



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
INSTITUTO MEXICANO DEL SEGURO SOCIAL
DELEGACION SUR DEL DISTRITO FEDERAL
UMAE HOSPITAL DE ESPECIALIDADES CMN SIGLO XXI

EVALUACION AUDIOLOGICA POSTERIOR A DESCARGA ELECTRICA EN TRABAJADORES ELECTRICISTAS

TESIS QUE PRESENTA
DRA. YVETTE DE LA FUENTE RIVERA
PARA OBTENER EL DIPLOMA EN LA ESPECIALIDAD
COMUNICACIÓN EN AUDIOLOGIA Y FONIATRIA

ASESORES METODOLOGICOS:
DR. ARTURO TORRES VALENZUELA
DRA. GUADALUPE AGUILAR MADRID





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.

Agradecimientos:

Agradezco a Dios,

a mis padres

a la Dra. Guadalupe Aguilar Madrid,

al Dr. Cuauhtémoc Arturo Juárez Pérez

al Dr. Arturo Torres Valenzuela

Gracias a ellos pude concluir este trabajo de investigación.

INDICE

Resumen	1
Datos del alumno, asesores y tesis	2
I.-Introducción	4
II.- Justificación	13
III:- Planteamiento del Problema	14
IV. Hipótesis	14
V.- Objetivos	14
VI. Metodología	15
VII.- Resultados	17
VIII.- Discusión	22
IX.- Conclusiones	24
X.- Consideraciones Éticas	27
XI.- Recursos del estudio	27
XII. Bibliografía	28
XIII. Cronograma	29
XIV. Anexos	
Anexo1. Carta de consentimiento informado	30
Anexos 2-A a la 2-E. Evaluaciones Audiométricos	31
Anexo 3. Emisiones Otoacústicas de productos de distorsión	32
Anexo4. Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral	37
Anexo 5. Cuestionario	38
	39

RESUMEN:

Introducción. La pérdida auditiva sensorineural asociada a una descarga eléctrica de alto voltaje (>1000Volts) es una entidad en la cual la información científica internacionales es escasa; en México no existen estudios sobre este tema y los datos estadísticos de morbilidad y mortalidad no especifican las lesiones producidas a nivel coclear y auditivo por descarga eléctrica en trabajadores o población general. Por lo cual es necesario realizar estudios que permitan identificar el daño auditivo que no es evaluado en los accidentes por descarga eléctrica de alto voltaje.

Objetivo: Se evaluó la función coclear de trabajadores expuestos a descarga de alto voltaje posterior al accidente y seis meses después para identificar si existe un patrón específico de daño coclear y determinar si existe alguna fluctuación del umbral auditivo.

Metodología: El diseño de este estudio es un análisis de casos clínicos, retrospectivo de abril del 2007 a junio del 2008 que fueron atendidos en el hospital de tercer nivel HECMN SIGLO XXI. En este periodo se encontraron cuatro casos de pacientes que tuvieron un accidente de trabajo con exposición a descarga eléctrica de alto voltaje, de los cuales solo uno cumplió con los criterios de inclusión y al cual se le realizó un cuestionario detallado sobre: antecedentes personales patológicos y no patológicos, laborales, quirúrgicos, traumáticos y anamnesis de la exposición a la descarga eléctrica. Se realizó exploración física: otoscopia, acimetría y una evaluación audiológica completa e integral que consistió en: audiometría tonal con logaudiometría, emisiones otacústicas y potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC). Los resultados obtenidos en cada evaluación fueron analizados y comparados con los resultados de las evaluaciones audiológicas posteriores.

Resultados: La evaluación audiológica inicial del paciente mostró una hipoacusia sensorineural de inicio súbito y de evolución progresiva posterior al accidente, misma que se fue agravando con el tiempo, reflejando un daño coclear progresivo. En los PEATC se aprecia claramente incremento de las latencias absolutas (I, III y

V) y de las latencias interonda (I-III, III-V y I-V) así como ausencia de las emisiones otoacústicas, con lo que se concluye la presencia de una afección a nivel coclear de la vía auditiva.

Discusión y Conclusiones: El presente trabajo es el primer estudio audiológico en su tipo que se realiza en México, en el cual se realiza una evaluación audiológica completa a un paciente que recibió una descarga eléctrica de alto voltaje (23,000V), el cual mostró una gran variedad de lesiones en el sistema auditivo posteriores al accidente, las cuales van desde una pérdida sensorineural progresiva no fluctuante hasta problemas en la neuroconducción de la rama coclear del nervio auditivo.

Los resultados del presente estudio dan pauta para realizar nuevas investigaciones en poblaciones de trabajadores electricistas expuestos a descargas de alto voltaje, que nos permitan dilucidar el mecanismo exacto y la fisiopatología del daño auditivo de este origen. Se deberá considerar en el proceso de atención médica en estos accidentes incluir una evaluación audiológica completa así como un seguimiento audiológico de las alteraciones auditivas a largo plazo.

I. INTRODUCCIÓN

Se estima que aproximadamente 1000 personas al año mueren por exposición a electricidad en Estados Unidos, de estos se calculan entre 50 y 300 muertes al año son causadas por rayos. Cifra que se incrementa por el hecho de llevar o cargar objetos metálicos o simplemente por estar mojado y de los cuales más del 40% de estas lesiones eléctricas son fatales (1,2). La edad de los pacientes electrocutados es bimodal; el primer pico menciona que el 20% de los casos ocurre en niños menores de 6 años de edad y adolescentes. El segundo pico se presenta en una tercera parte de los adultos debido a electrocución por alto voltaje relacionada con el trabajo. De los cuales más del 50% de los casos es causa de muerte relacionada con el trabajo, siendo el 25% de estas lesiones resultado del uso de herramientas eléctricas o máquinas (1,2,5,10). Trohman en 2006 refiere que los mineros y trabajadores de la construcción presentan una tasa de 1.8 a 2.0 muertes por cada 100 000 trabajadores (1). En EUA la tasa anual ocupacional de muertes por electricidad es de una muerte por cada 100,000 trabajadores con una relación de 9:1 entre hombres y mujeres (2,5,8). Los pacientes que sobreviven al shock eléctrico representan un 3% de los aproximadamente 100 mil pacientes admitidos anualmente en las unidades especializadas en quemados (1). Se han reportado en Estados Unidos más de 1,500 lesiones permanentes por este tipo de accidente al año (4,8,10). Desafortunadamente en México no existen reportes de mortalidad, datos que especifiquen los daños a nivel coclear producidas por descarga eléctrica. Llama la atención que en los informes de secuelas de accidentes por alto voltaje, no se menciona el daño auditivo en los trabajadores afiliados al IMSS de donde se obtienen las únicas estadísticas existentes en el país. Por lo anterior consideramos importante analizar y dar seguimiento a aquellos casos de trabajadores que sobreviven a un accidente por descarga de alto voltaje para poder determinar cuáles fueron los daños y la magnitud de los mismos a nivel auditivo.

