografía computarizada –TC– o imagen de resonancia magnética –RM–) dependiendo de la compatibilidad del marco con el sistema de neuroimagen. En la exploración radiológica se marca el punto en 3D al que se quiere acceder y se visualizan los marcadores situados en la guía que permiten calcular las coordenadas de este punto en los tres ejes cartesianos.

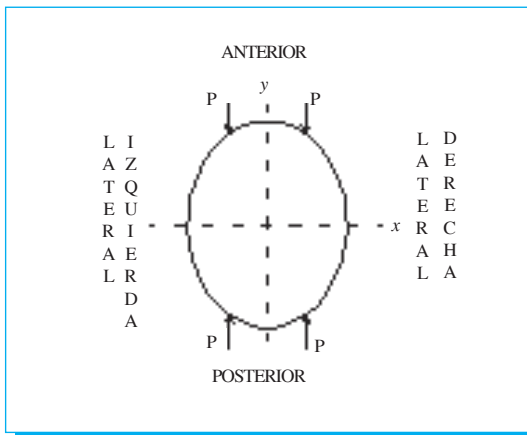
Siguiendo el procedimiento, en quirófano se realiza una incisión en la piel y un trépano de 10mm en el cráneo si se trata solamente de una biopsia, en su defecto se puede realizar otro tipo de incisión quirúrgica acompañada de una craneotomía centrada con objeto de determinar de manera



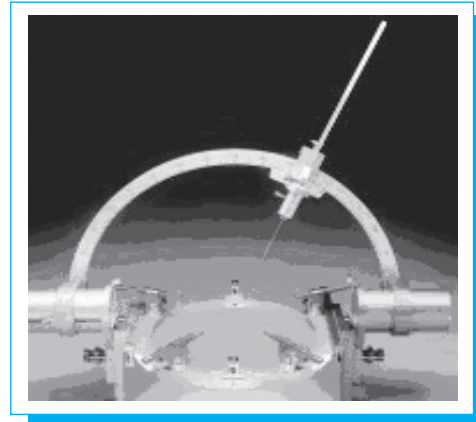
**Fig. 1.** Marco estereotáctico colocado en la cabeza del paciente.

precisa el blanco quirúrgico y realizar la cirugía de manera menos cruenta. Sobre el marco estereotáctico se coloca un arco con las coordenadas obtenidas en el estudio radiológico, y en el que se acopla una cánula, dirigida hacia el punto seleccionado previamente (figura 3). Hay que hacer mención que el marco permanece fijo al cráneo por un periodo de tiempo prolongado.

El presente diseño tiene como objetivo dotar al neurocirujano de un marco estereotáctico ligero, fabricado en materiales resistentes, fácil de maniobrar durante su montaje en el cráneo humano, que permita fijar y ajustar el pincho en cualquier parte del cráneo, con lo que consideramos se obtiene un mejor abordaje.



