



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**DISEÑO Y ADECUACIÓN DE UNA SALA PARA UN EQUIPO
DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR**

Trabajo de graduación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Electrónico

Autor:

Byron Andrés Machado Uzhca

Director:

Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares

Cuenca, Ecuador

2013

DEDICATORIA

Esta monografía se la dedico principalmente a mi Dios por regalarme la oportunidad de vivir y por las fuerzas para no desfallecer en los problemas que se presentan todos los días, además por permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

Con un inmenso cariño para mis padres quienes han estado conmigo apoyándome en todo momento sin importar si fueron buenos o malos, por su comprensión, sus sabios consejos, su gran e incondicional ayuda con los recursos necesarios para estudiar y sobre todo por su infinito amor con el mayor de sus dos hijos.

A mi familia en general, quienes por ellos soy una persona de bien, por los ejemplos de perseverancia y constancia que los caracterizan, brindándome su apoyo absoluto y acompañándome siempre para poderme realizar.

“La dicha de la vida consiste en tener siempre algo que hacer, alguien a quien amar y alguna cosa que esperar”.

Thomas Chalmers.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo monográfico va con un sincero agradecimiento a Dios por las bendiciones recibidas para ser lo que soy y para hacer realidad este sueño tan anhelado.

Le doy gracias a mis papis Rubén y Fanny, ellos son los seres más importantes en mi vida, por los valores que me han inculcado y por haberme brindado una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A la Universidad del Azuay por la oportunidad de estudiar y convertirme en un profesional.

De igual manera agradecer a mis profesores quienes durante toda la carrera han transmitido sus conocimientos brindándome confianza, amistad y motivación diaria para lograr terminar mis estudios con éxitos.

Existe un sin número de personas que han sido parte de mi vida a las que me gustaría agradecerles de corazón por su amistad, apoyo incondicional y sus consejos en todos los momentos de mi vida. Muchas de estas personas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos, no importa en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mi vida y por todas sus bendiciones, MUCHAS GRACIAS.

ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

\vec{H}_0 :	Vector campo magnético
\vec{M} :	Vector resultante
Φ_E :	Flujo eléctrico
$^{\circ}\text{C}$:	Grados Celsius
$^{\circ}\text{K}$:	Grados Kelvin
A	Amperios
ADC:	<i>Analog Digital Converter</i> – Convertidor Analógico Digital
B:	Boro
cm:	Centímetros
dB:	Decibelios
DDS:	<i>Digital Direct Synthesizer</i> – Sintetizador Directo Digital
E:	Campo Eléctrico
ECG:	Electrocardiograma
EMC:	<i>Electromagnetic Compatibility</i> – Compatibilidad Electromagnética
espín α:	Espín alfa
espín β:	Espín beta
Fe:	Hierro
FFT:	<i>Fast Fourier Transform</i> – Transformada de Fourier Rápida
FID:	<i>Free Induction Decay</i> – Decaimiento de Inducción Libre
G:	Gauss
Hz:	Hertz
H₀:	Campo magnético
HVAC:	<i>Heating, Ventilation, and Air Conditioning</i> – Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
J:	Joule

kg:	Kilogramos
km:	Kilómetros
Lx:	Lux
m²:	Metros cuadrados
m³:	Metros cúbicos
mA:	miliamperios
mm:	milímetros
mm²:	milímetros cuadrados
mol:	mol
mT:	miliTesla
Na:	Sodio
Nd:	Neodimio
NEC:	<i>National Electrical Code</i> – Código Eléctrico Nacional
NFPA:	<i>National Fire Protection Association</i> – Asociación Nacional de Protección contra el Fuego
PVC:	Policloruro de vinilo
RF:	Radio Frecuencia
RMN:	Resonancia Magnética Nuclear
S:	Siemens
T:	Tesla
T1:	Relajación longitudinal
T2:	Relajación transversal
VCR:	<i>Video Cassette Recorder</i> – Videograbadora de casete
W:	Watts
γ:	Relación giromagnética
μ:	Mu
ω:	Frecuencia de precesión