I.1.-FISIOPATOLOGIA

Se conocen 3 mecanismos principales a través de los cuales se inducen las lesiones por electricidad:

1. La energía eléctrica ocasiona un daño directo de los tejidos al alterar los potenciales de reposo de las membranas celulares, evocando tetania muscular.
2. Conversión de la energía eléctrica en energía térmica, la cual ocasiona una destrucción masiva de tejidos y una necrosis por coagulación.
3. Lesión mecánica por trauma directo como resultado de caídas o contracciones musculares violentas (2).

I.2.-MECANISMOS DE LA LESION

La piel presenta un amplio rango de resistencia a la electricidad, por lo que juega un papel crucial al momento de exponerse a la electricidad. La piel seca presenta una mayor resistencia a la conducción de la electricidad de ahí que se presente un daño superficial más extenso pero que limita de alguna manera la conducción nociva de la corriente eléctrica a estructuras más profundas. La piel húmeda presenta una menor resistencia en la conducción de la corriente eléctrica ocasionando una lesión superficial térmica menor, sin embargo conduce el paso de más corriente, dando como resultado una lesión extensa y afección a órganos internos (1).

Los shocks eléctricos son clasificados de acuerdo al voltaje de la siguiente manera: alto voltaje cuando la descarga es de 1000 Volts (V) o más; de bajo voltaje cuando la descarga es menor a 1000 V. El voltaje con frecuencia es la única variable conocida después de la exposición a la electricidad. De esta manera el voltaje es el parámetro más razonable para poder categorizar los

shocks eléctricos. Se considera que los shocks por alto voltaje generan lesiones graves que están directamente relacionadas con el tiempo de exposición.

En el hogar la corriente eléctrica es de 110 a 220 V, mientras que las líneas de poder de alta tensión conducen un voltaje de más de 100 000 V. A comparación de los rayos que generan 10 millones de V o más (1,5,6).

De acuerdo a Trohman existen cuatro tipos de lesiones presentes en la electrocución:

- 1) Efectos directos de la corriente que actúan directamente en los tejidos del cuerpo y que ocasionan sístole, fibrilación ventricular o apnea.
- 2) Lesión mecánica ocasionada al recibir la descarga y desencadenando la contracción de los músculos con la consecuente caída;
- 3) Conversión de la energía eléctrica en energía térmica dando como resultado la presencia de quemaduras.
- 4) Electroporación que es definida como un fenómeno en el cual se crean una serie de poros en las membranas celulares por medio de la corriente eléctrica (1).

A diferencia de las quemaduras térmicas las cuales ocasionan un daño de los tejidos por una desnaturalización y coagulación de proteínas. En la electroporación se produce una disrupción en la membrana celular que lleva a la muerte a la célula, sin dejar evidencia de una quemadura clínica. Este tipo de lesión también ocurre cuando se aplica un campo eléctrico alto a un tejido (1,13).

La descarga con corriente directa ocasiona una intensa contracción muscular capaz de lanzar a la persona que recibe el shock eléctrico lejos de la fuente de electricidad, no así en el caso de la corriente alterna. Razón por la cual es considerada como el tipo de corriente más peligrosa, ya que este tipo de corriente

ocasiona repetidas contracciones tetánicas musculares, y en el caso de que haya un contacto entre la palma de la mano y la fuente eléctrica, la corriente alterna produce una mano en garra ocasionada por un gran tono flexor que supera el tono extensor ocasionando una exposición prolongada a la corriente eléctrica. La cantidad de corriente alterna necesaria para ocasionar lesiones dependerá de la frecuencia que se presente en la corriente. De esta manera el músculo esquelético tetaniza con las bajas frecuencias que oscilan en el rango de los 15 a 150 Hz.

La electricidad se encuentra al interior del hogar (60 Hz) es particularmente arritmogénica resultando en arritmias ventriculares fatales. El tipo de corriente alterna es la causa más frecuente de electrocución (1).

1.3.-LESIONES MÁS FRECUENTES POR DESCARGA

Las lesiones de la piel se clasifican en 3 grupos:

- 1) Quemaduras electro-térmicas
- 2) Quemaduras por alto voltaje
- 3) Lesiones por rayos.

Las primeras tienen un patrón clásico caracterizado por la presencia de un orificio de entrada y otro de salida.

Las lesiones de alto voltaje se caracterizan por generar un mayor daño a tejidos profundos (1,8,10), mientras que las lesiones por rayo se caracterizan por una exposición a la descarga eléctrica durante un período muy breve (milisegundos) en caso de corriente directa, la cual produce una contracción del músculo y daño a tejidos profundos y órganos (paro cardiorrespiratorio) (1,8,10).

Por el tipo de agente causal de las lesiones es de gran importancia conocer el comportamiento de los diferentes órganos a la exposición de corriente eléctrica.

El aparato respiratorio presenta una detención en su actividad posterior a recibir un shock eléctrico. Esta suspensión de la actividad respiratoria se genera por una

inhibición del Sistema Nervioso Central (SNC) además por la presencia de una parálisis prolongada y contracción tetánica de los músculos respiratorios combinándose con un paro cardíaco secundario a una fibrilación ventricular o a una asístole (1,6,8).

Los efectos de una descarga eléctrica sobre el sistema cardio-vascular se dividen en:

- 1) Arritmias, sea del tipo de una fibrilación ventricular (más común con un bajo voltaje de corriente alterna) o una asistolia (más frecuente en casos de descarga de corriente alterna a un alto voltaje).
- 2) Presencia de anomalías en la conducción, como bradicardia o bloqueo atrio-ventricular. La razón de esta vulnerabilidad aún no es clara, sin embargo estas alteraciones pueden persistir por largo tiempo aún después de la exposición.
- 3) Daño miocárdico con alteración de la frecuencia cardíaca, el cual se puede explicar por una necrosis miocárdica de naturaleza difusa.
- 4) En la última categoría están las lesiones por exposición directa a la corriente eléctrica y la lesión miocárdica secundaria a isquemia inducida (1,5,6,7,8).

Las lesiones músculo-esqueléticas ocasionadas por la descarga eléctrica incluyen quemaduras periosteales, destrucción de la matriz ósea y osteonecrosis. Las contracciones tetánicas son tan enérgicas que ocasionan caídas las cuales pueden producir fracturas o la dislocación de articulaciones. Las lesiones electro-térmica de la musculatura se manifiestan con edema, necrosis tisular, pudiendo

dar origen a un síndrome compartimental y una rhabdomiolisis (síndrome causado por daño en el músculo esquelético y la resultante liberación del contenido de las células musculares como mioglobina, potasio, fosfato etc. dentro del plasma) (1,5,6,7,8,9).

