

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

CENTRO MÉDICO ABC

**ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA VS ESTIMULACIÓN
ELÉCTRICA EN NERVIOS PERIFÉRICOS DE LAS
EXTREMIDADES SUPERIORES.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ESPECIALISTA EN NEUROFISIOLOGÍA CLÍNICA

PRESENTA:

DR. ADRIÁN RESÉNDIZ ROSSETTI



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DR. JOSE HALABE CHEREM

DIRECTOR DE ENSEÑANZA

DR. PAUL SHKUROVICH BIALIK

DIRECTOR DEL CURSO NEUROFISIOLOGÍA CLÍNICA

DR. ÓSCAR SÁNCHEZ ESCANDÓN

ASESOR DE TESIS

DR. EMILIO ARCH TIRADO

ASESOR DE TESIS

ÍNDICE

1. Introducción y antecedentes
2. Planteamiento del problema
3. Hipótesis
4. Objetivos
5. Justificación
6. Metodología
7. Análisis estadístico
8. Resultados
9. Discusión
10. Referencias

1) INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Por más de 50 años, los estudios neurofisiológicos han sido el complemento fundamental del examen neurológico. Existen una gran variedad de técnicas y modalidades al respecto, sin embargo 2 métodos básicos son los que arrojan mayor información en las patologías de nervio periférico y músculo [1]:

1. Registro de la actividad eléctrica del músculo generada de forma espontánea, voluntaria o refleja, utilizando electrodos de aguja (electromiografía).
2. Registro de la actividad eléctrica generada por los nervios periféricos posterior a estimulación eléctrica utilizando electrodos de superficie (velocidades de conducción nerviosa).

A continuación se explican algunos puntos básicos en relación al segundo punto mencionado.

ASPECTOS HISTÓRICOS.

Existen 3 personajes denominados *padres del electrodiagnóstico* (Buchthal, Guilliat y Lambert).

Buchthal y Denmark, escribieron sobre alteraciones neuromusculares en 1930, los cuales durante los siguientes 40 años, contribuyeron con numerosas publicaciones sobre aspectos básicos y clínicos aplicados en el examen electrodiagnóstico. Buchthal describió un análisis detallado de los potenciales de acción nervioso de tipo sensitivo. Hacia 1960, en conjunto con Guilliat, se emitió un consenso para separar las pruebas de electrodiagnóstico del sistema nervioso periférico del electroencefalograma [2].

Guilliat, neurólogo inglés, fue el primero en adaptar las pruebas de neuroconducción periférica sensitiva a la clínica. De igual modo, también describió que las neuropatías podían ser divididas en axonal y desmielinizante, y que estos patrones podían ser distinguidos por medio del electrodiagnóstico. Fue uno de los primeros en describir el síndrome del túnel del carpo en 1953 y en 1970 redefinió los hallazgos del síndrome de salida torácica.

Lambert, fisiólogo respiratorio de origen estadounidense redefinió los criterios de la neuroconducción en relación a la Esclerosis Lateral Amiotrófica, también realizó importantes aportaciones en relación a alteraciones de la unión neuromuscular al describir el síndrome que lleva su nombre (Síndrome de Lambert – Eaton) [3]

CONCEPTOS BÁSICOS EN NEUROCONDUCCIÓN.

ELECTRODOS

Electrodos: Dispositivos para registrar o estimular, situados en piel, musculo o nervios periféricos.

Electrodo de registro: Es aquel que permite captar la actividad eléctrica en músculos o nervios periféricos.

Electrodo activo: Situado en la región terminal del músculo, en caso de NCM o sobre el nervio periférico en el caso de la NCS.

Electrodo de referencia: Situado sobre el tendón muscular para NCM o el nervio periférico en caso de NCS. Usualmente se ubica a 4 cm del electrodo activo.

Electrodo tierra: Es neutral (voltaje cero) situado entre los electrodos de registro y de referencia.

Electrodo de estímulo: Es un dispositivo bipolar, el cual posee un ánodo y un cátodo. [4]

ESTIMULACIÓN.

Estímulo umbral: Ocurre a intensidad suficiente para producir un potencial de acción detectable.

Estímulo máximo: Estímulo a intensidad tal en la cual ya no ocurre incremento de la amplitud de potencial de acción.

Estímulo submáximo: De intensidad menor que el estímulo máximo pero mayor al estímulo umbral, puede dar lugar a amplitudes falsamente deprimidas que pueden ser interpretadas como neuropatías axonales.

Estímulo supramáximo: De intensidad 20% mayor al estímulo máximo, típicamente usados en estudios de conducción nerviosa periférica de fibras motoras.

Duración del estímulo: Debe ser de 0.1 a 0.3 milisegundos (mseg). En caso de ser mayor, puede prolongar la latencia debido a estimulación por un periodo más largo de tiempo. [5]

Amplificador diferencial: Dispositivo que únicamente amplifica la diferencia de la señal presente en el electrodo activo y el de debe tener alta impedancia.

FILTRO

Dispositivo compuesto de resistores y capacitores cuya función es curvas que no forman parte del potencial de acción en registro.

Filtro de alta frecuencia (pasa bajas): Remueve señales por arriba de su punto de corte, permite que frecuencias más bajas sean registrables.

Filtro de baja frecuencia (pasa altas): Remueve señales por debajo de su punto de corte, permite que frecuencias más altas sean registrables.

En estudios de neuroconducción periférica se utilizan usualmente:

Neuroconducción motora: 2 Hz – 10 KHz.

Neuroconducción sensitiva: 20 Hz – 2 KHz. [5]

PANTALLA DE REGISTRO.

Una vez que la señal ha sido registrada, amplificada y filtrada, es desplegada en forma digital en pantalla, la información se dispone en 2 ejes, el horizontal indicando el barrido, y el vertical indicando la sensibilidad. Cada uno de estos parámetros puede ser manipulado para registrar la información según en contexto clínico.

Barrido: Tiempo que representa cada división en el eje horizontal. Medido en milisegundos.

Sensibilidad: Se refiere a la talla para cada división en el eje vertical, medido en milivoltios y microvoltios. El término ganancia es utilizado de forma intercambiable con la sensibilidad, no tiene una unidad de medida.

Parámetros en neuroconducción periférica:

Neuroconducción motora.

Barrido:	5 ms.
Sensibilidad:	10 microvoltios.

Neuroconducción sensitiva.

Barrido:	10 ms.
Sensibilidad:	1 milivoltio.

Existen tres tipos básicos de estudios: neuroconducción motora periférica (NCM), neuroconducción sensitiva periférica (NCS) y neuroconducción de nervios mixtos; sin embargo esta última tiene grandes limitaciones y pocos beneficios en el estudio de nervios con fibras mixtas (mediano, cubital, ulnar), por consecuencia, las modalidades sensoriales de estos nervios se exploran de forma separada.

La principal función de estos estudios es evaluar las fibras periféricas desde el cuerpo celular de origen (asta anterior de la médula espinal en caso de nervios motores, ganglio de la raíz dorsal en caso de los sensitivos).

Se determinan dos componentes fisiológicos: (1) la habilidad de los axones para conducir impulsos entre los sitios de estimulación y registro y (2) la velocidad de conducción a los largo de éstos. [2, 4, 6]

A continuación se explican algunos conceptos básicos en estimulación de nervio periférico.

FISIOLOGIA DE LA ESTIMULACIÓN.

Los estimuladores utilizados son de tipo bipolar, pues poseen un ánodo (positivamente cargado) y un cátodo (negativamente cargado). La despolarización de los axones ocurre debajo del cátodo debido a que la negatividad en la región donde éste se coloca lleva a una reducción de la diferencia de potencial transmembrana, provocando despolarización de la membrana, desencadenando un potencial de acción, un aspecto importante, es que la intensidad del estímulo necesaria para llevar a cabo este proceso esta en relación al diámetro del axón. [2,3]

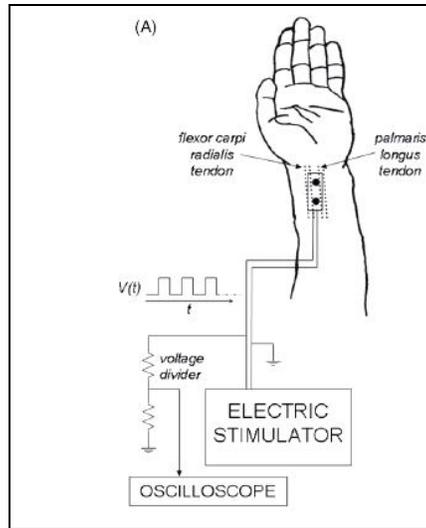


Fig. 1. Estimulación nerviosa periférica mediante estímulo eléctrico.

ESTUDIOS DE CONDUCCIÓN NERIVOSA PERIFÉRICA.

Indican la capacidad del nervio periférico para conducir impulsos eléctricos. En estos estudios se generan potenciales de acción representados en pantalla por una onda sinusoidal, sobre la cual se evalúan diversos parámetros.

Dicha onda posee distintas fases y amplitudes, las cuales ocurren en diferente número por unidad de tiempo, esto se conoce como frecuencia, cuya unidad de medida se estima en Hertz (Hz).

PARÁMETROS A MEDIR EN UN POTENCIAL DE ACCIÓN NERIVOSO PERIFÉRICO. [3,4,7]

Latencia: Tiempo requerido para inicial un potencial de acción, se mide en el sitio donde inicia la primera deflexión.

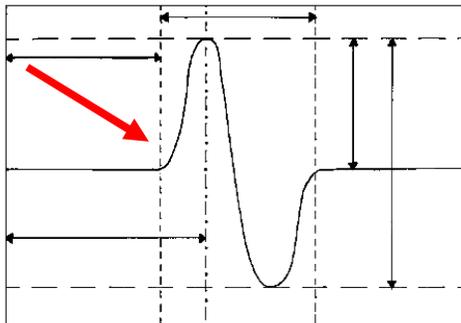


Fig. 2. Latencia de un potencial de acción.

Latencia pico: Representa la conducción a lo largo de la mayoría de los axones; se mide justo en el pico del potencial registrado.

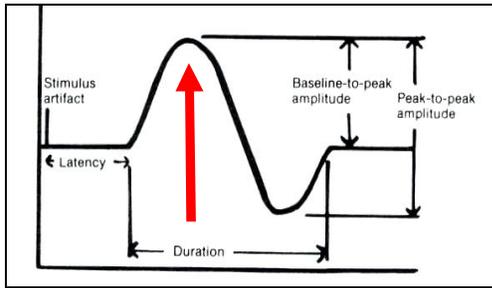


Fig. 3 Latencia pico

Latencia de inicio: Representa la conducción a lo largo de los axones más rápidos. Se mide al inicio de la deflexión inicial.

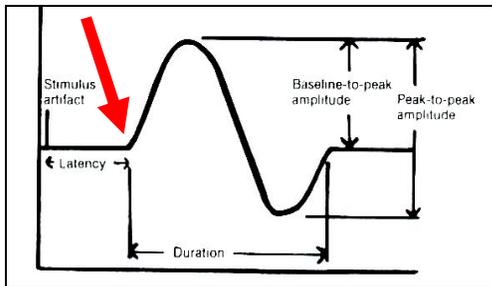


Fig. 4. Latencia de inicio.

Amplitud: Máxima diferencia de voltaje entre 2 puntos. Refleja el número de fibras activadas y su sincronización. Se mide entre ambos picos de las deflexiones máximas del potencial.

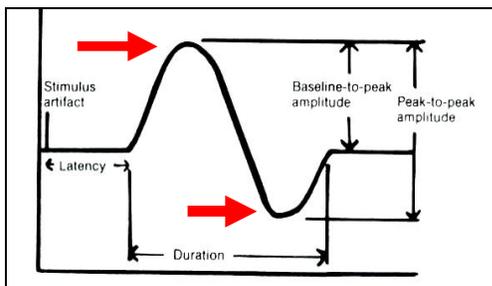


Fig. 5. Amplitud.

Duración: Depende de la sumación y frecuencia de disparo de numerosos axones, se mide de la deflexión inicial hasta que el potencial regresa a su línea basal.

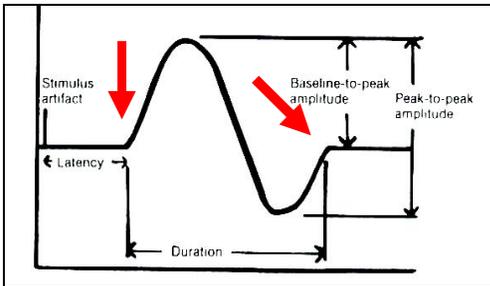


Fig. 6. Duración.

Velocidad de conducción: Es la velocidad a la cual el estímulo viaja a través del nervio, depende de la integridad de la vaina de mielina, se calcula con la fórmula convencional ($V = d/t$). El valor normal para los nervios de las extremidades superiores es mayor o igual a 50 m/s; en las inferiores es de 40 m/s. Disminuye en casos de daño nervioso, sin embargo puede permanecer normal si hay integridad de los axones más rápidos.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS. [2, 3, 5, 8]

Preparación de la piel.

La piel actúa como una barrera para la medición de los estímulos eléctricos, cualquier alteración que incremente el grosor de la piel produce potenciales de acción con amplitud baja, es decir se produce incremento de la *impedancia* (término utilizado para definir esta alteración). Para disminuir ésta última, se utilizan pastas conductoras sobre la superficie del electrodo y se realiza limpieza de la superficie cutánea.

Artefacto del estímulo.

Producido por la propagación de la corriente por la piel y tejidos profundos, puede atenuarse reduciendo la duración y la intensidad de la corriente, colocando el electrodo de tierra entre los electrodos de referencia y activo, así como rotando el ánodo del estimulador.