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN RESONADOR MAGNÉTICO NUCLEAR. PRINCIPIO DE LA JAULA DE FARADAY	
1.1. Principios físicos	3
1.2. Excitación	7
1.3. Relajación	8
1.4. Tiempos de relajación.....	9
1.4.1. Relajación longitudinal T1, relajación espín – red.....	10
1.4.2. Relajación transversal T2, relajación espín – espín	11
1.4.2.1. Decaimiento de Inducción Libre (FID - <i>Free Induction Decay</i>).....	11
1.5. Apariencia de tejidos	13
1.6. Formación de la imagen	15
1.7. Partes de un equipo de Resonancia Magnética Nuclear	16
1.7.1. Los imanes	17
1.7.1.1. Imanes superconductores.....	17
1.7.1.2. Imanes de tierras raras	19
1.7.2. Sistema de radiofrecuencia	20
1.7.2.1. El transmisor.....	20
1.7.2.2. El receptor	20
1.7.3. Bobinas de gradiente	20
1.7.4. Sistema de adquisición de datos. Estación de trabajo	22
1.8. Jaula de Faraday	22

1.8.1.	Principio básico.....	22
1.8.2.	Funcionamiento.....	23
1.8.3.	Conductor en equilibrio electrostático	24
1.8.4.	La Jaula de Faraday en Resonancia Magnética Nuclear	25

CAPÍTULO II. DISEÑO DE LA JAULA DE FARADAY

2.1.	Proyección	26
2.2.	Campos Magnéticos en RMN	27
2.3.	Consideraciones para un imán utilizado en RMN	29
2.3.1.	Peso	29
2.3.2.	Protección Magnética.....	29
2.3.3.	Seguridad para el paciente y el personal	29
2.3.4.	Homogeneidad del Campo Magnético.....	30
2.4.	Protección de Radio Frecuencia (RF).....	30
2.5.	Preguntas de Diseño	31
2.6.	Consejos de Diseño	32
2.7.	Consideraciones de cableado.....	33
2.8.	Temperatura y Humedad	33
2.9.	Iluminación.....	34
2.10.	Ruido	35
2.11.	Contaminación.....	35
2.12.	Sistema de Tierra	36
2.13.	Monitoreo de la Fuente de Alimentación	36
2.14.	Alimentación de Emergencia. Recomendaciones	37
2.15.	Detalles de Construcción	37
2.15.1.	La Estructura	38
2.15.2.	El Piso	39
2.15.3.	La Pared	40
2.15.4.	La Puerta	41
2.15.5.	La Ventana	43
2.15.6.	El Techo	44
2.15.7.	Las Guías de Ondas.....	44
2.15.8.	Filtros Electrónicos	45

CAPÍTULO III. RECUBRIMIENTO DE LA JAULA DE FARADAY

3.1.	Consideraciones.....	52
3.2.	Cobre	52
3.2.1.	Propiedades del cobre	54
3.2.2.	Aplicaciones del cobre	54
3.3.	Acero	55
3.3.1.	Propiedades del acero.....	57
3.3.2.	Aplicaciones del acero	57
3.4.	Mu-metal combinado con diferentes aleaciones	58
3.4.1.	Propiedades del Mu-metal.....	59
3.4.2.	Aplicaciones del Mu-metal	59

CAPÍTULO IV. EQUIPOS MÉDICOS ADICIONALES

4.1.	Limitaciones	62
4.2.	Equipos compatibles con RMN obligatorios.....	63
4.2.1.	Auricular electrostático	63
4.2.2.	Intercomunicador	65
4.2.3.	iPod compatible con RMN.....	66
4.3.	Equipos adicionales para el paciente	67
4.3.1.	Electrocardiograma - ECG.....	67
4.3.2.	Máquina de anestesia	67
4.3.3.	Respirador artificial.....	68
4.3.4.	Capnógrafo.....	68
4.3.5.	Oxímetro de pulso	68
4.3.6.	Bombas de infusión.....	68
4.4.	Accesorios compatibles con RMN	69

CONCLUSIONES.....	70
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	72
-----------------------------	-----------

GLOSARIO	74
-----------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	79
--------------------------	-----------