Respecto a las alteraciones neurológicas encontramos daño al sistema nervioso central y periférico manifestado como: pérdida de conciencia, debilidad generalizada, disfunción autonómica, depresión respiratoria y problemas de memoria. La Queraunoparálisis es una forma específica y reversible de parálisis transitoria asociada con alteraciones sensoriales y vasoconstricción periférica. Los pacientes pueden tener pupilas fijas o dilatadas (debido a la disfunción autonómica reversible). Otras complicaciones del SNC incluyen encefalopatía hipóxica, hemorragia cerebral e infarto cerebral. Se han reportado pérdidas auditivas de tipo sensorineural, sin embargo las lesiones más comúnmente reportadas por descarga eléctrica en oído son la perforación de la membrana timpánica que se asocia con una hipoacusia de tipo conductivo (1,5,6,8).

Otras lesiones reportadas en estos casos son la presencia de fístula perilinfática en la zona de la ventana redonda caracterizada por una pérdida de audición de tipo mixto, que mejoró con la reparación de las fístulas (4, 12,13).

El daño coclear a causa de una lesión eléctrica aguda únicamente ha sido reportada a nivel experimental en un estudio realizado por Stata en el 2002 en cerdos de guinea, a los cuales se les determino la presencia de emisiones otoacústicas con productos de distorsión para poder determinar, comparar y monitorear la disfunción coclear, además de intentar determinar y analizar un patrón de recuperación coclear posterior a la descarga eléctrica con corriente alterna (AC) o corriente directa (DC). La estimulación eléctrica de la cóclea en los animales se realizó para observar los cambios cocleares crónicos a nivel ultra-estructural, encontrando lo siguientes hallazgos:

- 1) La corriente directa no produce daños graves a una exposición a $50\mu\text{A}$ durante 2 horas a excepción de algunas células ciliadas ubicada en la cercanía de la ventana redonda, sin embargo la exposición a $500\mu\text{A}$ con corriente alterna ocasiona daños graves (3).
- 2) La corriente directa produce una elevación del umbral del potencial de acción compuesto en la cóclea normal. Ambos tipos corriente directa y alterna (DC/ AC) ocasionan una importante reducción en la proporción señal - ruido (diferencia en decibeles de SPL (Sound Pressure Level o de presión sonora) entre la amplitud de las emisiones otoacústicas por productos de distorsión (DPOAE) y el nivel del ruido ambiental en las frecuencias estudiadas (500Hz – 8000Hz). Después de la exposición a la corriente alterna la función coclear en la región de las frecuencias medias, regresó casi a la normalidad en 10 días. Con lo anterior se demuestra que el daño ocasionado por la AC tiende a la recuperación en un tiempo determinado, no así en el daño por corriente directa.
- 3) El estudio de respuestas evocadas de tallo cerebral permitió evaluar otro parámetro de la capacidad auditiva. Este estudio demostró la presencia de un deterioro del umbral auditivo el cual puede ser debido a un trastorno en la neuro-conducción del nervio auditivo, a nivel coclear o a una combinación de ambas. Lesiones por corriente directa (DC) presentan una baja o nula recuperación de la función coclear. Ambas corrientes (DC y AC) parecen ocasionar un daño a la cóclea similar en extensión y en proporción a la intensidad de corriente empleada, pero con un mayor índice de recuperación de la lesión en aquellos casos expuestos a corriente alterna (AC).

- 4) Al determinar la afección por frecuencia específica se determino que la base de la cóclea tiene una menor capacidad de recuperación en comparación con el ápex. Es decir el grado de lesión coclear está determinado por varios factores: resistencia del hueso coclear, intensidad del estímulo, la duración de la exposición y tipo de corriente a la que se expuso.
- 5) La lesión electromecánica ocasionada por altas intensidades de voltaje determina el daño al tejido, en contraste con el trastorno del proceso metabólico que prevalece relativamente con las bajas intensidades de voltaje. A este stress metabólico se le atribuye la reducción en la amplitud de las emisiones otoacústicas por productos de distorsión. En el cual posiblemente posterior a la lesión eléctrica las emisiones otoacústicas por productos de distorsión reflejen la afección electromecánica y el trastorno metabólico (fatiga de células ciliadas externas y depleción de sustancias químicas a nivel celular y de sinapsis). Llama la atención que aún en los últimos registros de emisiones otoacústicas por productos de distorsión permanecen datos de lesión electromecánica aún después de una parcial o total disipación de los efectos metabólicos.
- 6) Con esto se concluye que las emisiones otoacústicas por productos de distorsión son un medio efectivo para monitorear la disfunción coclear inducida eléctricamente, cuya recuperación más importante se observa en la región de las frecuencias medias y bajas. Efecto que puede ser debido a los mecanismos electromecánicos y metabólicos que ocasionan el daño (3,12).

1.4.-CONCEPTO DE ELECTRICIDAD

La electricidad es definida como el flujo de electrones que cruzan un potencial de gradiente de alta a baja concentración. Esta diferencia es expresada en voltaje (V) la cual representa la fuerza que manejan los electrones, la cantidad o volumen de electrones que fluyen a lo largo de este gradiente llamado corriente y medido en amperes (I,6). Un Volt es una unidad de fuerza y presión electromóvil que produce una corriente de flujo (2). La impedancia (I) para el flujo es descrita como resistencia (R). La ley de Ohms expresa la relación entre estos factores como $I = V/R$ (1,2,6). Usando esta ecuación es fácil ver que la corriente es directamente proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia (1,2,6).

Las lesiones eléctricas son clasificadas arbitrariamente en lesiones por alto voltaje (> 1000V) y bajo voltaje (<1000V) (5).

En la corriente alterna (AC) la dirección del flujo de electrones cambia rápidamente en un ciclo, por lo que cada intervalo de movimiento hacia adelante y hacia atrás es llamado ciclo. Ejemplo: el flujo de corriente estándar del hogar es de 110 V a 60 ciclos por segundo (60 Hz). La onda usual en este tipo circuito de poder con corriente alterna es sinusoidal, ya que transmite de manera más eficiente la energía (1,2,6). La corriente directa (DC) por otro lado fluye constantemente en una dirección a través del potencial. Este tipo de corriente es la que encontramos en baterías, el sistema eléctrico del automóvil, líneas de alta tensión y rayos etc. (1,2). La determinante del daño ocasionado por los efectos directos de la electricidad, es la cantidad del flujo de corriente que pasa a través del cuerpo, la cual puede llevar a fatales arritmias o apnea. Factores adicionales que determinan el daño incluyen el voltaje, resistencia, tipo de corriente, la vía de la corriente, duración del contacto con una fuente eléctrica. (1,6). La ley de Joule describe la relación de tres de los factores antes mencionados con energía térmica generada como sigue: energía (térmica) = $I^2 \times R \times T$ donde T representa el tiempo de corriente. La ecuación demuestra la relación para la cantidad de la energía térmica necesaria para generar daño a los tejidos (1).