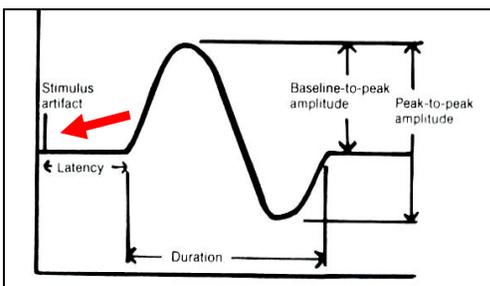


Fig. 7. Artefacto del estímulo.

Electrodos de registro.

La distancia interelectrodo estándar es de 3 a 4 cm, cualquier variación en la colocación de los mismos producirá cambios en la morfología del potencial. Una distancia interelectrodo menor, producirá disminución de la amplitud, mientras que una distancia mayor no produce cambios en la amplitud, sin embargo aumenta la posibilidad de registrar ruido durante el estudio. Las amplitudes varían de forma inversamente proporcional a la distancia del electrodo de registro respecto al nervio (ej. edema de la piel)

Cátodo virtual.

Propagación del estímulo eléctrico por estimulación a estímulos supramáximos produce despolarización en sitios distales a la posición del cátodo.

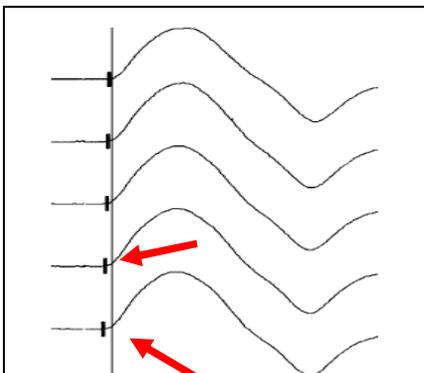


Fig. 8. Cátodo virtual con disminución de la latencia al aumentar la intensidad del estímulo respecto a los previos.

Temperatura.

Las cifras de temperatura estandarizadas para extremidades superiores e inferiores son 32°C y 30°C respectivamente, la velocidad de conducción disminuye 2.4 m/seg por cada °C que cae la temperatura y aumenta 1.5 a 2 m/seg por cada °C que la temperatura aumenta respecto al rango fisiológico.

Edad.

La mielinización de los nervios periféricos termina a los 5 años de edad, por lo que en pacientes menores de esta edad debe tenerse especial cuidado. Los parámetros de conducción nerviosa permanecen estables entre los 5 y los 40 años, edad a partir de la cual existe una tendencia a que la latencia, amplitud y velocidades de conducción disminuyan.

ESTIMULACIÓN DEL NERVIOS MEDIANO.

Anatomía. [6]

El nervio mediano se forma por los cordones medial y lateral, (C8-T1), ambos se unen en ángulo agudo, forman el asa que se encuentra sobre la cara anterior de la arteria axilar. Sigue como un solo tronco y colinda con la parte radial de la arteria braquial y junto con ella se sitúa debajo de la fascia braquial en el surco bicipital medial. En la parte media del brazo, el nervio cruza a la arteria por delante y se sitúa por su lado ulnar, pasa a la fosa ulnar por debajo de la aponeurosis bicipital acompañada de la arteria ulnar y después se sitúa delante de la misma. Después penetra entre ambas cabezas del pronador redondo hacia la parte media del antebrazo, pasa por debajo del arco tendinoso del m. flexor superficial de los dedos, sigue entre los m. flexores superficiales y profundos de los dedos rumbo a la articulación radiocarpiana. El nervio mediano junto con los flexores superficiales y profundos pasa por debajo del retináculo en el canal carpiano, donde se divide en sus ramos terminales.

En la región de la mano, debajo de la aponeurosis palmar, los ramos terminales del nervio se sitúan entre el arco palmar superficial y los tendones flexores superficiales.

Ramos del nervio mediano

Ramos comunicantes: En el brazo con el nervio musculocutáneo, son inconstantes. En la región del antebrazo con el nervio ulnar en el espesor del m. flexor profundo de los dedos. En la región de la mano con el ramo superficial del nervio ulnar y el ramo superficial del nervio radial.

Ramos articulares: Para la articulación del codo, parcialmente de las articulaciones del carpo y de las articulaciones de los dedos I-III por el lado palmar.

Ramos musculares: En la región del antebrazo los ramos musculares parten del tronco basilar del nervio a nivel del epicóndilo medial del húmero y se dirigen al m. pronador redondo, m. flexor radial del carpo, palmar largo y flexor superficial de los dedos.

Nervio interóseo anterior: Se inicia del tronco basilar del nervio a nivel del pronador redondo, siguiendo distalmente junto con la arteria interósea anterior, se sitúa entre el m. flexor largo del pulgar y el m. flexor profundo de los dedos, alcanzando el m. pronador cuadrado.

Ramo palmar: Parte del tronco basilar del nervio mediano en la región del tercio inferior del antebrazo entre los tendones del m. flexor radial del carpo y el palmar largo, perfora la fascia del antebrazo y se ramifica en la piel de la cara palmar de la región de la articulación radiocarpiana, del pulgar y de la palma.

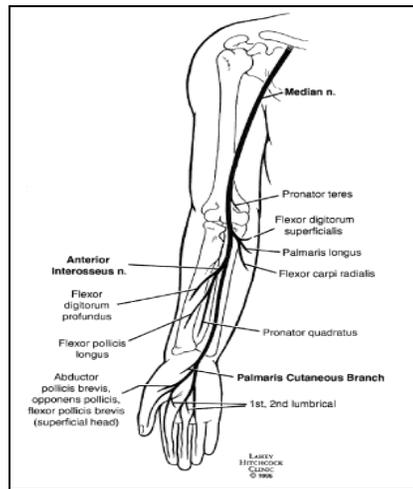
Ramos digitales palmares comunes: Parten a nivel del retináculo de los músculos flexores se sitúan debajo de la aponeurosis palmar y el arco palmar superficial en el primero, segundo, y tercer espacio interóseo, emiten ramos cutáneos.

Ramo Muscular: Formado por tres ramas, inervan a los m. abductor breve del pulgar, flexor breve del pulgar oponente, lumbrical I,II,III.

Inervación motora del nervio mediano. Este nervio dirige sus ramas a los músculos: palmar mayor, palmar menor, flexor superficial de los dedos, flexor largo del pulgar, pronador cuadrado, flexor profundo de los dedos vientos para 2° y 3° dedos, abductor corto del pulgar, oponente del pulgar, mitad del flexor corto del pulgar, lumbricales I, II, III.

Zona Autónoma del nervio mediano.

Comprende la piel de las falanges distales de los dedos 2° y 3° en sus caras dorsales y palmares.



Estimulación motora del nervio mediano. [2,3]

Registro.

Los sitios de registro son:

- Electrodos activos:* Electrodo de superficie situados en los músculos abductor pollicis brevis (APB)
- Electrodos de referencia:* Situados sobre el tendón de dicho músculo con 4 cm de separación respecto al electrodo activo.
- Electrodos de tierra:* Colocados sobre una prominencia ósea entre los electrodos activo y de referencia.

Estimulación.

- A **nivel de la muñeca:** Cátodo a 8 cm proximal al electrodo activo situado sobre el músculo APB.
- A **nivel del codo:** Cátodo situado en la fosa antecubital.
- Axilar
- Punto de Erb

Parámetros: Idénticos a los explicados anteriormente para esta modalidad de estimulación. Los valores normales se indican en la tabla 1.

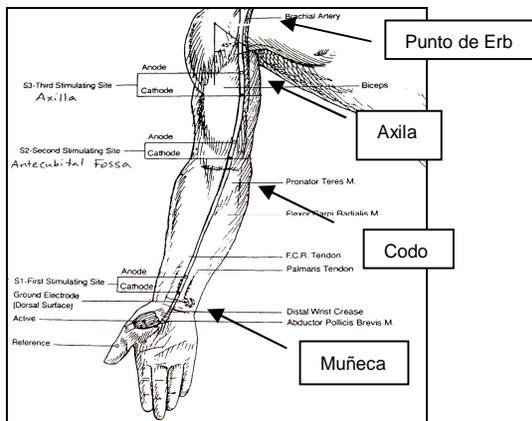


Fig. 10. Estimulación del nervio mediano motor.

Tabla 1. VALORES NORMALES EN LA ESTIMULACIÓN DEL NERVI0 MEDIANO MOTOR. [3]

Sitio Estimulo	Latencia Absoluta. ms.	Latencia Interlado. ms	Amplitud. mV	Velocidad de Conducción m/seg.
Palma	1.86 +/- 0.28 (2.4)	0.19 +/- 0.17 (0.5)	6.9 +/- 3.2 (3.5)	48.8 +/-5.5 (38)
Muñeca	3.49 +/- 0.34 (4.2)	0.24 +/- 0.22 (0.7)	7.0 +/- 3.0 (3.5)	57.7 +/- 4.9 (48)
Codo	7.39 +/- 0.69 (8.8)	0.31 +/- 0.24 (0.8)	7.0 +/- 2.5 (3.5)	63.5 +/- 6.2 (51)
Axila	9.81 +/- 0.89 (11.6)	0.42 +/- 0.33 (1.1)	7.2 +/- 2.9 (3.5)	
Punto de Erb				

Se muestran los valores de referencia en la estimulación del nervio motor

ESTIMULACIÓN DEL NERVI0 MEDIANO SENSITIVO. [2,3]

Estimulación antidrómica.

Registro.

Electrodo activo: Falange proximal del dedo índice.
 Electrodo de referencia: Situado 4 cm distales al electrodo activo.
 Electrodo tierra: Entre los 2 anteriores.

Estimulación.

Colado: Colocado 13 cm proximales al electrodo activo sobre la superficie del nervio.

Parámetros: Idénticos a los explicados anteriormente para esta modalidad de estimulación. En la tabla 2 se indican los valores normales en este tipo de estimulación.

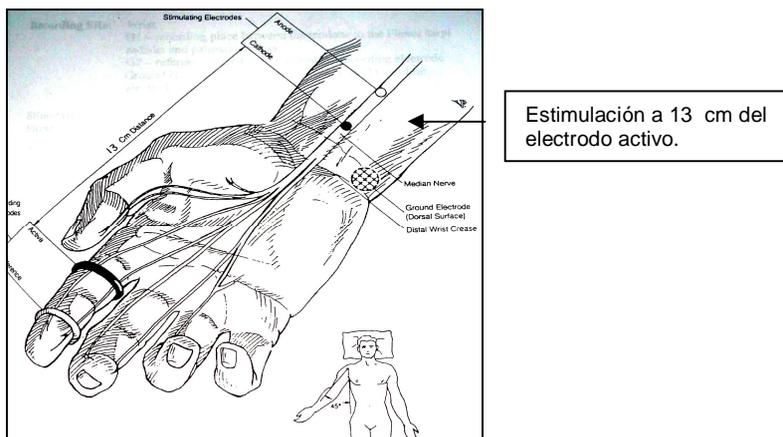


Fig. 11. Estimulación sensitiva antidrómica del nervio mediano.

Tabla 2. VALORES NORMALES EN LA ESTIMULACIÓN DEL NERVI0 MEDIANO SENSITIVO. [3]

Sitio de Estimulo	Latencia Absoluta ms.	Latencia Interlado ms	Amplitud. uV	Velocidad de Conducción. m/seg
Palma	1.37 +/- 0.24 (1.9)	0.15 +/- 0.11 (0.8)	39 +/- 16.8 (20)	58.8 +/- 5.8 (47)
Muñeca	2.84 +/- 0.34 (3.5)	0.18 +/- 0.14 (0.5)	2.84 +/- 0.34 (3.5)	56.2 +/- 5.8 (44)
Codo.	-----	-----	-----	61.9 +/- 4.2 (53)

Se observan los valores de referencia en estimulación del nervio mediano sensitivo.

ESTIMULACIÓN DEL NERVIIO CUBITAL.

Anatomía. [6]

Desde las raíces de C7 y C8 y el cordón medial, se sitúa inicialmente medialmente a la arteria axilar y al inicio de la arteria braquial, después, a nivel del tercio medio del brazo, parte desde éste hacia la periferia medial del brazo en dirección del septo intermuscular medial, yendo con frecuencia en su espesor, y en la mitad inferior del brazo se aloja detrás de la misma. En compañía de la arteria colateral ulnar superior sigue sobre la cabeza medial del tríceps del brazo hacia abajo, en el canal formado entre el epicóndilo medial del húmero y el olécranon, donde se aloja sobre el hueso en el surco del nervio ulnar y está cubierto solo con fascia y piel.

Al salir del canal cubital pasa entre las cabezas del m. cubital anterior, por dentro de la arteria y las venas ulnares. En el antebrazo el tendón del cubital anterior lo cubre junto con los vasos. En el antebrazo en su tercio inferior el nervio se divide en un ramo dorsal y un ramo palmar.

Ramos del nervio cubital

Ramos musculares: para el cubital anterior, flexor profundo de los dedos 4° y 5°, rama comunicante con el nervio mediano.

Ramo articular: para la bolsa articular de la articulación del codo.

Ramo cutáneo palmar: parte de las porciones inferiores del antebrazo, emite un ramo para la arteria ulnar y al perforar la fascia del antebrazo entre el m. cubital anterior y el flexor superficial de los dedos, se dirige a la piel del borde ulnar de la articulación radiocarpiana.

Ramo dorsal: pasa entre el hueso del cúbito, cerca de su cabeza y el tendón del cubital anterior, perfora la fascia y se dirige a la cara dorsal cubital de la mano.

Ramo palmar: es continuación del tronco basilar del nervio ulnar, al llegar al hueso pisiforme, en su lado radial, se aloja entre el m. palmar breve y el retináculo de los m. flexores, dividiéndose en ramo superficial y profundo. Del ramo superficial parten ramos cutáneos, digital palmar común y propio. El ramo profundo pasa a través de la base de los m. que forman la región Hipotenar, perfora el m. oponente, penetra junto con el ramo palmar profundo de la arteria ulnar en el espacio palmar profundo, entre los tendones de los m. flexores largos y los interóseos. Va arqueadamente, casi por el trayecto del arco arterial palmar profundo hacia el primer dedo, este emite ramos comunicantes, articulares, musculares.