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Relación giromagnética.....	6
Tabla 2.1. Temperatura y Humedad.....	34
Tabla 2.2. Iluminación.	34
Tabla 2.3. Filtración del Aire.	35
Tabla 3.1. Información general relevante.....	53
Tabla 3.2. Tipos de aceros.....	56
Tabla 3.3. Información general relevante.....	57
Tabla 3.4. Información general relevante.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. a. Movimiento de rotación o espín.....	4
b. Movimiento de precesión.	
Figura 1.2. a. Espines orientados al azar.	4
b. Espines orientados en determinadas direcciones al aplicar un campo magnético.	
Figura 1.3. Orientación de espines Paralelos – Anti paralelos.....	5
Figura 1.4. Estados de espín al aplicar un campo magnético variable.....	5
Figura 1.5. Emisión de onda RF a través de una bobina (placa roja).....	7
Figura 1.6. Relajación del espín al interrumpir las ondas de radio.	8
Figura 1.7. Resultado al aplicar un pulso de radiofrecuencia de 90°.	9
Figura 1.8. Movimiento de relajación de \vec{M}	10
Figura 1.9. Amortiguamiento de la componente transversal de \vec{M}	11
Figura 1.10. Proyección transversal de \vec{M}	12
Figura 1.11. Proyección unidimensional de \vec{M}_{xy} a lo largo del tiempo.	12
Figura 1.12. Transformación de Fourier de la FID.	13
Figura 1.13. Contraste en Secuencias T1 y T2.....	14
Figura 1.14. Formación de las imágenes.....	15
Figura 1.15. Estímulos que producen ecos en los tejidos.....	16
Figura 1.16. Esquema de las partes principales de un RMN.....	16
Figura 1.17. a. Diagrama de un imán superconductor.	18
b. c. Acondicionamiento y corte del imán.	
Figura 1.18. Imán permanente de tierras raras.	19
Figura 1.19. Bobinas de gradiente en las direcciones x, y, z.	21
Figura 1.20. Cortes para RMN.	21
Figura 1.21. a. Software de Control y Procesamiento.....	22
b. PC de una estación de trabajo.	
Figura 1.22. Equipo electrónico dentro de la Jaula de Faraday.	23
Figura 1.23. Caja conductora inmersa en un campo eléctrico uniforme.....	24
Figura 1.24. a. Jaula de Faraday, estructura.	25
b. Construcción de una Jaula de Faraday real.	

Figura 2.1. Límites estandarizados para evitar distorsiones en campos magnéticos.	28
Figura 2.2. Piso construido para una Jaula de Faraday.	39
Figura 2.3. Pared construida para una Jaula de Faraday.	40
Figura 2.4. a. b. Instalación de lana de roca en una Jaula de Faraday.	41
Figura 2.5. Puerta construida para una Jaula de Faraday.	42
Figura 2.6. Lengüetas-resortes que cierran la Jaula de Faraday.	42
Figura 2.7. Ventana construida para una Jaula de Faraday.	43
Figura 2.8. Malla utilizada en blindaje RF, material plata sobre poliamida.	43
Figura 2.9. Techo construido para una Jaula de Faraday.	44
Figura 3.1. Cobre en la naturaleza.	53
Figura 3.2. Láminas de cobre utilizadas en la Jaula de Faraday.	55
Figura 3.3. a. Hierro en la naturaleza.	56
b. Carbono en la naturaleza.	
Figura 3.4. Láminas de acero utilizadas en la Jaula de Faraday.	58
Figura 3.5. Láminas de Mu-metal utilizadas en la Jaula de Faraday.	60
Figura 3.6. Partes de una plancha adhesiva de Mu-metal.	61
Figura 3.7. Plancha adhesiva de Mu-metal para paredes y techos.	61
Figura 4.1. Auriculares electrostáticos utilizados en exploraciones por RMN.	64
Figura 4.2. Auriculares electrostáticos con dos placas conductoras fijas y un diafragma móvil.	64
Figura 4.3. Tapones plásticos para oídos.	65
Figura 4.4. Intercomunicador usado en exploraciones por RMN.	65
Figura 4.5. Micrófono que funciona a través de fibra óptica, no contiene metal.	66
Figura 4.6. iPod usado en exploraciones por RMN con música precargada.	66

Byron Uzhca
030613

RESUMEN

DISEÑO Y ADECUACIÓN DE UNA SALA PARA UN EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR.