La conductancia es definida como $1/\text{resistencia}$, la resistencia de un material para conducir el flujo de corriente depende de las propiedades físicas y químicas del material, la cantidad de corriente que fluye con frecuencia determina la magnitud de la lesión (2).

Tejidos que tienen una elevada resistencia a la electricidad como: piel, hueso, tejido adiposo, presentan un comportamiento caracterizado por incremento de su temperatura o la coagulación. Sin embargo tejidos como los nervios y vasos sanguíneos presentan una baja resistencia a la electricidad ($I= V/R$) conduciéndola rápidamente (1).

Por lo anterior consideramos importante el evaluar integralmente la función auditiva de todos los trabajadores que hayan recibido una descarga eléctrica mayor a 1000V y que sobrevivieron, pues los efectos a su oído no son considerados en la valoración integral del daño al trabajador expuestos a este tipo de descarga eléctrica.

II- JUSTIFICACIÓN

Debido a la escasa información que existe (estudio único basado en experimentos con animales y a bajas descargas eléctricas), acerca de la fisiopatología y manifestaciones cocleares ocasionadas por descarga eléctrica de alto voltaje (1000 V o más). Los pacientes que sobrevivieron a la descarga presentan secuelas auditivas como el deterioro de las frecuencias agudas, medias y en menor grado las frecuencias graves. Por lo que es necesario realizar estudio audiológico inicial y su seguimiento con la finalidad de poder obtener un perfil audiométrico, que refleje el daño auditivo propio de una hipoacusia secundaria a la descarga eléctrica de alto voltaje.

La necesidad de realizar el presente estudio de evaluación audiológica, puede tener un gran impacto en la detección de secuelas en los trabajadores que sufrieron este tipo de accidente. De igual manera se podrá determinar las condiciones de salud en las que se reincorpora a sus actividades laborales.

El presente trabajo abre nuevas líneas de investigación a nivel coclear en poblaciones expuestas, las cuales permitirán dilucidar los mecanismos del daño en el oído.

III. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Ya que se desconocen las manifestaciones que produce la corriente eléctrica en el oído interno de pacientes que han sobrevivido a la exposición de corriente de alto voltaje (1000V o más). El registro de consulta del servicio de audiología presenta alrededor de 1 o 2 pacientes al año, con edades entre 30 y 70 años, enviados para realizar audiometría tonal con diagnóstico de hipoacusia secundaria a exposición a corriente eléctrica de alto voltaje, nos obliga intentar discriminar si existe un patrón audiométrico característico en pacientes con dicha exposición.

¿Hay un patrón audiométrico que pueda ser utilizado como diagnóstico para detectar la existencia de un daño a nivel del oído interno, en pacientes que sobrevivieron a una descarga de alto voltaje (1000V) para poder determinar si el patrón de alteración auditiva es permanente o temporal?

IV.- HIPOTESIS: El daño coclear en pacientes expuestos a alto voltaje tiene un perfil audiométrico característico y existe una fluctuación del mismo a través del tiempo.

V.- OBJETIVOS

1. Se evaluó la función coclear posterior al accidente en trabajadores que hayan recibido descarga de alto voltaje.
2. Se revaloró la función coclear seis meses después del accidente en los trabajadores que recibieron descarga de alto voltaje.
3. Se intentó identificar un patrón específico de daño coclear por exposición a alto voltaje.
4. Se evaluó si existe un perfil audiométrico específico del daño auditivo por la exposición a alto voltaje.
5. Evaluar si en el perfil audiométrico se presentan fluctuaciones a través del tiempo.

VI.- METODOLOGÍA

1.- Diseño del estudio: Se realizó un estudio de casos clínicos, retrospectivo. Se dio seguimiento en los archivos del hospital a aquellos casos que se les realizó una valoración audiológica posterior a descarga de alto voltaje.

2.- Universo de trabajo: Se revisaron expedientes de pacientes con antecedente de haber recibido accidentalmente una descarga eléctrica de alto voltaje de enero de 2007 a enero 2008 y que acudieron a la consulta de audiología del hospital de especialidades “Bernardo Sepúlveda” CMN siglo XXI para evaluación audiológica, de donde se obtuvieron 4 casos:

Caso 1. Masculino de 38 años de edad el cual cuenta con varias evaluaciones audiológicas posteriores a la descarga eléctrica de alto voltaje y cumplió con los criterios de inclusión.

Caso 2. Masculino de 50 años de edad, quien hace 2 años recibió descarga de alto voltaje y actualmente únicamente cuenta con una sola evaluación audiológica. Debido a que solo contaba con una valoración, no cumplió con los criterios de inclusión por lo que se elimina del estudio.

Caso 3. Masculino de 75 años de edad, que recibió descarga eléctrica de alto voltaje hace 25 años, no cuenta con estudios audiológicos inmediatos al accidente ni en años posteriores. Tan solo cuenta con una evaluación audiológica del año 2007, por lo que tampoco cumplió con los criterios de inclusión. Siendo excluido del estudio.

Caso 4. Masculino de 30 años de edad, el cual no pudo ser localizado por cambio de domicilio, motivo por el cual también fue excluido del estudio.

El único caso de este estudio durante su reinterrogatorio se explico la razón del presente estudio firmando su carta de consentimiento informado (Anexo 1). Durante la entrevista se le aplicó un cuestionario de 43 preguntas, con las cuales se recabó información referente al accidente de trabajo, los datos generales del paciente, historia laboral, antecedentes personales patológicos y no patológicos. (Anexo 5) Al paciente se le realizaron evaluaciones audiológicas posteriores a su accidente con la finalidad de poder determinar cambios en el umbral auditivo.

Exploración física. Se le realizó exploración física que consistió en otoscopia y acúmetria con empleo de diapason 512 Hz.

Audiometría tonal y logaudiometría. Se exploró el umbral de percepción sonora para las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000Hz. Mediante la logaudiometría se logro identificar el umbral de detección de la palabra. La evaluación se realizó con un audiómetro marca Madsen modelo Orbiter 922 versión 2.