Inervación Motora.

El nervio Cubital inerva a los músculos cubital anterior, flexor profundo en sus vientres para 4° y 5°, flexor propio del meñique, adductor del 5°, oponente del 5°, lumbricales 3° y 4°, todos los interóseos, parte del flexor corto del 1°, adductor del pulgar.

Inervación Sensitiva.

En la mano se encarga de inervar sensitivamente a la piel de la región palmar y dorsal del tercio cubital del carpo y región metacarpiana, 5° dedo y lado cubital del 4°. La zona autónoma está comprendida por la piel que cubre la falange media y distal del 5° dedo.

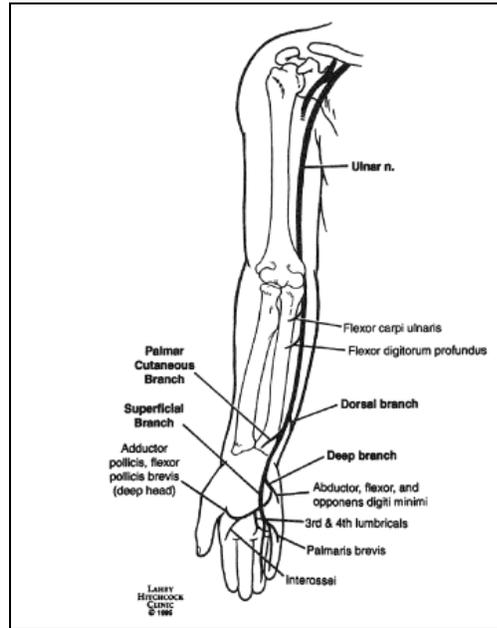


Fig. 12. Nervio cubital

ESTIMULACIÓN MOTORA DEL NERVIO CUBITAL. [2,3]

Registro.

Los sitios de registro son:

- Electrodos activos*: Situado en el músculo abductor digiti minimi (ADM).
- Electrodos de referencia*: Situados a 4 cm en dirección distal respecto al electrodo activo.
- Electrodos de tierra*: Colocados sobre una prominencia ósea entre los electrodos activo y de referencia.

Estimulación.

- **A nivel de la muñeca:** Cátodo situado 7 a 8 cm proximal al electrodo activo situado sobre el músculo ADM.
- **Debajo del codo:** 3 cm distales al epicóndilo medial.
- **Arriba del codo:** 3 cm proximales al epicóndilo medial.
- **Antebrazo:** 10 cm proximales al punto de estimulación.

Parámetros: Idénticos a los anteriormente descritos para esta modalidad de estimulación.

En la tabla 3 se indican los valores normales en estimulación de fibras motoras de nervio cubital.

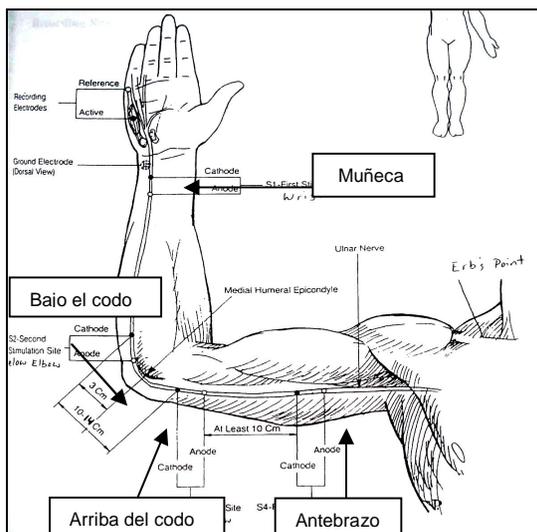


Fig. 13. Sitios de estimulación de fibras motoras del nervio cubital.

Tabla 3. VALORES NORMALES EN LA ESTIMULACIÓN MOTORA DEL NERVIO CUBITAL. [3]

Sitio de Estimulo	Latencia Absoluta. msec	Amplitud mV.	Velocidad. m/seg
Muñeca	2.59 +/- 0.39 (3.4)	5.7 +/- 2.0 (2.8)	58.7 +/- 5.1 (49)
Abajo del Codo	6.10 +/- 0.69 (7.5)	5.5 +/- 2.0 (2.7)	61.0 +/- 5.5 (50)
Arriba del Codo	8.04 +/- 0.76 (9.6)	5.5 +/- 1.9 (2.7)	66.5 +/- 6.3 (54)
Axila	9.9 +/- 0.91 (11.7)	5.6 +/- 2.1 (2.7)	

Se muestran los valores normales en neuroconducción motora del nervio cubital.

ESTIMULACIÓN SENSITIVA DEL NERVIO CUBITAL. [2,3]

Registro.

Electrodo activo: Falange proximal del 5º dedo.

Electrodo de referencia: Sitado en dirección distal a 3 cm del electrodo activo.

Electrodo de tierra: Sitado entre los 2 anteriores.

Estimulación.

Cátodo situado a 11 cm en dirección proximal respecto al electrodo activo, sobre la superficie del nervio.

Parámetros: Idénticos a los explicados anteriormente para esta modalidad de estimulación.

En la tabla 4 se indican los valores normales en esta modalidad de estimulación.

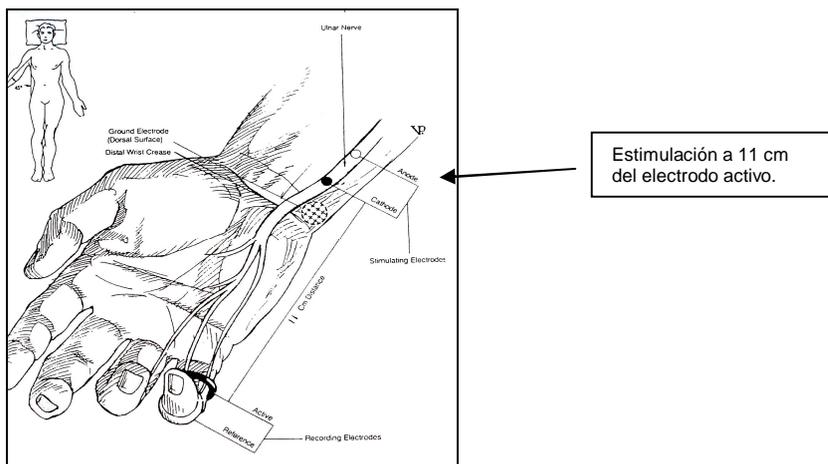


Fig. 14. Estimulación sensitiva del nervio cubital.

Tabla 4. VALORES NORMALES EN LA ESTIMULACIÓN SENSITIVA DEL NERVIO CUBITAL. [3]

Sitio de Estimulo	Latencia Absoluta mseg.	Amplitud. uV.	Velocidad. m/seg.
Muñeca	2.54 +/- 0.29 (3.1)	35.0 +/- 14.7 (18)	64.7 +/- 5.4 (53)
Por abajo del Codo	5.67 +/- 0.59 (6.9)	28.8 +/- 12.2 (15)	66.7 +/- 6.4 (54)

Se observan los valores normales del nervio cubital sensitivo.

ESTIMULACIÓN MAGNÉTICA DE NERVIO PERIFÉRICO.

Antecedentes.

Una de las herramientas neurofisiológicas más recientemente incorporadas al estudio de las enfermedades del sistema nervioso es la estimulación magnética (EM). Esta técnica permite la estimulación incruenta del tejido nervioso (córtez, medula espinal y nervios periféricos) de manera no invasiva e indolora, y permite interferir en la actividad normal del cerebro. Esto la presenta como un instrumento lleno de posibilidades para el investigador, y ya son numerosos y diversos los estudios llevados a cabo con EMT.

La EMT se basa en el principio de inducción electromagnética descrito por Michael Faraday en 1838. Cuando aplicamos EM, una corriente eléctrica pasa a través de una bobina de estimulación situada sobre el tejido a explorar; si ésta tiene la suficiente fuerza y precisa duración, rápidamente se generan campos magnéticos, los cuales inducen una corriente eléctrica en el tejido neural, cuyo volumen depende de la forma y tamaño de la bobina de estimulación, de la fuerza (intensidad) del campo magnético y de la frecuencia y la duración de los pulsos magnéticos producidos. [9,10]

Anthony Barker, en 1985, fue el primero en utilizar esta técnica (en estimulación transcraneal), tal y como ahora la conocemos, para evaluar en un ser humano de forma no invasiva, segura e indolora la integridad de las vías motoras centrales a través de la activación del córtex motor. [11, 17]

Parámetros generales de la estimulación magnética.

Durante la EM, se deben tener en cuenta distintos aspectos que ha de controlar y que se deben considerar a la hora de explicar las respuestas del sistema nervioso a la estimulación. Las variables más importantes son: la frecuencia de estimulación, la intensidad del campo magnético producido, la forma y orientación de la bobina de estimulación y el lugar de estimulación.

Según la frecuencia de estimulación, podemos hablar de EM simple, apareada o repetitiva. En la EM simple se produce un pulso de una frecuencia inferior a 1 Hz en un momento y con una duración determinada. Su resolución temporal es excelente, y es capaz de despolarizar neuronas del campo magnético y producir una respuesta medible.

En la EMT repetitiva se aplican trenes de pulsos con una frecuencia de hasta 50 Hz durante decenas, centenas o miles de milisegundos, por lo que se suele dividir entre EM repetitiva de baja frecuencia y de alta frecuencia. La EMT repetitiva es útil para localizar áreas cerebrales que interfieren en una función, pero no posee la capacidad temporal de la EM simple. [12, 13,14]

Otro factor que el investigador puede controlar es la intensidad del campo magnético producido, al modificar la intensidad del flujo de corriente que pasa a través de la bobina de estimulación. Una determinada intensidad de estimulación tendrá mayor efecto si se aplica durante la actividad que durante el reposo. Esto se debe a que un estímulo magnético evoca una actividad sináptica, y tiene un efecto mayor en las neuronas. [15, 16]

La estimulación con la EMT no es excesivamente focal. El foco del campo magnético depende de la forma de la bobina de estimulación. Barker et al [17] explican que los principios de la física muestran que el área donde se producen las corrientes eléctricas es al menos tan grande como el anillo usado para la estimulación. Las bobinas más usadas son de dos tipos, con forma circular y con forma de ocho. La bobina circular produce un campo eléctrico más distribuido, lo que permite la estimulación bihemisférica. Ésta se utiliza para el estudio de los tiempos de conducción motora central. Sin embargo, la bobina de estimulación en forma de ocho produce un campo eléctrico que tiene su máximo bajo la unión de los dos aros, aunque un campo eléctrico menor se encuentre bajo el resto de la superficie de la bobina. [14, 17]

Otra característica que se debe tener en cuenta es la orientación de la bobina estimuladora con respecto al sitio de exploración, pues puede influir en los elementos que se activan por la corriente eléctrica. También se ha de considerar el tipo de estimulador empleado a la hora de diseñar un estudio o interpretar los resultados de una investigación. [16]

Estimulación magnética de nervio periférico.

La exploración del sistema nervioso periférico por medio de estimulación magnética fue descrita por primera vez en experimentos realizados en ranas en 1959, y fue reportada por primera vez en seres humanos en 1982. [17]

La utilidad clínica de esta modalidad de estimulación en patología de nervio periférico no ha sido a la fecha bien establecida. Existen estudios realizados en voluntarios sanos, como el realizado en el año de 1990 por Olney y colaboradores [14], donde evaluaron 5 sujetos sanos, comparando estimulación nerviosa periférica motora y sensitiva por estimulación magnética y eléctrica, realizado comparación de las variables amplitud, velocidad de conducción y latencia. Los resultados encontrados demostraron escasa variabilidad (no significativa) en los resultados obtenidos en ambas modalidades de estimulación.

En el año 2007, Van Soens [15] y colaboradores realizaron un estudio piloto en perros, comparando los valores de amplitud, latencia y velocidad de conducción por medio de estimulación eléctrica y magnética de los nervios radiales y ciáticos, obteniendo resultados con variabilidad no significativa.

En resumen, los estudios antecedentes antes citados arrojan resultados prometedores, que pueden ser aplicables en situaciones especiales.

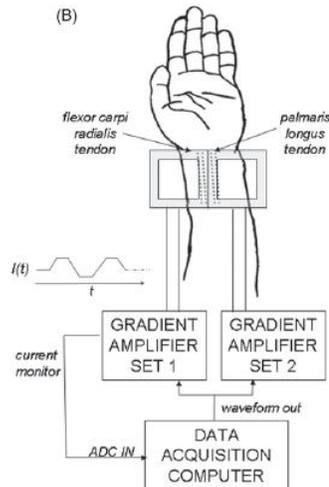


Fig. 15. Estimulación magnética de nervio periférico.

2) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde la década de los años 80's, la estimulación magnética ha sido utilizada para activar diversas estructuras nerviosas, las cuales incluyen corteza cerebral y médula espinal con fines clínicos y de investigación. [17] Sin embargo la estimulación magnética aplicada a estudios de conducción nerviosa periférica no es actualmente una herramienta de rutina, siendo las principales limitantes la dificultad para obtener resultados consistentes al aplicar estímulos supramáximos y a la escasa precisión en el sitio de estimulación. A la fecha existe poca bibliografía disponible que arroje resultados positivos que puedan establecer bases sólidas sobre el uso de esta técnica como una herramienta útil y/o alternativa a la estimulación eléctrica en el estudio de las enfermedades de nervio periférico.

3) HIPÓTESIS

La estimulación magnética de nervio periférico es un método potencialmente útil, no invasivo y alternativo en el estudio de la neuroconducción periférica y que comparado con la estimulación eléctrica no posee variabilidad significativa.

4) OBJETIVOS

General:

Demostrar que las cifras de latencia de inicio, latencia pico, amplitud y velocidad de conducción de fibras sensitivas no poseen variabilidad estadísticamente significativa al comparar estudios de conducción nerviosa periférica por medio de estimulación magnética contra estimulación eléctrica.