**Fig. 2.** Posición de los cuatro pinchos que fijan el marco estereotáctico en el cráneo.

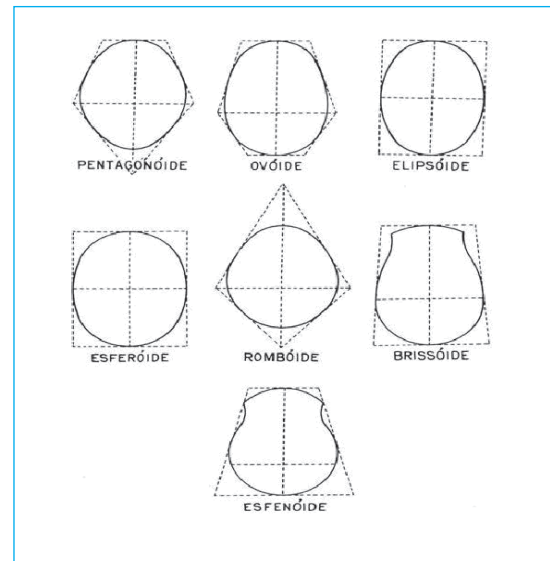


**Fig. 3.** Marco estereotáctico, arco y cánula, utilizadas en cirugía estereotáctica.

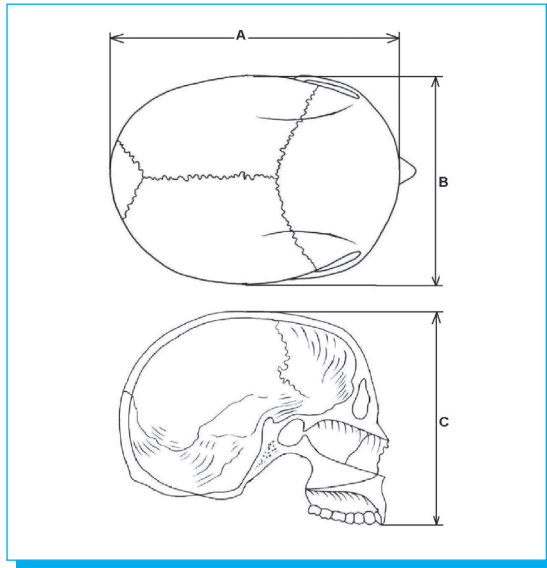
#### 4. Desarrollo

Para el desarrollo del marco estereotáctico se parte de las diferentes formas de cráneo humano existentes, así como de las medidas físicas que presenta. En la figura 4 se muestran las diferentes formas de cráneo [5] y la figura 5 indica las dimensiones anatómicas del cráneo seleccionadas para dar el dimensionamiento al marco propuesto.

Como puede verse en la tabla 1, las dimensiones mínimas corresponden al cráneo femenino y las máximas al cráneo



**Fig. 4.** Formas de cráneo existentes.



**Fig. 5.** Dimensiones anatómicas del cráneo humano.

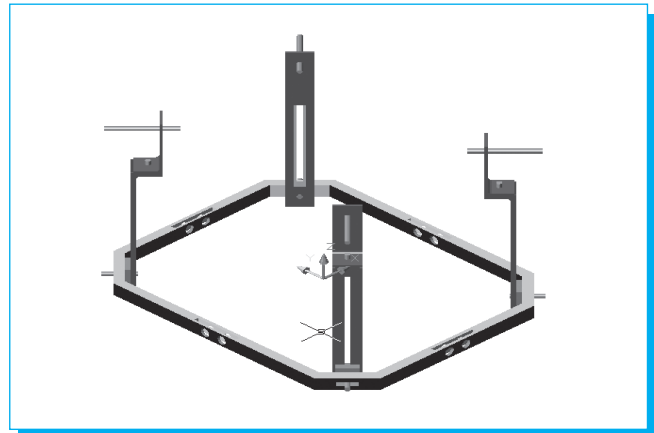
masculino, estas medidas son la base para el desarrollo del marco propuesto.

La figura 6 muestra el marco completo desarrollado, que consta de cuatro postes de fijación, cada uno con tres articulaciones proporcionando diferentes grados de libertad.

La figura 7 muestra la sección del marco que contiene los postes de fijación, éste consta de tres articulaciones *A*, *B* y *C*, que desarrollan movimientos bidireccionales. La articulación *A* tiene tres movimientos, se desplaza 20 mm sobre el eje *x*, 92 mm a lo largo del eje *y*, el último movimiento es rotacional de 360 grados sobre el eje *z*; la articulación *B* desarrolla un movimiento rotacional de 360 grados sobre el eje *y*; y por último el pincho de la articulación *C* se mueve en forma paralela a lo largo del eje *z*. Esta combinación de movimientos

**Tabla 1.** Dimensiones máximas y mínimas del cráneo humano.

	Máximo (mm)		Mínimo (mm)	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
<i>A</i>	201	<b>191</b>	161	<b>153</b>
<i>B</i>	158	<b>153</b>	125	<b>120</b>
<i>C</i>	150	<b>143</b>	118	<b>113</b>

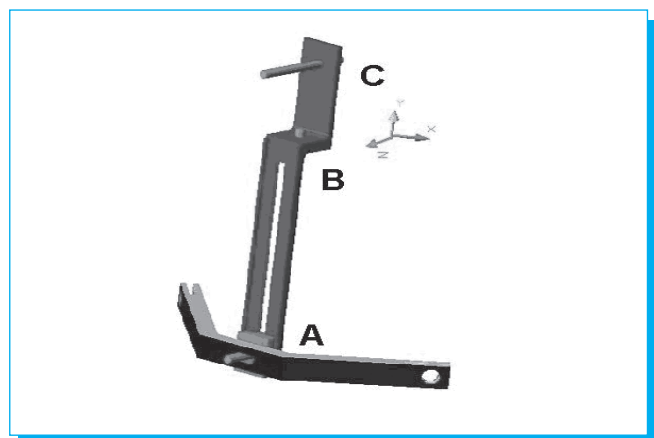


**Fig. 6.** Marco estereotáctico desarrollado.

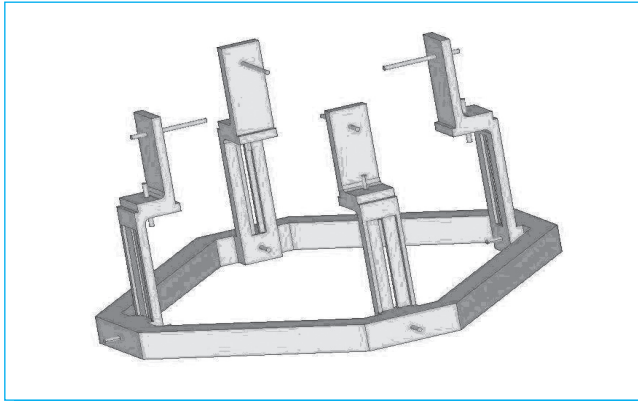
de las articulaciones, permiten fijar los pinchos en cualquier dirección y forma de cráneo.