Las emisiones otoacústicas. Se estudiaron las emisiones otoacústicas por productos de distorsión las cuales fueron exploradas en cabina sonoamortiguada. Se considero presencia de respuesta si el registro de la misma mostraba una respuesta mayor a 5 dB SPL en comparación al ruido de fondo. La evaluación de las emisiones otoacústicas por productos de distorsión se realizó con un analizador de emisiones otacústicas marca Madsen, modelo Capella, No. De serie 257743.

Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC): Se realizó estudio de Potenciales Evocados Auditivos de Tallo Cerebral, con el equipo Nicolette Viasys Health Care Viking Quest, software versión. 8.1. Se emplearon estímulos tipo click, a una tasa de 33.1 clicks por milisegundo/dB, de polaridad alternante y empleándose un tiempo de análisis de 10 milisegundos, a una intensidad 100 dB.

Plan de análisis: Se analizaron los datos más sobresalientes contemplados en el objetivo de este estudio.

En cada estudio se calculó el índice de hipoacusia bilateral combinada cuya fórmula es la sumatoria \sum de las frecuencias 500, 1000, 2000 y 4000 de ambos oídos / 4 y el resultado se multiplicó por $K=0.8$. El promedio del oído menos lesionado es multiplicado por 7 y el oído más lesionado por 1. Los resultados son sumados y divididos 8.

La promediación de todas las frecuencias (PTF) exploradas se obtuvo mediante un promedio simple de la sumatoria de las frecuencias 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 y 8000 Hz.

VII.- RESULTADOS

REPORTE DE CASO

Masculino de 38 años de edad.

Fecha de nacimiento 30/04/68

Religión católica

Estado civil: Soltero

Lugar de residencia: México D.F

Empresa donde laboraba antes del accidente y después del mismo: Luz y Fuerza del centro.

Antigüedad: 12 años

Puesto de trabajo que ocupaba antes del accidente:

Liniero C de línea viva

Puesto de trabajo que ocupa actualmente: Continúa con la misma categoría (liniero C) pero en oficinas (administrativo).

Se niegan antecedentes patológicos y no patológicos auditivos de importancia previos al accidente de trabajo. Niega padecimientos como diabetes, hipertensión arterial, dislipidemia, traumatismos craneoencefálicos, empleo de ototóxicos, transfusiones, antecedentes quirúrgicos. No antecedentes laborales previos de exposición a ruido o a disolventes orgánicos.

Exploración física: Durante la otoscopia se apreciaron membranas timpánicas íntegras, sin evidencia de timpanoesclerosis u otra patología agregada. La acimetría mostró un umbral auditivo simétrico, Weber central, Rinne positivo bilateral.

Descripción del accidente de trabajo: El 11 de septiembre del 2006 el paciente al estar laborando con cables de alta tensión, a una altura de más de 2 metros, recibe descarga eléctrica de alto voltaje de corriente directa (23,000 V),

presentando pérdida del estado de alerta, quedando suspendido en el aire por el equipo de seguridad (arnés). Por este motivo fue hospitalizado durante 5 semanas, tiempo durante el cual fue sometido a 4 cirugías no especificadas que consistieron en reconstrucción de miembro superior e inferior izquierdo y otras sin especificar. El paciente refiere que recupero la conciencia 5 semanas posteriores al accidente y no recuerda muchos eventos previo, durante y posteriores al accidente. El paciente se egresado con los siguientes diagnósticos: diabetes mellitus, hipertensión arterial, hipoacusia bilateral de tipo sensorial, parestesia de miembro superior izquierdo, parte superior del tórax y miembro inferior izquierdo.

Desde el accidente hasta el mes de junio del 2008 se le han realizado cinco evaluaciones audiológicas. Las primeras 4 se realizaron en el servicio de audiología del HECMN SIGLO XXI, con el equipo marca Beltone modelo 2000 y la última evaluación audiométrica (audiometría, emisiones otoacústicas y PEATC) fueron realizados en la unidad de investigación del CMN SIGLO XXI con el equipo citado en la metodología.

Primer estudio audiométrico. Realizado el 11 de diciembre del 2006. La otoscopia demostró membranas timpánicas integra. Diapasones: umbral simétrico, Weber central Rinne positivo bilateral.

Audiometría tonal: hipoacusia bilateral superficial de tipo sensorial con un PTA (Pure tone Average) derecho de 38.3 dB, y un PTA izquierdo de 30 dB. Logaudiometría: Discriminación fonémica derecha 0% en 20 dB, 80% en 40 dB y 100% en 60 dB. Discriminación fonémica izquierda del 60% en 20 dB, 80% en 40 dB y del 100% en 60 dB. Hipoacusia bilateral combinada (HBC) de 32 %, con una promediación de todas la frecuencias (PTF) de 38%. Anexo 2A.

Segundo estudio audiométrico. Realizado el 16 de marzo 2007. La otoscopia reveló membranas timpánicas íntegras. Diapasones con umbral simétrico, Weber central, Rinne positivo bilateral Audiometría tonal: hipoacusia derecha moderada de tipo sensorial e hipoacusia izquierda superficial de tipo sensorial. Con PTA

derecho 36 dB y PTA izquierdo de 28dB. Logaudiometría con discriminación fonémica derecha del 0% en 20 dB, 40% en 40 dB y del 100% en 60 dB y del izquierdo 0% en 20 dB, 100% en 40 y 60 dB. Hipoacusia bilateral combinada de 30.5% y PTF del 36%. Anexo 2B

Tercer estudio audiométrico. Realizado el día 14 de marzo del 2008. Un año 5 meses posterior al accidente. Otoscopia: membranas timpánicas íntegras. Diapasones: umbral simétrico, Weber central, Rinne positivo bilateral. Audiometría tonal: Hipoacusia derecha severa de tipo sensorial, e hipoacusia izquierda moderada de tipo sensorial con un PTA derecho de 61.6 dB y un PTA izquierdo de 51.6 dB. Logaudiometría: Discriminación fonémica derecha del 0% en 60 dB, 70% en 80 dB y del 100% en 100 dB. Discriminación fonémica izquierda del 0% en 40 dB y del 100% en 60 dB. Hipoacusia bilateral combinada de 45%. Y PTF 57%. Anexo 2C

Cuarto estudio audiométrico. Realizado el día 12 de mayo del 2008. 1 año 7 meses posterior al accidente. Otoscopia membranas timpánicas íntegras. Diapasones: Umbral simétrico, Weber central, Rinne positivo bilateral Audiometría tonal: Hipoacusia derecha severa de tipo sensorial e hipoacusia izquierda moderada de tipo sensorial, con un PTA derecho de 56 dB y un PTA izquierdo de 46 dB. Logaudiometría: Discriminación fonémica derecha del 0% en 60 dB y 70% en 80 dB y 100% en 100 dB. Discriminación fonémica izquierda del 0% en 40 dB, 60% en 60 dB y del 100% en 80 dB. Hipoacusia bilateral combinada de 43 %. Y PTF 55%. Anexo 2D.