Específicos:

Describir las diferencias entre la estimulación magnética de nervio periférico y la estimulación eléctrica, en función al grado de molestias percibidas por los sujetos sometidos a estudio.

5) JUSTIFICACIÓN

La estimulación magnética de nervio periférico no es actualmente una herramienta neurofisiológica utilizada como estudio de conducción nerviosa periférica, lo anterior es debido a la dificultad para obtener resultados consistentes al aplicar estímulos supramáximos y a la escasa precisión en el sitio de estimulación.

El presente estudio pretende ofrecer una alternativa útil en la evaluación del nervio periférico en Neurofisiología Clínica; pues la estimulación magnética de nervio periférico puede constituir un método no invasivo y menos doloroso que la estimulación eléctrica, lo cual es puede ser una opción al evaluar pacientes en edad pediátrica y/o poco cooperadores (deterioro cognitivo, ansiedad, demencia, trastornos psiquiátricos).

6) METODOLOGÍA

Sujetos de estudio.- Para el estudio se seleccionaron a pacientes mayores de 18 años con ausencia de sintomatología sensitiva o motora así como de enfermedad crónica, fueron excluidos del estudio todos aquellos pacientes que presentaran alguna patología asociada a enfermedad de sistema nervioso periférico.

Tamaño de la muestra.- En base a experiencia previa del investigador, y estudios previos realizados por Olney y Van Soens [14,15] se seleccionaron a 12 individuos sanos bajo los criterios arriba señalados.

Instrumentos de medición. La *estimulación eléctrica* fue realizada con un equipo XCalibur EMG Versión 1.5. Copyright Excel Tech Ltd. 2002 - 2006

La *estimulación magnética* fue realizada por medio de un equipo magstim (número de serie 83370092) 2 X T5 A 220 – 240V, 50 – 60 Hz. El estimulador utilizado fue de tipo circular de 14 cm de diámetro externo y 6 cm de diámetro interno.

Procedimiento.- A todos los pacientes se les registraron respuestas por estimulación eléctrica y magnética de fibras motoras de los nervios medianos a nivel de la muñeca y el codo, así como de los nervios cubitales a nivel de la muñeca y por debajo del codo. Las respuestas sensitivas de ambos nervios fueron obtenidas de modo similar a la citada anteriormente.

Posición de los electrodos de registro.- Los sitios de registro en modalidades eléctrica y magnética fueron basados en la técnica descrita por Olney [14] *para los nervios medianos y cubitales motores*; se describen a continuación (ver figuras 16 a 23):

- Electrodos activos:* Electrodos de superficie situados en los músculos abductor pollicis brevis (APB) y abductor digiti minimi (ADM) para los nervios medianos y cubitales respectivamente.
- Electrodos de referencia:* Situados sobre los tendones de dichos músculos con 4 cm de separación respecto al electrodo activo.
- Electrodos de tierra:* Colocados sobre una prominencia ósea entre los electrodos activo y de referencia.

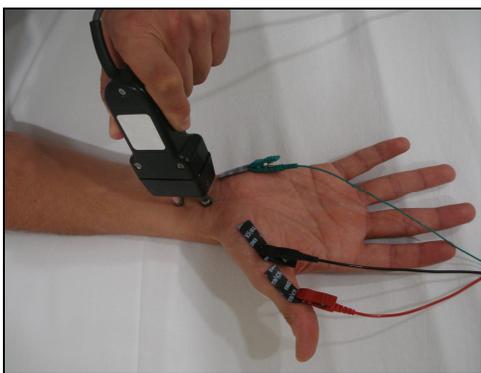


Fig. 16. Nervio mediano motor:
estimulación eléctrica

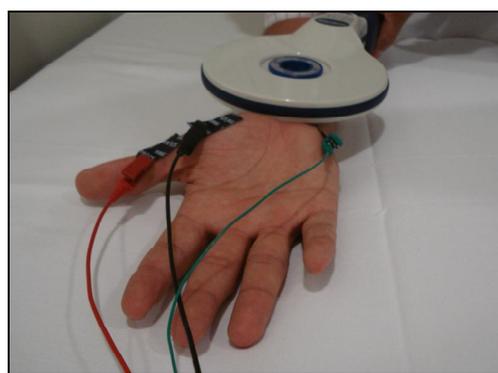


Fig. 17. Nervio mediano motor:
estimulación magnética.

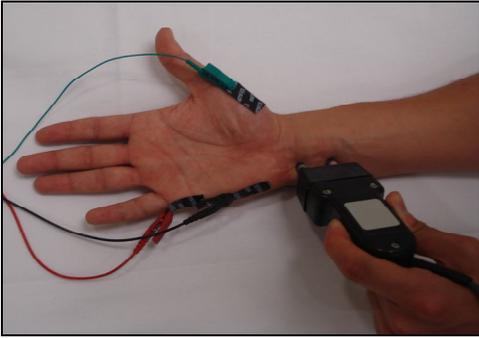


Fig. 18. Nervio cubital motor:
estimulación eléctrica

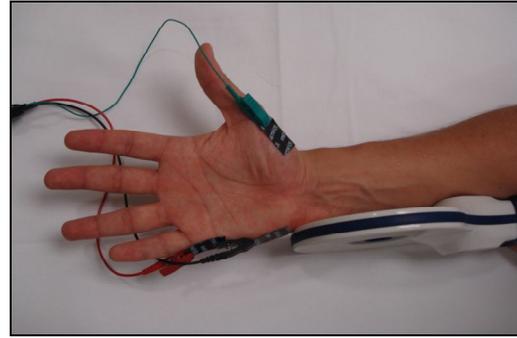


Fig. 19. Nervio cubital motor:
estimulación eléctrica

No se realizó promediación de la señal, por tratarse de estudios de neuroconducción periférica.

Los sitios de registro para fibras sensitivas para los nervios medianos en estimulación magnética y eléctrica fueron:

- Electrodo activo:* Falange proximal del dedo índice.
- Electrodo de referencia:* Situado 4 cm distales al electrodo activo.
- Electrodo tierra:* Entre los 2 anteriores.

Para los nervios cubitales sensitivos en ambas modalidades fueron:

- *Electrodo activo:* Falange proximal del 5º dedo.
- *Electrodo de referencia:* Situado en dirección distal a 3 cm del electrodo activo.
- *Electrodo de tierra:* Situado entre los 2 anteriores.

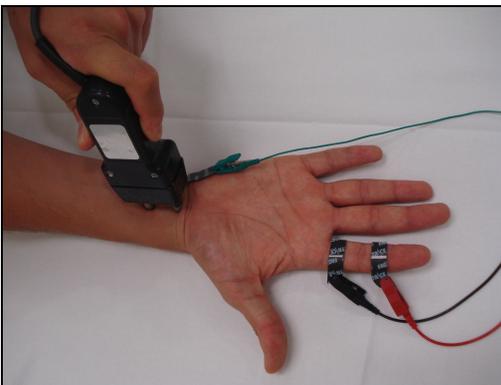


Fig. 20. Nervio mediano sensitivo:
estimulación eléctrica.

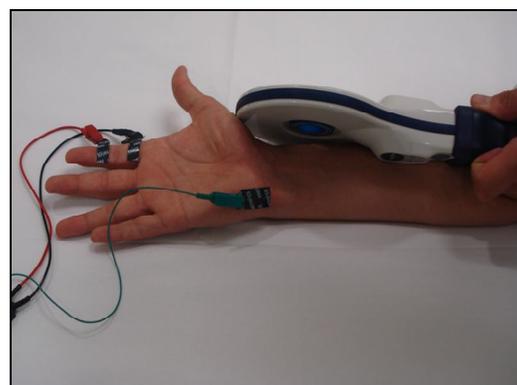


Fig. 21. Nervio mediano sensitivo:
estimulación magnética.

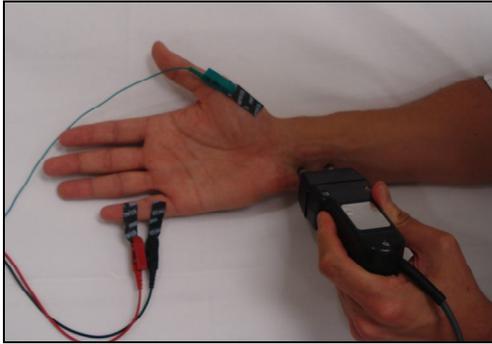


Fig. 22. Nervio cubital sensitivo:
estimulación eléctrica

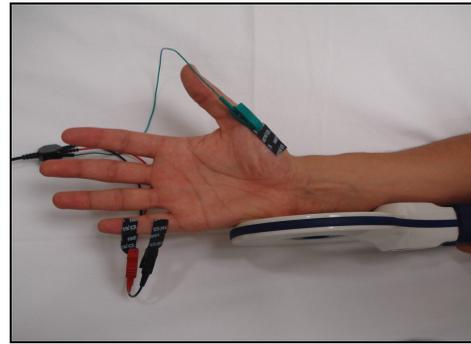


Fig. 23. Nervio cubital sensitivo :
estimulación magnética.

Sitios de estimulación.- Para la estimulación eléctrica en nervios motores (ver figuras 16 a 23):

- Nervio mediano: A **nivel de la muñeca** (cátodo situado a 8 cm proximal al electrodo activo situado sobre el músculo APB) y a **nivel del codo** (cátodo en la fosa antecubital) de forma bilateral.

- Nervio cubital: A **nivel de la muñeca** (cátodo situado a 8 cm proximal al electrodo activo situado sobre el músculo ADM) y **debajo del codo** (cátodo a 5 cm distal al epicóndilo medial) de forma bilateral.

En ambos casos se utilizaron estímulos supramáximos.

Para estimulación eléctrica de nervios sensitivos:

- Nervio mediano: Cátodo colocado 13 cm proximales al electrodo activo sobre la superficie del nervio.

- Nervio cubital: Cátodo situado a 11 cm en dirección proximal respecto al electrodo activo, sobre la superficie del nervio.

La temperatura de las extremidades fue determinada entre 32.0°C y 32.5°C en todos los pacientes durante la realización del estudio.

Para la estimulación magnética en los nervios medianos y cubitales (motores y sensitivos), los sitios de estimulación fueron idénticos a los descritos anteriormente, ya que la porción central de la bobina magnética circular se colocó de forma tangencial al eje mayor de la extremidad en estudio, en posiciones análogas a las del cátodo utilizadas en la estimulación eléctrica; esta técnica fue descrita anteriormente por Olney y colaboradores. [14].

Parámetros de estimulación.- La *estimulación eléctrica* se administró en forma de pulsos cuadrados a corriente constante con duración de 0.2 msec; frecuencia de estímulo de 1 a 2 Hz, mientras que la intensidad de corriente para las velocidades de conducción sensitiva osciló de 12 a 17 mA, mientras que para las velocidades de conducción motora la intensidad del corriente fue de 25 a 75 mA; la cual fue aplicada por medio de un estimulador bipolar en los sitios de estimulación ya mencionados.

Las impedancias se mantuvieron por debajo de ohms, mientras que los filtros de banda en neuroconducción motora se situaron de 2 Hz – 10 KHz, y para la sensitiva entre 20 Hz – 2 KHz.

En la *estimulación magnética*, la bobina circular fue situada con el mango paralelo al eje de la extremidad y orientando la porción central del disco hacia los puntos de estimulación ya mencionados. Las intensidades magnéticas de estimulación, expresadas en porcentaje se situaron en 30% para estimulación de fibras sensitivas y 85 a 87% para fibras motoras. Estos parámetros están basados en la técnica propuesta por Barker [17] y Olney [14].

Manejo y obtención de los datos.- Los resultados y las gráficas obtenidas tras la estimulación, fueron sujetos a determinación de latencia de inicio (para fibras motoras), latencia pico (para fibras sensitivas), amplitud pico a pico utilizando los cursores en la pantalla de registro. Por medio de la relación distancia / tiempo se determinó la velocidad de conducción nerviosa de fibras sensitivas y motoras, estas determinaciones se definen a continuación:

- *Latencia de inicio*: Medida entre la aplicación del estímulo y el inicio de la primera deflexión negativa obtenida desde la línea de base, determinada en mseg.
- *Latencia pico*: Tiempo que transcurre entre el estímulo al pico de la deflexión negativa. Determinada en mseg.
- *Amplitud*: Medida de la máxima deflexión positiva a la máxima deflexión negativa, determinada en microvoltios para las fibras sensitivas y milivoltios para las motoras.
- *Velocidad de conducción nerviosa*: Determinada por la relación distancia – tiempo de acuerdo a los puntos de estimulación señalados; determinada en metros / segundo (m/s).

De forma adicional, se aplicó la escala del dolor definiendo como 1 = sin dolor y 10 = máximo dolor a todos los participantes en el estudio con la finalidad de comparar el grado de molestia en la estimulación eléctrica en comparación con la magnética. Ver Fig. 24.

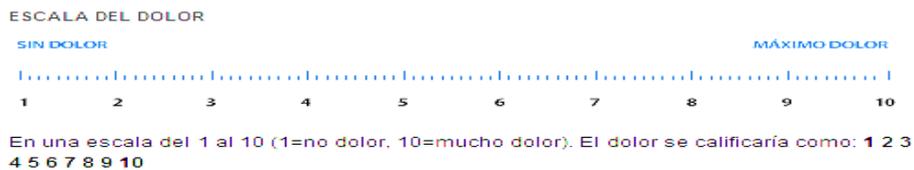


Fig. 24. Escala del dolor.

7) ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

Para el análisis de los datos se realizaron pruebas de estadística descriptiva e inferencial, con la finalidad de evaluar si existía diferencia significativa para $p \leq 0.05$ entre las variables latencia de inicio, latencia pico, amplitud pico a pico y velocidades de conducción, las cuales fueron obtenidas tras la estimulación magnética y eléctrica de los nervios medianos y cubitales en fibras motoras y sensitivas, por lo que se utilizó la prueba “t” de student, para comparar los resultados obtenidos con dichas técnicas de estimulación; por último se evaluó si existe una posible relación entre amplitud pico a pico vs latencia de inicio, utilizando el intervalo de confianza para la media con la siguiente fórmula:

$$\left[\bar{X} - t_{\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) < \mu < \bar{X} + t_{\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \right]$$

8) RESULTADOS

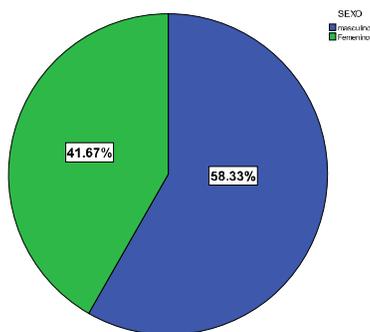
Se sometieron a estudio 12 sujetos sanos, 7 del sexo masculino (53.8%) y 5 del sexo femenino (38.5%); el promedio de edad fue de 32.66 ± 7.64 años (promedio \pm desviación estándar); con un rango de edades de 24 a 50 años. Ver tabla 5 y gráfica 1.

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUJETOS EN ESTUDIO.

		SEXO		Total
		Masculino	Femenino	
EDAD (años)	24	0	1	1
	28	2	1	3
	30	1	1	2
	31	1	0	1
	33	2	0	2
	36	0	1	1
	37	1	0	1
	54	0	1	1
	Total		7	5

Se observa la frecuencia con respecto al sexo del grupo de estudio

Gráfica 1. Porcentaje de sujetos por sexo.



Se observa que el 58.33% de los sujetos del estudio fueron del sexo masculino.

Comportamiento de la amplitud en la estimulación de fibras motoras.- Se realizó estimulación eléctrica y magnética motora supramáxima de los nervios medianos y cubitales, tanto a nivel de la muñeca como al nivel del codo. Los resultados se describen como promedio \pm desviación estándar.

A nivel distal (estimulación en la muñeca) se encontraron los siguientes resultados:

Para el nervio mediano el promedio de amplitud estimulación eléctrica fue de $9.78 \text{ mV} \pm 1.12$, en estimulación magnética, resultó de $9.60 \text{ mV} \pm 1.67$.

Para el nervio cubital por estimulación eléctrica fue de $8.55 \text{ mV} \pm 1.03$, en estimulación magnética $8.58 \text{ mV} \pm 1.46$. Ver tabla 6.

En estimulación a nivel del codo:

En el nervio mediano por estimulación eléctrica el promedio fue de $9.23 \text{ mV} \pm 1.52$; así mismo en estimulación magnética resultó en $9.27 \text{ mV} \pm 1.35$; para el nervio cubital resultó en $8.44 \text{ mV} \pm 0.32$ y $8.42 \text{ mV} \pm 0.45$ respectivamente. Ver tabla 7.

Al realizar el análisis con la prueba "t" de student, para analizar la diferencia entre amplitudes, latencias y velocidades de conducción de fibras motoras obtenidas por medio de estimulación eléctrica y estimulación magnética de fibras motoras, no se encontró variabilidad en ninguno de los pares analizados, para una significancia de $p \leq 0.05$ en todos los sitios de estimulación tanto en nervios medianos como cubitales, (ver tabla 8) en donde los pares analizados fueron:

EAMelm: Amplitud del n. mediano izquierdo en muñeca eléctrica ----
EAMeDm: Amplitud del n. mediano derecho en muñeca eléctrica ---
ELMeIm: Latencia del n. mediano izquierdo en muñeca eléctrica ---
ELMeDm: Latencia del n. mediano derecho en muñeca eléctrica ---
EVCMeI: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo eléctrica ---
EVCMeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho eléctrica ---
EACuIm: Amplitud n. cubital izquierdo en muñeca eléctrica -----
EACuDm: Amplitud n. cubital derecho en muñeca eléctrica -----
ELCuIm: Latencia n. cubital izquierdo en muñeca eléctrica -----
ELCuDm: Latencia n. cubital derecho en muñeca eléctrica -----
EVCCuI: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo eléctrica ----
EVCCuD: Velocidad de conducción n. cubital derecho eléctrica ---
EAMelc: Amplitud n. mediano izquierdo en codo eléctrica -----
EAMeDc: Amplitud n. mediano derecho en codo eléctrica -----
ELMelc: Latencia n. mediano izquierdo codo eléctrica -----
ELMeDc: Latencia n. mediano derecho codo eléctrica -----
EACulc: Amplitud n. cubital izquierdo codo eléctrica -----
EACuDc: Amplitud n. cubital derecho codo eléctrica -----
ELCulc: Latencia n. cubital izquierdo codo eléctrica -----
ELCuDc: Latencia n. cubital derecho codo eléctrica -----

MAMeIm: Amplitud del n. mediano izquierdo en muñeca magnética.
MAMeDm: Amplitud del n. mediano derecho en muñeca magnética.
MLMeIm: Latencia del n. mediano izquierdo en muñeca magnética.
MLMeDm: Latencia del n. mediano derecho en muñeca magnética.
MVCMeI: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo magnética.
MVCMeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho magnética.
MACuIm: Amplitud n. cubital izquierdo en muñeca magnética.
MACuDm: Amplitud n. cubital derecho en muñeca magnética.
MLCuIm: Latencia n. cubital izquierdo en muñeca magnética.
MLCuDm: Latencia n. cubital derecho en muñeca magnética.
MVCCuI: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo magnética.
MVCCuD: Velocidad de conducción n. cubital derecho magnética.
MAMelc: Amplitud n. mediano izquierdo en codo magnética.
MAMeDc: Amplitud n. mediano derecho en codo magnética.
MLMelc: Latencia n. mediano izquierdo codo magnética.
MLMeDc: Latencia n. mediano derecho codo magnética.
MACulc: Amplitud n. cubital izquierdo codo magnética.
MACuDc: Amplitud n. cubital derecho codo magnética.
MLCulc: Latencia n. cubital izquierdo codo magnética.
MLCuDc: Latencia n. cubital derecho codo magnética.

Comportamiento de la latencia de inicio y velocidad de conducción motora en estimulación de fibras motoras.- Para la variable latencia de inicio, se realizó estimulación eléctrica y magnética nivel de la muñeca y el codo. Los resultados se describen como promedio \pm desviación estándar.

En la muñeca, al estimular eléctricamente el nervio mediano resultó en $2.44 \text{ ms} \pm 0.39$; mientras que en estimulación magnética en 2.51 ± 0.34 . Para el nervio cubital se encontró en 2.56 ± 0.34 y 2.61 ± 0.28 respectivamente. Ver tabla 6.

A nivel del codo, al realizar estimulación eléctrica del nervio mediano, la latencia de inicio se demostró en 6.64 ± 0.54 , mientras que en estimulación magnética en 6.69 ± 0.42 . En el nervio cubital resultó en 6.31 ± 0.90 y 6.47 ± 1.00 respectivamente. Ver tabla 7.

En lo referente a velocidades de conducción nerviosa, para el nervio mediano por medio de estimulación eléctrica resultó en $67.58 \text{ m/seg} \pm 4.88$; en estimulación magnética se encontró en 64.83 ± 7.42 . El promedio de las velocidades para el nervio cubital por estimulación eléctrica se encontró en $63.33 \text{ m/seg} \pm 7.71$, en estimulación magnética resultó en $62.83 \text{ m/seg} \pm 8.69$. Ver tabla 6.

De forma similar, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en los valores de latencia de inicio y velocidades de conducción en los pares ya referidos en ninguno de los nervios estudiados, el valor de p se encontró ≥ 0.05 . Ver tabla 8.

TABLA 6. RESULTADOS EN NEUROCONDUCCIÓN MOTORA EN LA MUÑECA

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	D.E.
Amplitud mediano eléctrica	12	6.95	10.98	9.78	1.12
Amplitud mediano magnética	12	6.09	12.10	9.60	1.67
Latencia inicio mediano eléctrica	12	2.15	3.20	2.44	0.39
Latencia inicio mediano magnética	12	2.23	3.25	2.51	0.34
VC mediano eléctrica	12	59.00	78.00	67.58	4.88
VC mediano magnética	12	52.00	81.00	64.83	7.42
Amplitud cubital eléctrica	12	6.68	10.20	8.55	1.03
Amplitud cubital magnética	12	6.03	11.08	8.58	1.46
Latencia inicio cubital eléctrica	12	2.17	3.10	2.56	0.34
Latencia inicio cubital magnética	12	2.30	3.11	2.61	0.28
VC cubital eléctrica	12	57.00	86.00	63.33	7.71
VC cubital magnética	12	50.00	84.00	62.83	8.69

Resultados obtenidos tras estimulación de fibras motoras en la muñeca

N: Número de pacientes; VC: velocidad de conducción; DE: Desviación estándar

TABLA 7. NEUROCONDUCCIÓN MOTORA A NIVEL DE CODO

Variable	N	Mínimo	Máximo	Media	DE
Amplitud mediano eléctrica	12	6.86	12.22	9.2358	1.52
Amplitud mediano magnética	12	6.10	11.53	9.2717	1.35
Latencia inicio mediano eléctrica	12	5.83	7.53	6.6475	0.54
Latencia inicio mediano magnética	12	5.93	7.25	6.6992	0.42
Amplitud cubital eléctrica	12	8.08	8.94	8.4492	0.32
Amplitud cubital magnética	12	7.62	8.98	8.4200	0.45
Latencia inicio cubital eléctrica	12	4.67	7.83	6.3183	0.90
Latencia inicio cubital magnética	12	5.12	8.26	6.4775	1.00

Resultados obtenidos tras la estimulación de nervios motores en el codo.

N: Número de pacientes; VC: velocidad de conducción; DE: Desviación estándar

TABLA 8. NEUROCONDUCCIÓN MOTORA DE LOS NERVIOS MEDIANOS Y CUBITALES A NIVEL DE LA MUÑECA Y EL CODO.

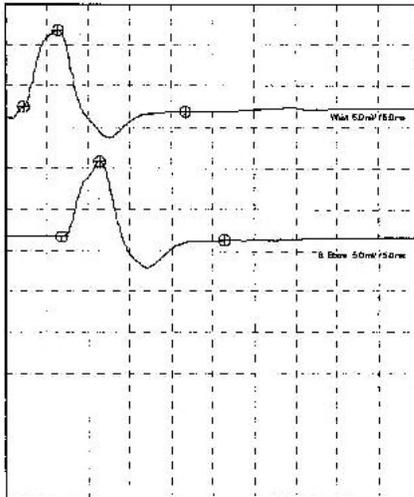
Nervio		Media	Desviación estándar	Significancia
Par 1	EAMelm – MAMelm	.23167	.82780	.353
Par 2	EAMeDm – MAMeDm	.21167	.69447	.314
Par 3	ELMelm – MLMelm	-.04917	.13028	.218
Par 4	ELMeDm – MLMeDm	-.07500	.12610	.064
Par 5	EVCMel – MVCMel	.83333	4.54939	.539
Par 6	EVCMeD – MVCMeD	2.75000	6.35503	.162
Par 7	EACulm – MACulm	.02333	.74247	.915
Par 8	EACuDm – MACuDm	-.02167	.70655	.917
Par 9	ELCulm – MLCulm	-.20083	.36155	.081
Par 10	ELCuDm – MLCuDm	-.05333	.21313	.405
Par 11	EVCCul – MVCCul	-.33333	3.84550	.770
Par 12	EVCCuD – MVCCuD	.50000	5.72872	.768
Par 13	EAMelc – MAMelc	-.03583	.75271	.872
Par 14	EAMeDc – MAMeDc	.16000	.73584	.467
Par 15	ELMelc – MLMelc	-.05167	.53833	.746
Par 16	ELMeDc – MLMeDc	-.00917	.04852	.526
Par 17	EACulc – MACulc	.02917	.58385	.866
Par 18	EACuDc – MACuDc	.26917	.67264	.193
Par 19	ELCulc – MLCulc	-.15917	.48564	.280
Par 20	ELCuDc – MLCuDc	-.25750	.67821	.215

Se muestran los pares analizados en estimulación de fibras motoras, ninguno de ellos muestra variabilidad significativa.

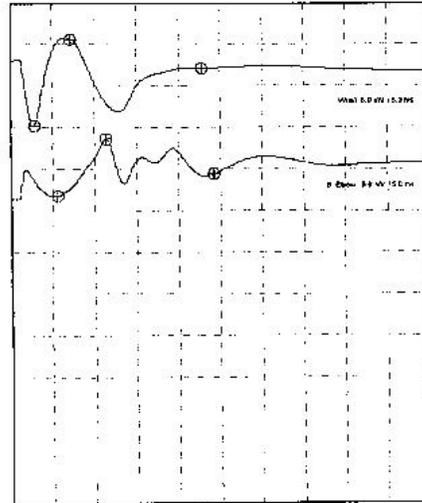
EAMelm: Amplitud del n. mediano izquierdo en muñeca eléctrica ---
EAMeDm: Amplitud del n. mediano derecho en muñeca eléctrica ---
ELMelm: Latencia del n. mediano izquierdo en muñeca eléctrica ---
ELMeDm: Latencia del n. mediano derecho en muñeca eléctrica ---
EVCMel: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo eléctrica ---
EVCMeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho eléctrica ---
EACulm: Amplitud n. cubital izquierdo en muñeca eléctrica -----
EACuDm: Amplitud n. cubital derecho en muñeca eléctrica -----
ELCulm: Latencia n. cubital izquierdo en muñeca eléctrica -----
ELCuDm: Latencia n. cubital derecho en muñeca eléctrica -----
EVCCul: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo eléctrica ---
EVCCuD: Velocidad de conducción n. cubital derecho eléctrica ---
EAMelc: Amplitud n. mediano izquierdo en codo eléctrica -----
EAMeDc: Amplitud n. mediano derecho en codo eléctrica -----
ELMelc: Latencia n. mediano izquierdo codo eléctrica -----
ELMeDc: Latencia n. mediano derecho codo eléctrica -----
EACulc: Amplitud n. cubital izquierdo codo eléctrica -----
EACuDc: Amplitud n. cubital derecho codo eléctrica -----
ELCulc: Latencia n. cubital izquierdo codo eléctrica -----
ELCuDc: Latencia n. cubital derecho codo eléctrica -----

MAMelm: Amplitud del n. mediano izquierdo en muñeca magnética.
MAMeDm: Amplitud del n. mediano derecho en muñeca magnética.
MLMelm: Latencia del n. mediano izquierdo en muñeca magnética.
MLMeDm: Latencia del n. mediano derecho en muñeca magnética.
MVCMel: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo magnética.
MVCMeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho magnética.
MACulm: Amplitud n. cubital izquierdo en muñeca magnética.
MACuDm: Amplitud n. cubital derecho en muñeca magnética.
MLCulm: Latencia n. cubital izquierdo en muñeca magnética.
MLCuDm: Latencia n. cubital derecho en muñeca magnética.
MVCCul: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo magnética.
MVCCuD: Velocidad de conducción n. cubital derecho magnética.
MAMelc: Amplitud n. mediano izquierdo en codo magnética.
MAMeDc: Amplitud n. mediano derecho en codo magnética.
MLMelc: Latencia n. mediano izquierdo codo magnética.
MLMeDc: Latencia n. mediano derecho codo magnética.
MACulc: Amplitud n. cubital izquierdo codo magnética.
MACuDc: Amplitud n. cubital derecho codo magnética.
MLCulc: Latencia n. cubital izquierdo codo magnética.
MLCuDc: Latencia n. cubital derecho codo magnética.