Se realizó también un análisis numérico utilizando el método del elemento finito (MEF), para corroborar que el dimensionamiento propuesto y el material seleccionado son los adecuados.

Se modeló la geometría del marco estereotáctico desarrollado en 3D y se alimentó al programa de elementos finitos (figura 8). Los pinchos y pernos se construyeron de *Nylamid*, el marco y los postes de fijación en PVC espumado, que son materiales compatibles con RM y esterilizables mediante óxido de etileno, plasma o formaldehído. El dimensionamiento del marco



**Fig. 7.** Poste de fijación del marco estereotáctico desarrollado.



**Fig. 8.** Geometría del marco estereotáctico alimentado al programa de elementos finitos.

estereotáctico es de 273.32 mm de largo por 236.73 de ancho y su perfil de 20 mm de alto por 15 mm de ancho. El módulo de elasticidad, la relación de Poisson y la densidad son las propiedades mecánicas utilizadas en el modelado [6,7]. Los valores empleados se muestran en la tabla 2. Se consideró que son materiales isotrópicos, homogéneos y lineales.

Se realizaron dos modelaciones del marco, en la primera el pincho y los pernos con diámetros de 3 mm, en la segunda los diámetros se modificaron a 5 mm. El primer modelo desarrollado consta de 126 071 nodos y 76 013 elementos tipo *solid 95*; y el segundo de 128 176 nodos y 75 673 elementos; el modelo se resolvió usando el programa de MEF Ansys Research versión 8.0 (Ansys Inc.).

En las corridas realizadas se consideró la aplicación de una fuerza de apriete en el cráneo de 200 N<sup>1</sup> sobre el pincho de la articulación A, de 700 N sobre los pernos de las articulaciones B y C, todas las cargas se aplican en forma paralela al eje

**Tabla 2.** Propiedades mecánicas del marco estereotáctico utilizadas en el modelo numérico.

Material	Módulo de elasticidad (Gpa)	Relación de Poisson	Densidad (N/m <sup>3</sup> )
Nylamid	2.76	0.35	1.12 x 10 <sup>4</sup>
PVC espumado	0.86	0.35	6.87 x 10 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Información proporcionada por el Dr. Mario A. Alonso Vanegas

**Tabla 3.** Esfuerzos de von Mises y desplazamientos en el marco estereotáctico.

Diámetro pincho (mm)	Esfuerzo máximo (Pa)	Esfuerzo mínimo (Pa)	Deformación (mm)
3	25 106	0.097	1.860
5	5 421	0.005	0.961

longitudinal del pincho o perno. La parte del pincho que tiene contacto con el cráneo se le restringió su desplazamiento a 0.384 mm [8] en sus tres ejes (x,y,z).

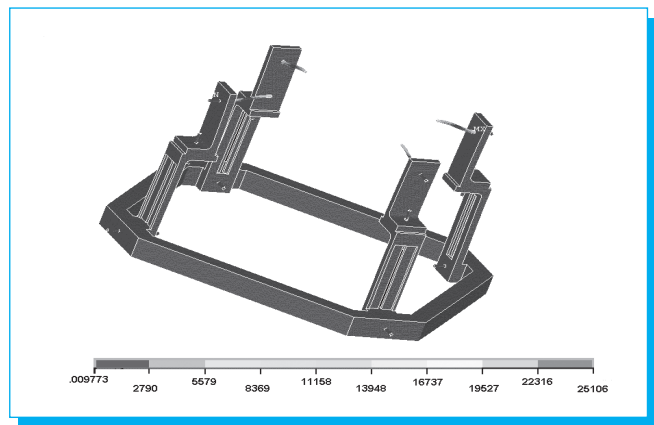
#### 4.1. Resultados

En la tabla 3 se muestran los valores máximos y mínimos obtenidos para los esfuerzos de von Mises y los desplazamientos.

La distribución de esfuerzos de von Mises cuando el diámetro de los pernos y el pincho son de 3 mm se ilustra en las figura 9. La figura 10 muestra la distribución de esfuerzos de von Mises obtenida cuando los diámetros son de 5 mm. Se observa en la tabla 3 que los valores más elevados de los esfuerzos y desplazamientos máximos se obtienen cuando el diámetro utilizado es de 3 mm.