Quinto estudio audiométrico realizado el 23 de junio del 2008. 1 año 8 meses posterior al accidente. Otoscopia: membranas timpánicas íntegras. Diapasones: Mejor umbral izquierdo, Weber lateraliza a la izquierda, Rinne positivo bilateral. Audiometría tonal: Hipoacusia derecha severa de tipo sensorial e hipoacusia izquierda moderado de tipo sensorial, con un PTA derecho de 70 dB y un PTA izquierdo de 53 dB Logaudiometría: Discriminación fonémica derecha del 0% en

60 dB, 70% en 80 dB y del 100% en 100 dB. Discriminación fonémica izquierda 0% en 40 dB, 80% en 60 dB y del 100% en 80 dB y del 90% en 100 dB. Hipoacusia bilateral combinada de 61 % y PTF 68%. Anexo 2E

Emisiones Otoacústicas. El estudio de emisiones otoacústicas por productos de distorsión se realizó durante la quinta evaluación, el cual mostró una ausencia de respuesta en ambos oídos. La relación señal ruido observada en todas las frecuencias se encontró por debajo de los parámetros normales. Estos hallazgos están relacionados con el deterioro del umbral auditivo que presenta el paciente actualmente. Anexo 3.

Potenciales evocados auditivos de tallo cerebral (PEATC). Realizados durante la quinta evaluación audiológica. Fueron realizados bajo sueño fisiológico empleándose 2000 estímulos de tipo click con polaridad alterna a una intensidad de 100 decibeles HL y con ruido de enmascaramiento de 80 dB HL, a una tasa de estimulación de 33.1 click/segundo; y con un tiempo de análisis de 10 milisegundos.

En los PEATC se identificaron todos los componentes electrofisiológicos (I, III, V) con una inadecuada replicación de las mismas. Anexo 4.

Llama la atención el incremento de las latencias absolutas, intervalos interonda (I-III, III-V) y del tiempo de conducción central (I-V), en comparación con los parámetros de referencia establecidos en la literatura. (tabla 1)

De una forma global, la evaluación audiológica del paciente mostró una hipoacusia sensorineural, de inicio súbito y evolución progresiva, posterior al accidente, que se fue agravando a través del tiempo, en los PEATC se muestra claramente que las latencias absolutas de los componentes I, III Y V y las latencias interonda están prolongadas, las emisiones otoacústicas por productos de distorsión estuvieron ausentes debido al grado de hipoacusia que presentaba el paciente en el momento del estudio .

Las alteraciones en los PEATC pueden explicarse por los cambios en la cóclea, disturbios en la microfónica coclear y estructuras nerviosas de la vía auditiva, secundaria al flujo de energía a través del oído interno y vía auditiva, provocando daño coclear.

Tabla 1. Comparación de latencias de PEATC del caso con valores de referencia (miliseg)

	Onda I	Onda III	Onda V	Inter-Onda I – III	Inter-Onda III - V	Inter-Onda I - V
Valor de referencia	1.65	3.79	5.82	2.14	2.02	4.16
Caso 1: Oído derecho	1.78	4.28	6.56	2.50	2.28	4.78
Caso 1: Oído izquierdo	1.74	4.24	6.42	2.50	2.18	4.68
Diferencial Oído derecho	0.13	0.49	0.74	0.36	0.26	0.62
Diferencial Oído izquierdo	0.09	0.45	0.6	0.36	0.16	0.52

VIII. DISCUSIÓN.

El presente trabajo es el primero estudio realizado en México, en el que se evalúa audiológicamente a un paciente que sufrió una descarga eléctrica de alto voltaje (23,000 V) accidentalmente durante su jornada laboral.

El paciente ha mostrado una amplia variedad de lesiones en el sistema auditivo secundarias al accidente; las cuales van desde una pérdida sensorineural, progresiva, no fluctuante, hasta problemas en la neuroconducción de la rama coclear del nervio aditivo.

La evaluación de este tipo de accidentes debe ser individualizado dependiendo del tipo y gravedad de la lesión. La lesión más común es la afección del oído medio (ruptura de la membrana timpánica), pérdida auditiva mixta (conductiva con factor sensorial), la cual dependerá en severidad con el tipo de corriente, duración y extensión de la lesión.

En algunos casos la pérdida auditiva podrá ser reversible, sin embargo en aquellos casos en que se presente un factor conductivo se deberá considerar la cirugía para la reparación del daño (injerto de membrana timpánica) (13). Otros casos muestran una hipoacusia irreversible y progresiva ocasionada por la exposición a una descarga eléctrica a corriente directa como la analizada en el presente estudio, donde se aprecia afección en todo el campo auditivo especialmente en frecuencias agudas.

Se calculó la hipoacusia bilateral combinada (HBC) con el índice de Fletcher para cada estudio audiométrico que se practico al caso 1, y observamos un claro deterioro en las frecuencias del lenguaje a través del tiempo (Grafica1), la hipoacusia progreso con el paso del tiempo, a pesar de que el trabajador cambio de puesto de trabajo llamando la atención que el daño auditivo persiste y se agravó. El calculo de la promediación total de frecuencias nos muestra que desde el primer estudio hasta la ultima evaluación audiológica el daño auditivo predomino en las frecuencias agudas (vuelta basal). Grafica 2.

Las alteraciones en la neuroconducción de la vía auditiva mostradas en los PEATC se caracterizaron por incrementos en las latencias absolutas y latencias

interondas, las cuales fueron mayores al parámetro de referencia como se muestra claramente en la diferencial (Tabla1). Todo lo anterior podría basarse en que las lesiones producidas por la corriente directa de alto voltaje, es la más dañina en general según lo descrito por Youngs 1988 y Berges 1974 (12,13) en experimentos en animales y casos reportados, quienes refieren que las frecuencias agudas, es decir las que se encuentran en la base de la cóclea son las más afectadas, y que este flujo de energía eléctrica atraviesa la cóclea causando disturbios eléctricos de la microfónica coclear ocasionando cambios patológicos del oído interno, y junto con otros mecanismos produce la lesión del mismo incluyendo el trauma acústico, ruptura de vasos sanguíneos, hipoxia y hemorragia en oído interno; así mismo refiere que la cóclea rodeada por la cápsula ótica, a excepción de la parte media, por donde pasan las neuronas del nervio coclear hacia el conducto auditivo interno, siendo esta una vía posible para el flujo continuo de la corriente eléctrica a través de estas estructuras nerviosas, que ofrecen una baja resistencia junto con el líquido cefalorraquídeo.