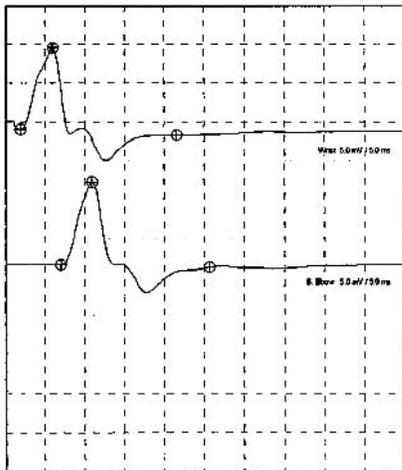
A continuación se muestran algunos ejemplos de las gráficas obtenidas en neuroconducción de fibras motoras con ambas técnicas de estimulación:



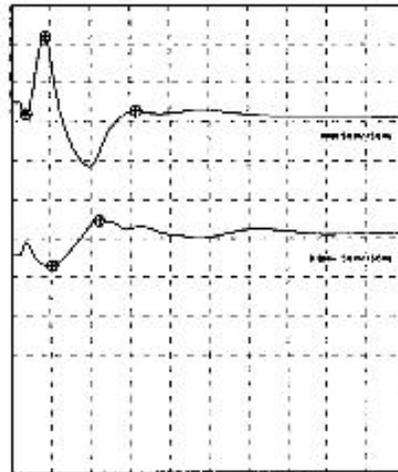
Nervio cubital motor: estimulación eléctrica (sujeto 1)



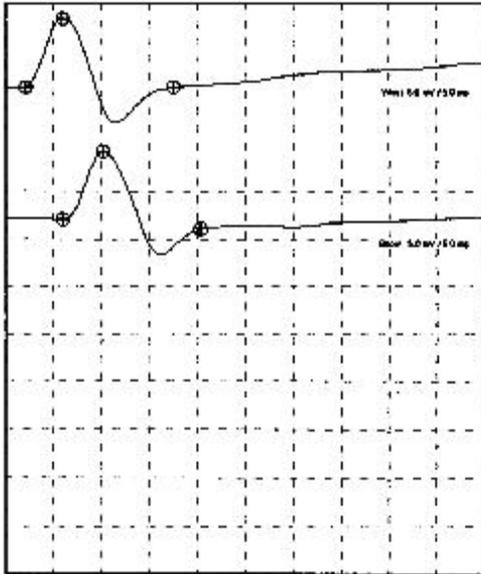
Nervio cubital motor: estimulación magnética (sujeto 1)



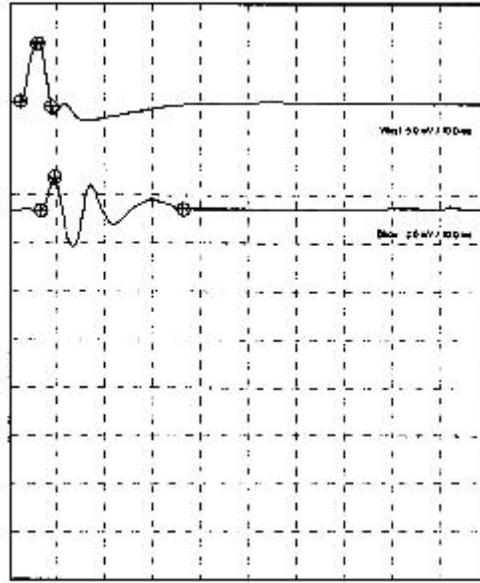
Nervio cubital motor: estimulación eléctrica (sujeto 2)



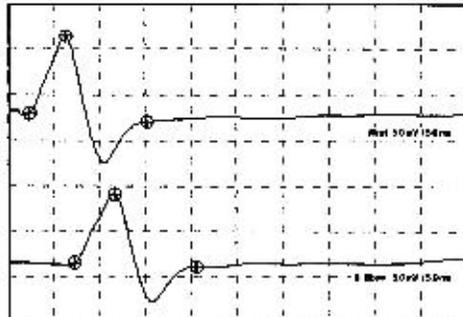
Nervio cubital motor: estimulación magnética (sujeto 2)



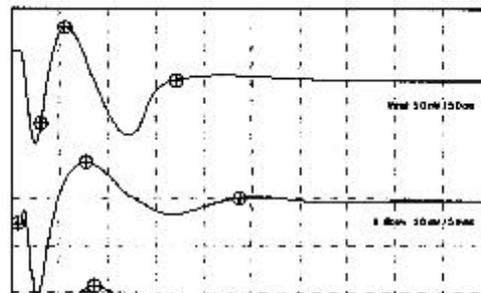
Nervio mediano motor: estimulación eléctrica (sujeto 2).



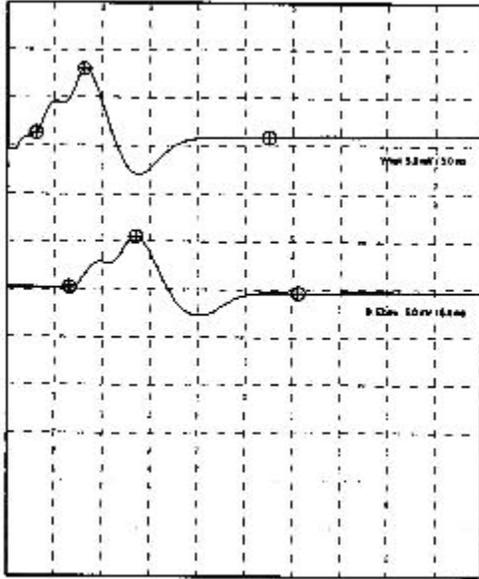
Nervio mediano motor: estimulación magnética (sujeto 2).



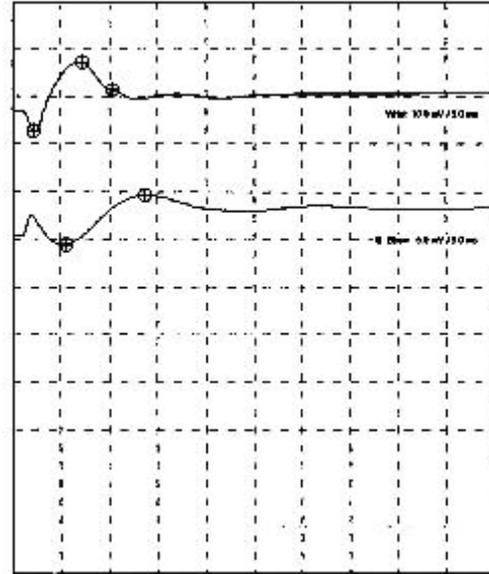
Nervio cubital motor: estimulación eléctrica (sujeto 3).



Nervio cubital motor: estimulación magnética (sujeto 3).



Nervio cubital motor: estimulación eléctrica (sujeto 4).



Nervio cubital motor: estimulación magnética (sujeto 4).

Comportamiento de la amplitud, latencia pico y velocidades de conducción en estimulación de fibras sensitivas.- Al evaluar estas tres variables por medio de ambas técnicas en nervios sensitivos, encontramos resultados con gran variabilidad y diferencias estadísticamente significativas, los resultados se describen a continuación como promedio \pm desviación estándar. Ver tabla 9.

Amplitud

Para los nervios medianos por estimulación eléctrica se encontró en $33.98 \mu\text{V} \pm 2.55$; mientras que por estimulación magnética en $14.55 \mu\text{V} \pm 6.38$. En los nervios cubitales resultó en $45.23 \mu\text{V} \pm 13.56$ y $20.46 \mu\text{V} \pm 9.78$ respectivamente.

Latencia pico.

En estimulación eléctrica del nervio mediano se demostró en $3.20 \mu\text{V} \pm 0.44$; mientras que en estimulación magnética lo hizo en $5.20 \mu\text{V} \pm 1.06$. Para los nervios cubitales, estos valores se encontraron en $3.19 \mu\text{V} \pm 0.28$ y $5.28 \mu\text{V} \pm 0.78$ respectivamente.

Velocidades de conducción nerviosa

Estas se observaron en estimulación eléctrica del nervio mediano en $68.08 \text{ m/seg} \pm 7.26$; en estimulación magnética en $43.33 \text{ m/seg} \pm 5.01$). Para los nervios cubitales se hallaron en $64.41 \text{ m/seg} \pm 4.48$ y $41.66 \text{ m/seg} \pm 4.47$ respectivamente.

Para estas tres variables estudiadas, se demostró diferencia estadísticamente significativa con un valor de $p \leq 0.05$ al comparar ambas técnicas de estimulación (ver tabla 10, gráficas 2 y 3), donde los pares comparados fueron:

*EAMeSel: Amplitud n. mediano izquierdo eléctrica. – MAMeSe: Amplitud n. mediano izquierdo magnética.
 EAMeSeD: Amplitud n. mediano derecho eléctrica. – MAMeSeD: Amplitud n. mediano derecho magnética.
 ELMeSel: Latencia n. mediano izquierdo eléctrica. – MLMeSel: Latencia n. mediano izquierdo magnética.
 ELMeSeD: Latencia n. mediano derecho eléctrica. – MLMeSeD: Latencia n. mediano derecho magnética.
 EVCMeSel: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo eléctrica. – MVCMeSe: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo magnética.
 EVCMeSeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho eléctrica. – MVCMeSeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho magnética.*

*EACuSel: Amplitud n. cubital izquierdo eléctrica. – MACuSel: Amplitud n. cubital izquierdo magnética.
 EACuSeD: Amplitud n. cubital derecho eléctrica. – MACuSeD: Amplitud n. cubital derecho magnética.
 ELCuSel: Latencia n. cubital izquierdo eléctrica – MLCuSel: Latencia n. cubital izquierdo magnética.
 ELCuSeD: Latencia n. cubital derecho eléctrica – MLCuSeD: Latencia n. cubital derecho magnética
 EVCCuSel: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo eléctrica – MVCCuSel: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo magnética.
 EVCCuSeD: Velocidad de conducción n. cubital derecho eléctrica – MVCCuSeD: Velocidad de conducción n. cubital derecho magnética.*

TABLA 9. RESULTADOS EN NEUROCONDUCCIÓN SENSITIVA DE LOS NERVIOS MEDIANOS Y CUBITALES.

<i>Variable</i>	<i>N</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Media</i>	<i>DE</i>
Amplitud mediano eléctrica	12	30.11	37.85	33.98	2.55
Amplitud mediano magnética	12	5.20	23.82	14.55	6.38
Latencia pico mediano eléctrica	12	2.00	3.58	3.20	0.44
Latencia pico mediano magnética	12	4.00	7.10	5.20	1.06
VC mediano eléctrica	12	58.00	83.00	68.08	7.26
VC mediano magnética	12	34.00	51.00	43.33	5.01
Amplitud cubital eléctrica	12	31.20	67.71	45.23	13.56
Amplitud cubital magnética	12	13.98	48.67	20.46	9.78
Latencia pico cubital eléctrica	12	2.60	3.53	3.19	0.28
Latencia pico cubital magnética	12	4.13	6.81	5.28	0.78
VC cubital eléctrica	12	57.00	71.00	64.41	4.48
VC cubital magnética	12	34.00	49.00	41.66	4.47

Valores obtenidos tras la estimulación de fibras sensitivas.

N: Número de pacientes; VC: velocidad de conducción; DE: Desviación estándar

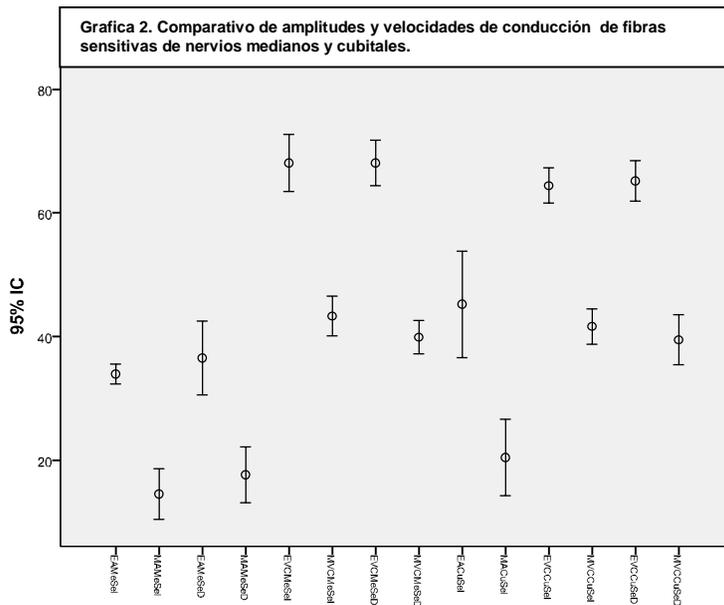
TABLA 10. NEUROCONDUCCIÓN SENSITIVA DE LOS NERVIOS MEDIANOS Y CUBITALES.