#### 4.2. Discusión

La distribución de esfuerzos de von Mises mostrados por los resultados obtenidos por los dos modelos numéricos



**Fig. 9.** Isométrico del marco estereotáctico con diámetro en los pernos y pincho de 3 mm de diámetro.

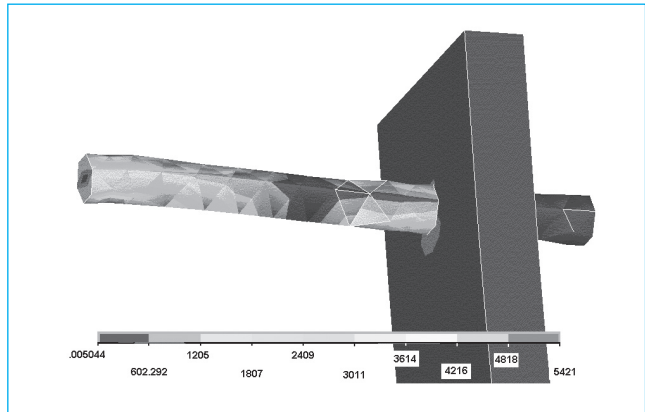


Fig. 10. Isométrico del pincho de 5 mm de diámetro.

desarrollados por elementos finitos son muy similares, y muestran una concentración de esfuerzos en el pincho que se fija en el cráneo, teniendo éste una deformación y desplazamiento perpendicular a la dirección en que se aplica la fuerza.

Al modificar el diámetro de 3 a 5 mm se observa que los valores de los esfuerzos disminuyen en un 78.4% y los desplazamientos en un 48.4%, reduciéndose notablemente estos valores en el pincho. Los esfuerzos permisibles del *Nylamid* a compresión son de 65.71 MPa y 79.74 MPa a tensión, por lo tanto, los esfuerzos generados por el material bajo carga no son significativos, ya que se encuentran en un rango de 0.01-0.04% del permitido, pero se disminuye la deformación del material, ya que la elongación permitida a la ruptura es del 40% y al modificar los diámetros el porcentaje de deformación disminuye de 62% a 19.22%, quedando dentro del rango de trabajo permitido por el material, por lo tanto, los diámetros seleccionados para fabricar el pincho y los pernos es de 5 mm.

El diseño del marco permite un abordaje en cualquier dirección del cráneo por parte del pincho, al ser ligero y

sencillo de maniobrar, se logra un montaje más rápido y fácil por parte del médico, con lo cual se logra disminuir las molestias en el paciente y aumentar la funcionalidad del marco estereotáctico en estudios de radiología o en neurocirugías.

## 5. Conclusiones

Se logra el objetivo de dotar al neurocirujano de un marco estereotáctico ligero con un peso de 300 g, fabricado con materiales resistentes, económicos, compatibles con RM, esterilizables, fácil de maniobrar durante su montaje y desmontaje en el cráneo humano, que permita fijar y ajustar el pincho en cualquier parte del cráneo, con lo que consideramos se obtiene un mejor abordaje y se mejora la funcionalidad del marco en estudios posteriores a su colocación.

## 6. Referencias

- [1] Fodstad, H., Hariz, M. y Ljunggren B. History of Clarke's Stereotactic instrument, stereotactic funct. *Neurosurg* 57, 1991: 130-140.
- [2] Alonso-Vanegas, MA. y Austria-Velázquez JJ. Historia de la cirugía estereotáctica. *Arch Neurocién. (Mex)* 2003; 8(3): 158-165.
- [3] Lara, J.C., Hernández D.G. y Alonso-Vanegas MA. Desarrollo de un aparato estereotáctico con el sistema de arco centrado. *Arch Neurocién. (Mex)* 2005; 10(3): 196-202.
- [4] Forcht D T. Stereotactic Surgery. *Neurosurgery Clin America* 2001; 12(1): 69-90.
- [5] Bidegain, P.C. y Carvalho, M.A.M. *Manual para estudios craneométricos e craneoscópicos*. Imprenta Universitaria de la Universidad Federal de Santa María, Brasil.
- [6] PVC Espumado. <http://platea.pntic.me.ec/~lmarti2/robotinfra/pvcespumado1.htm>
- [7] Propiedades principales de Nylamid. [www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid.htm](http://www.aceroslevinson.com/plasticos/nylamid.htm)
- [8] Nieto, M.J.J., Minor, M.A., Álvarez, G.J., Alonso-Vanegas, M.A. y Algorri GME. Análisis de esfuerzos de compresión en el cráneo humano por medio del método del elemento finito. *Rev. Mex. Ing. Biomed.* 2005; 1(XXVI): 16-21.

# REDALYC

Red de revistas científicas de América latina y el Caribe, España y Portugal (UAEM)

[www.redalyc.org](http://www.redalyc.org)