En el presente estudio se decidió el cálculo del promedio total de frecuencias, ya que nos permite una valoración integral de la pérdida para todas frecuencias en comparación con el índice de Fletcher, el cual únicamente toma en cuenta las frecuencias del lenguaje.

Desde nuestro punto de vista, el empleo del índice de Fletcher no es válido dado que deja sin valorar las frecuencias agudas en estadios iniciales, trayendo como consecuencia en términos legales una valuación incompleta del daño auditivo en los trabajadores. (Graficas 1 y 2)

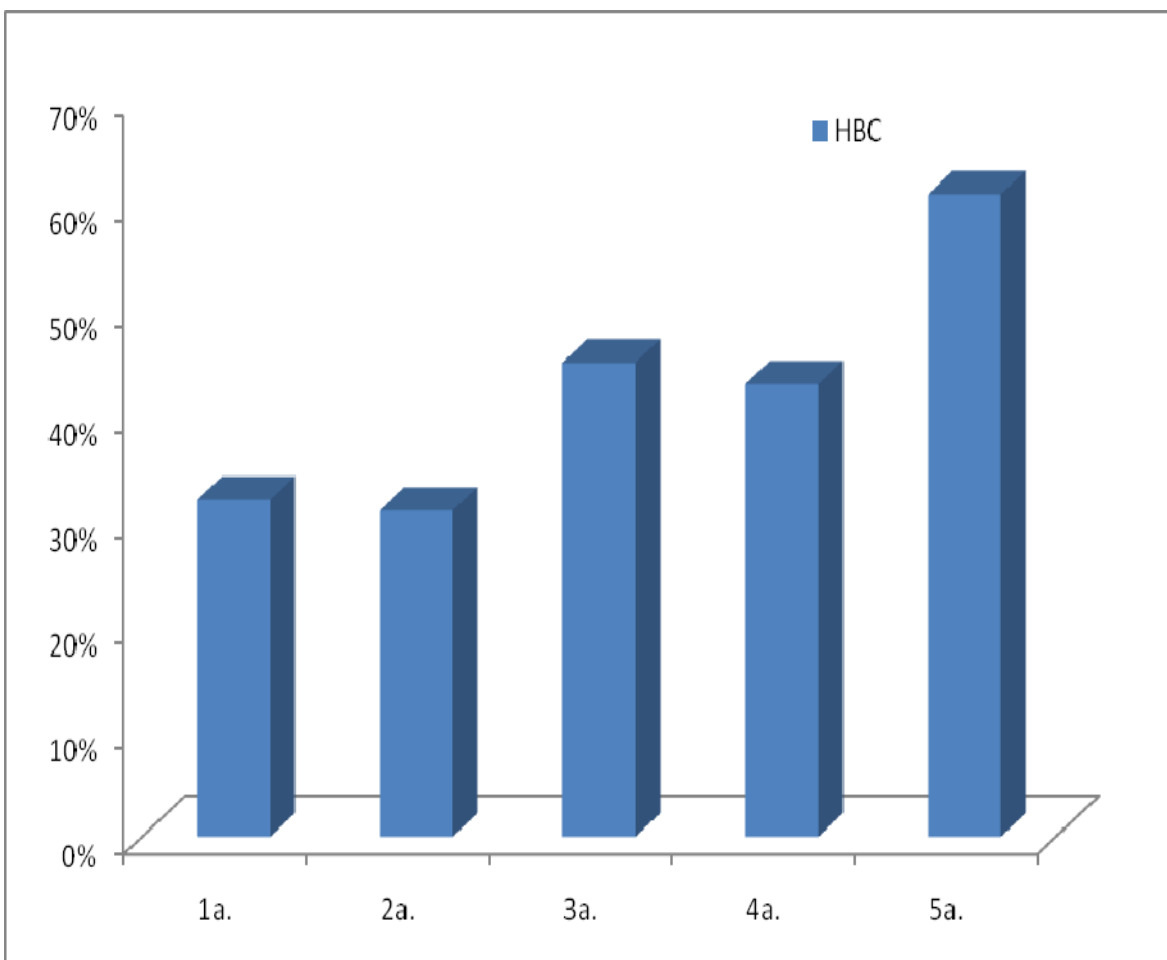
IX. CONCLUSIONES.

Los resultados del presente estudio dan la pauta para realizar nuevas investigaciones epidemiológicas en poblaciones de trabajadores electricistas expuestos a descargas de alto voltaje, que nos permitan dilucidar la fisiopatología del daño auditivo. Diversos estudios arrojan que el sitio más probable de lesión sensorineural sea a nivel de coclear y vía auditiva. (13)

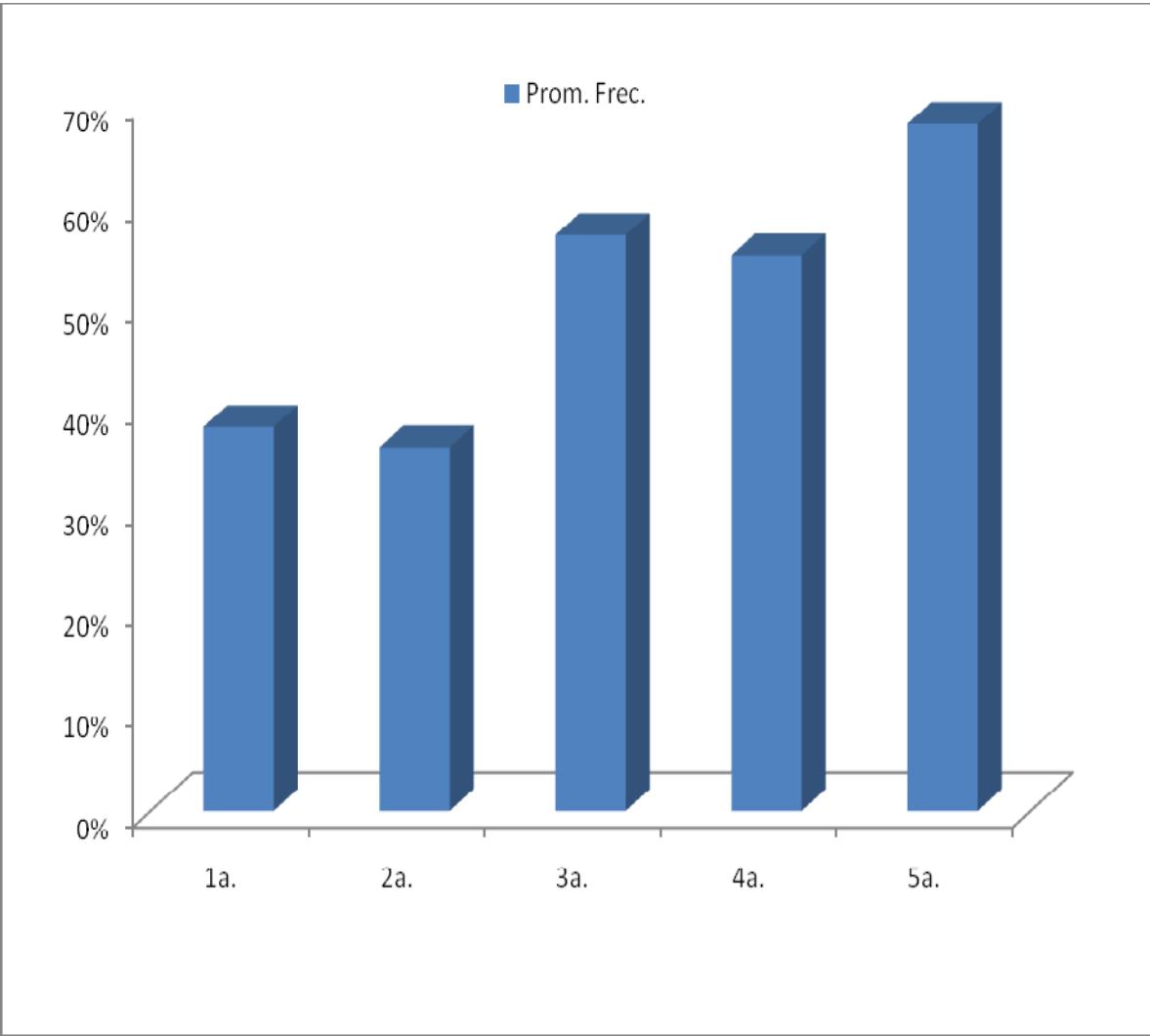
En el proceso de atención médica de este tipo de accidentes sean o no de trabajo, se deberá realizar una evaluación audiológica completa que incluya: otoscopía, diapasones, audiometría tonal, logaudiometría, emisiones otoacústicas y potenciales evocados auditivos de tallo cerebral; lo anterior debido a que en la evaluación general de todo paciente que sufrió descarga eléctrica de alto voltaje, no es considerado el daño auditivo y por lo tanto su evaluación integral es incompleta.