<i>Nervio</i>		<i>Media</i>	<i>DE</i>	<i>Significancia</i>
<i>Par 1</i>	<i>EAMeSel - MAMeSel</i>	19.42500	4.08849	.000
<i>Par 2</i>	<i>EAMeSeD - MAMeSeD</i>	18.86167	8.85488	.000
<i>Par 3</i>	<i>ELMeSel - MLMeSel</i>	-1.99833	.91876	.000
<i>Par 4</i>	<i>ELMeSeD - MLMeSeD</i>	-1.72808	1.07587	.000
<i>Par 5</i>	<i>EVCMeSel - MVCMeSel</i>	24.75000	6.04716	.000
<i>Par 6</i>	<i>EVCMeSeD - MVCMeSeD</i>	28.16667	7.43252	.000
<i>Par 7</i>	<i>EACuSel - MACuSel</i>	24.77528	14.24528	.000
<i>Par 8</i>	<i>EACuSeD - MACuSeD</i>	25.16167	13.54926	.000
<i>Par 9</i>	<i>ELCuSel - MLCuSel</i>	-2.08917	.86845	.000
<i>Par 10</i>	<i>ELCuSeD - MLCuSeD</i>	-2.46000	.95177	.000
<i>Par 11</i>	<i>EVCCuSel - MVCCuSel</i>	22.75000	6.01702	.000
<i>Par 12</i>	<i>EVCCuSeD - MVCCuSeD</i>	25.66667	5.69423	.000

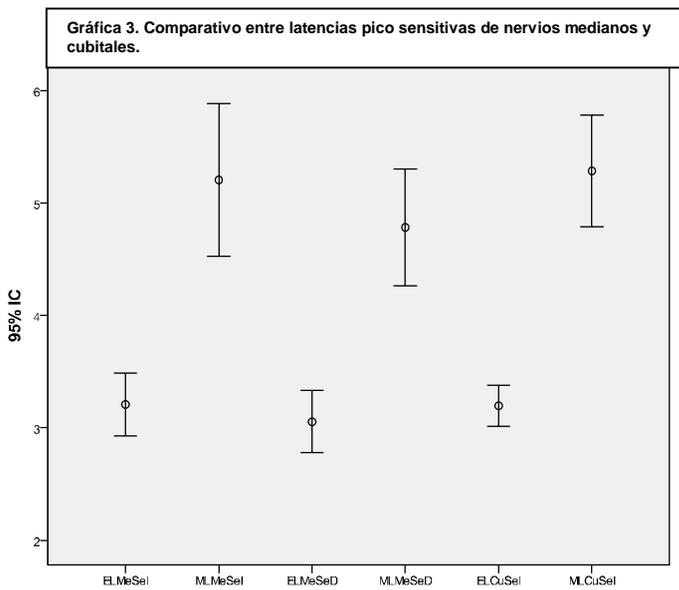
Se muestran los pares analizados en neuroconducción sensitiva, todos ellos con diferencia significativa.

EAMeSel: Amplitud n. mediano izquierdo eléctrica. – **MAMeSe:** Amplitud n. mediano izquierdo magnética.
EAMeSeD: Amplitud n. mediano derecho eléctrica. – **MAMeSeD:** Amplitud n. mediano derecho magnética.
ELMeSel: Latencia n. mediano izquierdo eléctrica. – **MLMeSel:** Latencia n. mediano izquierdo magnética.
ELMeSeD: Latencia n. mediano derecho eléctrica. – **MLMeSeD:** Latencia n. mediano derecho magnética.
EVCMeSel: Velocidad de conducción n. mediano izquierdo eléctrica. – **MVCMeSe:** Velocidad de conducción n. mediano izquierdo magnética.
EVCMeSeD: Velocidad de conducción n. mediano derecho eléctrica. – **MVCMeSeD:** Velocidad de conducción n. mediano derecho magnética.

EACuSel: Amplitud n. cubital izquierdo eléctrica. – **MACuSel:** Amplitud n. cubital izquierdo magnética.
EACuSeD: Amplitud n. cubital derecho eléctrica. – **MACuSeD:** Amplitud n. cubital derecho magnética.
ELCuSel: Latencia n. cubital izquierdo eléctrica – **MLCuSel:** Latencia n. cubital izquierdo magnética.
ELCuSeD: Latencia n. cubital derecho eléctrica – **MLCuSeD:** Latencia n. cubital derecho magnética
EVCCuSel: Velocidad de conducción n. cubital izquierdo eléctrica – **MVCCuSel:** Velocidad de conducción n. cubital izquierdo magnética.
EVCCuSeD: Velocidad de conducción n. cubital derecho eléctrica – **MVCCuSeD:** Velocidad de conducción n. cubital derecho magnética.

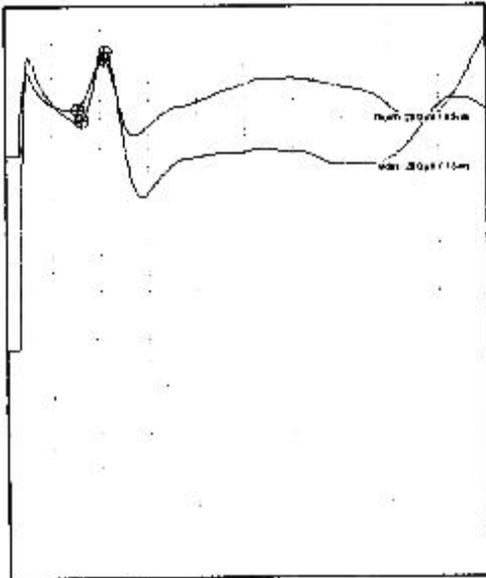


Se observa que en todas estos pares existió diferencia significativa para $p=0.05$

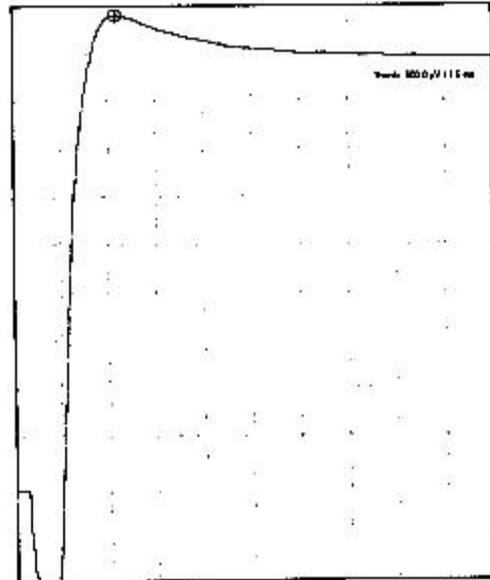


Se observa que al comparar todas las latencias se encontro diferencia significativa para $p=0.05$

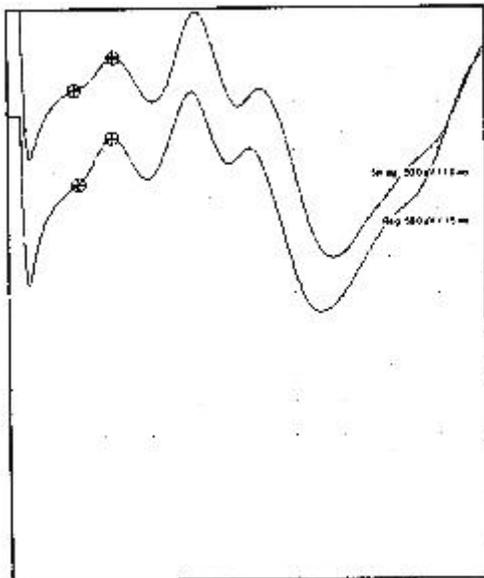
A continuación se muestran algunos ejemplos de las gráficas obtenidas en neuroconducción de fibras sensitivas con ambas técnicas de estimulación:



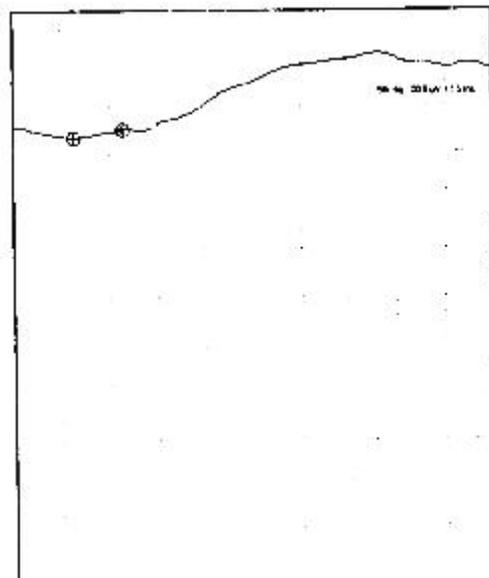
Nervio mediano sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 1).



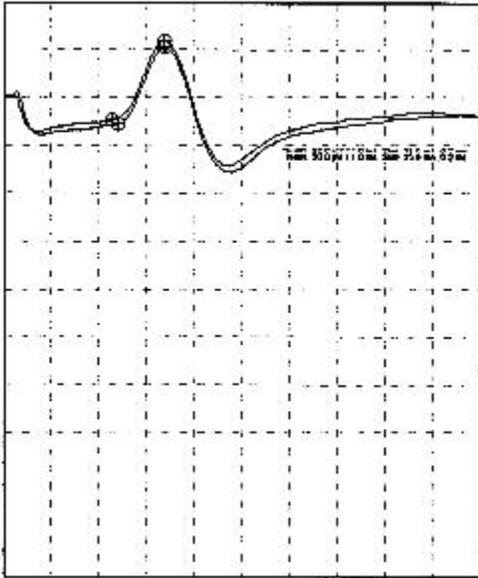
Nervio mediano sensitivo: estimulación magnética (sujeto 1).



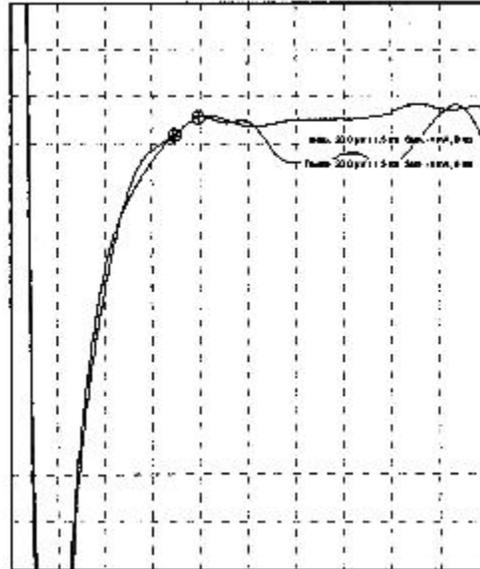
Nervio cubital sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 1).



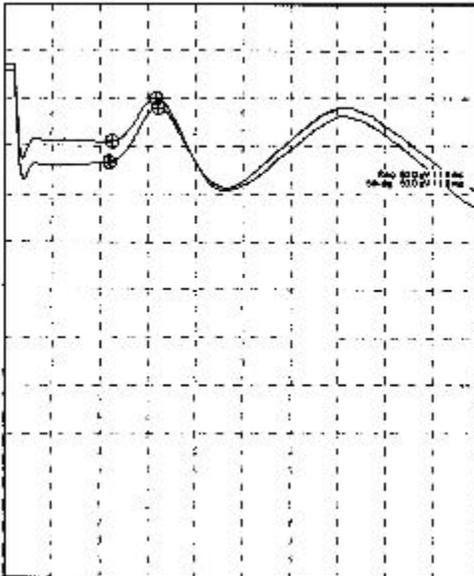
Nervio cubital sensitivo: estimulación magnética (sujeto 1).



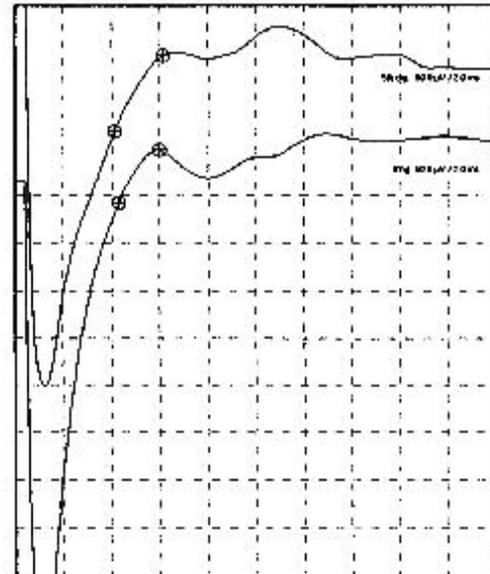
Nervio mediano sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 2).



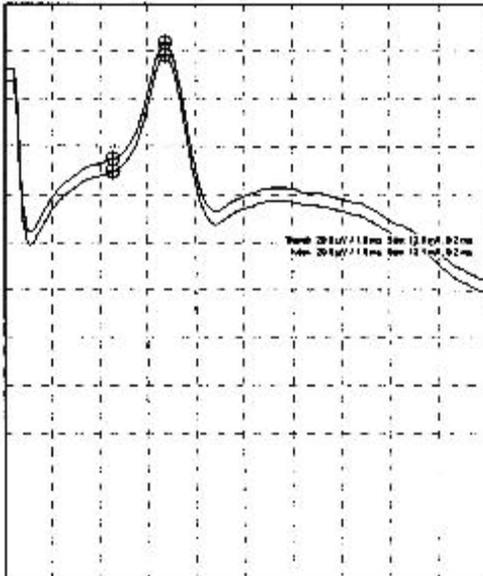
Nervio mediano sensitivo: estimulación magnética (sujeto 2).