Se recomienda el seguimiento a mediano y largo plazo dado al deterioro del umbral auditivo observado en este estudio.

Grafica 1. Comparación de las hipoacusias bilaterales combinadas del caso a través del tiempo. 2006 -2008.



Grafica 2. Comparación de las promediación de todas las frecuencias del caso a través del tiempo. 2006 -2008.



X.- CONSIDERACIONES ETICAS.

Para proteger la confidencialidad del paciente se omitió el nombre (o sus iniciales), y el número de historia clínica. Manteniendo así el anonimato de los pacientes y respetando las buenas prácticas clínicas, los acuerdos de Helsinki y Tokio Japón, en Octubre 1975 de la 18ª. Asamblea Médica Mundial y por lo estipulado en nuestra ley general de salud y en la NOM referente a estudios de investigación en humanos ya el estudio de investigación no interferirá con ninguno de estos códigos de ética internacionales como el de la Asamblea Médica Mundial de Venecia Italia, Octubre 1983, 41ª. Asamblea Mundial Hong Kong, Septiembre 1989, 48ª. Asamblea General Somerset West, Sudáfrica, Octubre 1996 y la 52ª. Asamblea General de Edimburgo, Escocia Octubre 2000.

XI.- RECURSOS PARA EL ESTUDIO

1.- Recursos humanos: Médicos Audiólogos del HCMSXXI. Médicos Residentes del Servicio de Audiología del HCMSXXI. Asistentes Médicos del Servicios Audiología DEL HCMSXXI. Trabajo Social. Investigadora de la Unidad de Investigación en Salud en el Trabajo CMN Siglo XXI.

2.- Recursos materiales: Audiómetro marca Madsen modelo Orbited 922 versión 2. Analizador de emisiones otacústicas marca Madsen, modelo Capella, No. De serie 257743. Historia Clínica y Notas de evolución del paciente.

3.- Recursos financieros: Este proyecto cuenta con el apoyo de los recursos existentes en infraestructura del Servicio de Audiología y de UIST del CMN Siglo XXI.

XII. BIBLIOGRAFIA

1. Narrative Review: Electrocution and life threatening electrical injuries. 2006;145:531 – 337. *Annals of Internal Medicine*. Christian Spies, MD, and Richard G Trohman, MD .
2. Electrical injuries. Aug. 2, 2006;27:439-47. *Medline*. Brian James Dalay, MD, Ali Farouk Mallat, MD.
3. Frequency specificity of cochlear damage in acute electrical injury: a longitudinal distortion product otoacoustic emission study. 2002, 23:442-446. *Otology and Neurootology*. Bülent Satar, Derya U. Talas, Abdullah Akkaya.
4. Bilateral perilymphatic fistulas from a lightning strike: a case report. 2006 *Laryngoscope* 116: 1039-1042. Gordon H. Sun BS, Jeffrey P Simons, MD.
5. Electrical injuries: a 20 year review. *Journal of burn care and rehabilitation* November/December 2004,25:479-484. Brett D. Arnoldo, MD, Gary F. Purdue, MD, Karen Kowalske, MD.
6. Electrical injuries. *Crit Care Med* 2002 vol.30 [Suppl], No.11 S425-S430. Anastassios C. Koumbourlis, MD, MPH .
7. Practice guidelines for de management of electrical injuries. *Journal of burn care and research* July/agoust 2006, vol.27, No.24, 439-446. Brett Arnoldo, MD; Matthew Klein, MD; Nicole S. Gibran, MD.
8. The human effects of lightning strikes and recommendations for storm chasers. *American Family Practice*. 1990;42:405-14. William T. Hark, MD.
9. Severe brain damage by current flow after electrical burn injury. *Burn care res* 2006;27:917-922. Till Scholz, MD, Vilker Rippmann, MD, Lars Wojtecki, MD.
10. Electrical and lightning injuries. *Journal of Burn Care and Research*, March/April 2007, vol.28 Number 2, 255-261.
11. Reyes-Ortiz CA, Mulligan T. A; case of Diogenes syndrome. *J Am Geriatr Soc* 1996; 44: 1486.
12. Pankjal Jindal; Anu N Nagarkar; Reversible hearing loss associated with high-voltage electric shock; *The Journal of Laryngology and Otology*; Aug 2005; 119, 8; ProQuest Medical Library; pg. 631-633.
13. Lightning and Effects on the Auditory System; Dwight T. Jones, MD; Frederic P. Ogren, MD, FECS; Lynn H. Roh, MD; Gary F. Moore, MD. *Laryngoscope* 101; August 1991.