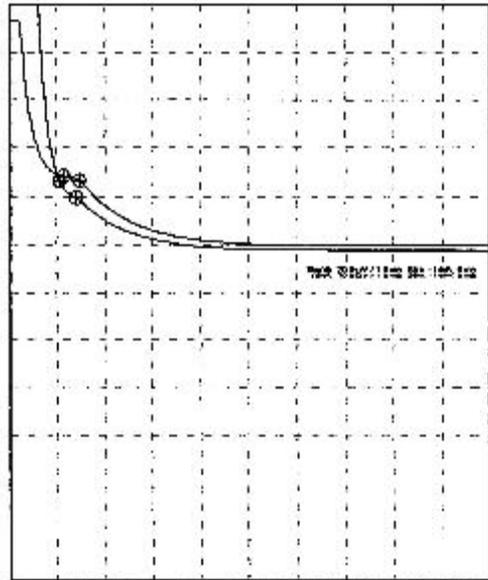
Nervio cubital sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 2).



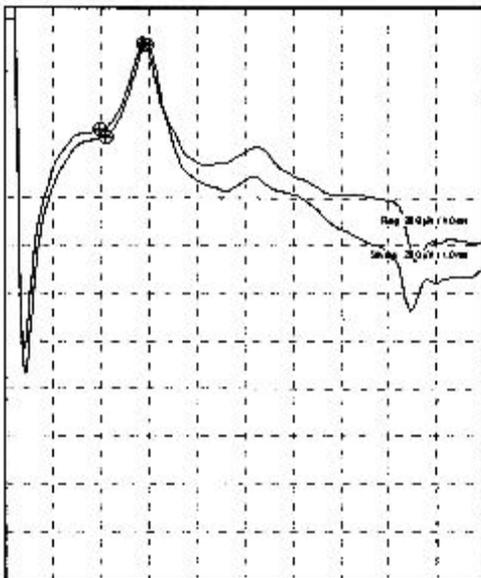
Nervio cubital sensitivo: estimulación magnética (sujeto 2).



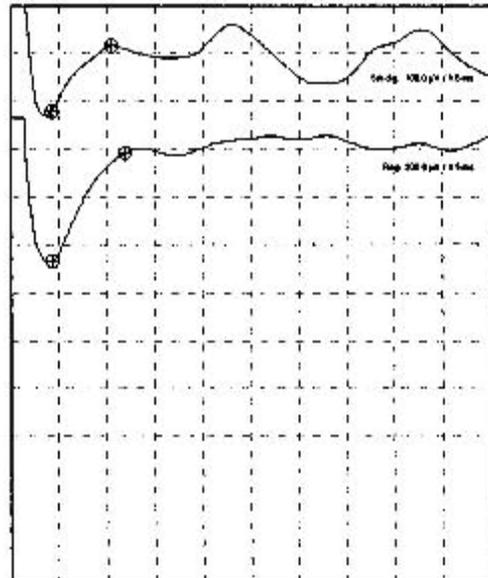
Nervio mediano sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 3).



Nervio mediano sensitivo: estimulación magnética (sujeto 3).



Nervio cubital sensitivo: estimulación eléctrica (sujeto 3).



Nervio cubital sensitivo: estimulación magnética (sujeto 3).

Para evaluar si existía alguna relación entre las variables obtenidas en el estudio se dividió la amplitud entre la latencia, con estos valores se calculó el intervalo de confianza para la media con la finalidad de proponer parámetro de respuesta dentro de una normalidad con una confiabilidad del 95%.

Los intervalos que se obtuvieron son:

Para el nervio mediano motor:

Mediante estimulación eléctrica: $[3.6239 < \mu < 4.3493]$ con un rango de confiabilidad de **0.7254**

Mediante estimulación magnética: $[3.0808 < \mu < 3.528]$ con un rango de confiabilidad de **0.4472**

En donde se observa que el rango de la estimulación magnética es menor que el de la estimulación eléctrica, por lo que la relación entre éstas dos mediciones es menor en la estimulación magnética, por lo tanto, las cifras de latencia en la estimulación magnética son ligeramente mayores respecto a la eléctrica, sin embargo estas cifras se mantienen dentro de límites normales.

Para el nervio cubital motor:

Mediante estimulación eléctrica: $[3.1162 < \mu < 3.7476]$ con un rango de confiabilidad de **0.6314**

Estimulación magnética: $[2.9323 < \mu < 3.3753]$ con un rango de confiabilidad de **0.443**

En donde se observa que la tendencia es exactamente igual a la del nervio mediano motor.

ESCALA DEL DOLOR

Todos los sujetos participantes en el estudio refirieron menores molestias durante la realización de la estimulación magnética. El promedio de la escala en estimulación eléctrica fue de 5.66 con una desviación estándar de 0.8876, en estimulación magnética fue de 3.75, con una desviación estándar de 0.8660. Ver tabla 10.

Tabla 10. Escala de dolor comparando la molestia percibida en estimulación eléctrica vs magnética

N	Estimulación Eléctrica	Estimulación Magnética
1	7	5
2	6	5
3	6	4
4	5	4
5	6	3
6	7	3
7	5	3
8	6	5
9	4	3
10	5	3
11	5	4
12	6	3
Promedio	5.66	3.75
Desviación estándar	0.887625	0.8660

Se muestran los valores obtenidos al aplicar la escala de dolor

Al realizar el análisis con la prueba "t" de student, para analizar la diferencia entre el grado de molestia percibido durante la estimulación eléctrica y estimulación magnética para una significancia, se obtuvo diferencia para una significancia de $p \leq 0.05$. Ver tabla 11.

Tabla 11. Prueba "t" de student para la diferencia entre el grado de molestia percibido por el paciente.

	Media	DE	Significancia.
DolorE - DolorM	1.91667	.99620	.000

Se muestra diferencia significativa entre en grado de molestia al aplicar ambas técnicas de estimulación

9) DISCUSIÓN.

Los resultados obtenidos, demuestran que la estimulación magnética de nervios periféricos de tipo motor tiene *excelente concordancia y variabilidad no significativa* al evaluar cifras de latencia de inicio, amplitud y velocidad de conducción nerviosa y es un método que puede ser equiparable a la estimulación eléctrica, ya que con el estimulador magnético utilizado fue posible administrar estímulos supramáximos; de igual forma las necesidades técnicas que esta prueba requiere no varían en gran forma con respecto a las de la estimulación eléctrica, pues los sitios de estimulación magnética con la bobina son análogos a los del cátodo del estimulador eléctrico estimulando a nivel de la muñeca y el codo.

Por otra parte, se lograron aplicar pulsos magnéticos selectivos y supramáximos en nervios motores, esto, debido en parte al tamaño de la bobina empleada en este estudio. Con esto podemos también concluir que la mejor posición al realizar estimulación magnética de fibras motoras es situando la porción central de la bobina magnética circular de forma tangencial al eje mayor de la extremidad en estudio, en posición análogas a la del cátodo utilizado en la estimulación eléctrica.

Estos resultados cobran mayor relevancia al tomar en cuenta que nuestra serie posee un tamaño de muestra que supera en más del 50% a la reportada por otros autores [Olney, 14]

Olney y Amassian [10, 14] obtuvieron resultados similares al comparar estimulación magnética con estimulación eléctrica de axones motores, sin embargo el presente trabajo muestra menor variabilidad que la reportada por éstos autores; dicho hallazgo puede ser secundario a que los avances tecnológicos en el desarrollo de bobinas magnéticas permiten administrar impulsos con mayor selectividad, es decir, la bobina utilizada en este estudio posee mayor capacidad de focalizar el estímulo.

Al aplicar la relación amplitud / latencia en neuroconducción motora de los nervios medianos y cubitales por ambas técnicas, podemos concluir que las cifras de latencia de inicio son ligeramente mayores en la estimulación magnética, sin embargo no superan 0.10 a 0.6 mseg y por lo tanto no caen dentro de límites anormales.

Hablando específicamente de las velocidades de conducción motora en ambos nervios, enfatizamos el haber obtenido variabilidad no significativa, la cual de hecho es mucho menor comparándola con la reportada en otras series (Olney y colaboradores [14], Halar [18]); la cual va del 5% al 15%, es decir de 5 a 11 mseg; en comparación con nuestra serie, la cual oscila de 2 a 3 mseg, es decir del 1 al 2%.

Realizando la misma comparación en los parámetros latencia de inicio y amplitud, se obtuvieron resultados similares a los descritos por estos autores.

Uno de los problemas que enfrenta esta técnica, es la dificultad para proporcionar estímulos adecuados en la región axilar y en el punto de Erb, donde no es posible aplicar estímulos con adecuada selectividad con la bobina circular disponible en nuestro laboratorio; este hallazgo puede constituir una limitante en la aplicación rutinaria de esta técnica en caso de que se requiera explorar la conducción nerviosa motora en 4 puntos de estimulación.

Al evaluar la neuroconducción sensitiva por ambos métodos, encontramos enorme variabilidad y diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros evaluados, sin embargo observamos que el parámetro con mayor variabilidad es la latencia pico, la cual tiene diferencia, por lo menos del 50% respecto a las cifras obtenidas en estimulación eléctrica, hallazgo atribuible a la escasa selectividad del estímulo sobre las fibras sensitivas.

Reconocemos las limitaciones en el caso de la neuroconducción sensitiva y en la factibilidad de detectar cambios en segmentos que impliquen estimulación por arriba del codo; sin embargo ponemos de manifiesto que estos aspectos pueden ser modificados de forma positiva gracias a los avances en el desarrollo de bobinas magnéticas que permitan mayor selectividad del estímulo en fibras de nervios sensitivos.

Un aspecto importante y no estudiado en series previas, es el grado de dolor experimentado en la realización de estos estudios. Todos los participantes en el estudio refirieron menores molestias con la estimulación magnética, lo cual representa una ventaja de esta técnica sobre la estimulación eléctrica.

El hallazgo de menores molestias en la realización de la estimulación magnética, puede ser una ventaja en sujetos poco cooperadores, por ejemplo, en el caso de pacientes psiquiátricos, con demencia, en edad pediátrica o sujetos sanos con un umbral reducido al dolor.

En conclusión, la evaluación de la neuroconducción nerviosa periférica por estimulación magnética puede ser una técnica aplicable en nervios motores realizada estimulando en 2 puntos, ya que confiere resultados comparables a los obtenidos en la estimulación eléctrica; consideramos que está técnica aún requiere de los avances tecnológicos referentes al tamaño de las bobinas de estimulación para poder ser aplicada de forma alternativa a la estimulación eléctrica.

10) **REFERENCIAS**

1. Kandel ER, Schwatz JH. Principles of Neural Science. 4a ed. McGraw Hill, Nueva York, 2000, pp. 143 – 148.
2. Aminoff MJ. Electrodiagnosis in Clinical Neurology. 5a ed. Elsevier, Filadelfia, 2005, pp. 277 – 285.
3. Kimura J. Electrodiagnosis in disease of nerve and muscle: Principles and practices. 2a ed. Lippincott Williams y Wilkins. Filadelfia, 1989, pp. 325 – 339.
4. Caress J. Neurophysiology of Nerve Conduction Studies. In: Blum A. The Clinical Neurophysiology Primer. 1a ed. Humana Press Inc, Totowa, Nueva Jersey. 2007, pp. 207 – 217.
5. Gregory J. Technical, Physiological and Anatomic considerations in nerve conduction studies. In: Blum A. The Clinical Neurophysiology Primer. 1a ed. Humana Press Inc, Totowa Nueva Jersey. 2007, pp. 217 – 229.
6. American Society for Surgery of the Hand. The hand: Examination and diagnosis. Nueva York: Churchill Livingstone, 1990, pp. 164 – 177.
7. De Lisa JA. Manual of nerve conduction velocity and clinical neurophysiology. 3a ed. Nueva York. Raven Press, 1994, pp. 174 – 183.
8. Benatar M. Neuromuscular Disease: Evidence and Analysis in Clinical Neurology. 3a ed. Humana Press Inc. Totowa, Nueva Jersey. 2006, pp. 13 – 21.
9. Evans BA: The utility of magnetic stimulation for routine peripheral nerve conduction studies. Muscle Nerve, 1988; 11: 1074 - 1078.
10. Amassian VE, Maccabee PJ, Cracco RQ: Focal stimulation of human peripheral nerve with the magnetic coil: A comparison with electrical stimulation. Exp Neurol 1989; 103: 282 – 289.
11. Bickford RG, Guidi M, Fortesque P, Swenson M: Magnetic stimulation of human peripheral nerve and brain: response enhancement by combined magneto-electrical technique. Neurosurgery 1987; 20: pp. 110 -116
12. Evans BA, Litchy WJ, Daube JR: The utility of magnetic stimulation for routine peripheral nerve conduction studies. Muscle Nerve 1988; 11: 1074 – 1078.
13. Maccabee PJ, Amassian VE, Cracco RQ, Cadwell JA: An analysis of peripheral motor nerve stimulation in humans using the magnetic coil. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1988; 70: pp. 524 – 533.
14. Olney RK: A comparison of magnetic and electrical stimulation of peripheral nerves. Muscle Nerve. 1988. 13:957 – 963.
15. Van Soens I. Magnetic of peripheral nerves in dogs: A pilot study. The Veterinary Journal. 2008. 178: 288 – 290.
16. Nilsson J. Determining the site of stimulation during magnetic stimulation of a peripheral nerve. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1992, 85 (4): 253 – 264.
17. Barker A. An Introduction to the basic principles of magnetic nerve stimulation. Journal of Clinical Neurophysiology. 1991. 8: 26 – 37.
18. Halar EM, Venkatesh B. Nerve conduction velocity measurements: improved accuracy using superimposed response waves. Arch Phys Med Rehabil; 57: 451 – 457.