Para proponer un blindaje completo de la sala de resonancia magnética nuclear, en donde se va a instalar el equipo según las características de los materiales, y explicar de manera general las partes y el funcionamiento, así como procedimientos, normativas, conexiones y reglamentaciones obligatorias en el diseño integral de una Jaula de Faraday.

Se investigó temas relacionados con la exploración por imagenología, ya que es muy importante tener una sala completamente diseñada y adecuada para que el equipo pueda funcionar correctamente, evitando así daños humanos y materiales. La Jaula de Faraday debe tener en su interior un campo eléctrico nulo, dando como resultado una exploración de calidad óptima; teniendo siempre presente, que al hacer uso de accesorios y equipos médicos adicionales, éstos no deben tener partes ferromagnéticas, además tienen que ser construidos con materiales y componentes electrónicos inmunes al alto campo magnético producido por el imán principal.

Palabras claves: blindaje, radiofrecuencia, resonancia magnética nuclear, Jaula de Faraday, ferromagnético.



**DIRECTOR DE ESCUELA
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Ing. Francisco Vásquez C.



DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ing. Eduardo Sempértegui C.



AUTOR

Byron Andrés Machado Uzhca

*Byron
060613*

ABSTRACT

**DESIGN AND ADAPTATION OF A CHAMBER FOR NUCLEAR
MAGNETIC RESONANCE EQUIPMENT**

The goal of this project is to propose complete shielding in the nuclear magnetic resonance unit, where the equipment will be installed according to the characteristics of the materials. We will provide a general explanation of the parts and the operation of the equipment as well as the procedures, standards, connections, and obligatory regulations for the design of a Faraday Cage.

Issues related to imaging exploration were studied since it is essential to have a well-designed and adapted chamber that ensures the correct operation of the equipment in order to avoid human and material damage. A Faraday Cage must contain a null electric field, which results in quality exploration. We must always keep in mind that when we employ accessories and additional medical equipment, these must not contain ferromagnetic parts and must be constructed with materials and components that are electronically immune to the high magnetic field produced by the main magnet.

Key Words: shielding, radiofrequency, nuclear magnetic resonance, faraday Cage, ferromagnetic.

**DIRECTOR OF THE SCHOOL
OF ELECTRONIC ENGINEERING**

Ing. Francisco Vasquez

**DIRECTOR OF THE GRADUATION
PROJECT**

Ing. Eduardo Sempértegui C.

AUTHOR

Byron Andrés Machado Uzhca

**UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
DPTO. IDIOMAS**

Translated by,
Diana Lee Rodas

Machado Uzhca Byron Andrés

Trabajo de Grado

Ing. Eduardo Rodrigo Sempértegui Cañizares

Junio, 2013

DISEÑO Y ADECUACIÓN DE UNA SALA PARA UN EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR

INTRODUCCIÓN

Los equipos de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) son muy utilizados en el ámbito medicinal para diagnosticar de manera puntual diversidad de patologías, esta técnica se ha destacado sobre diagnósticos con Rayos X o Tomografía Axial Computarizada (TAC) porque es un método no invasivo y no ionizante mediante el cual se logra imágenes de alta resolución del interior de cuerpo humano.

Su principio de funcionamiento está basado en imanes (Campo Magnético) y ondas de radiofrecuencia (RF) que aplica pulsos consiguiendo la resonancia de los núcleos atómicos, principalmente el hidrógeno, posteriormente recogiendo las señales de energía liberada para crear imágenes denominadas cortes, un equipo de RMN puede crear cientos de cortes en tiempos muy pequeños de la parte del cuerpo estudiada, que después mediante Software de Control y Procesamiento se obtendrá una imagen de buena calidad y entendible para el médico tratante.

Aporta un gran número de ventajas en relación a sus similares, logra imágenes en los tres planos del espacio, se puede conocer la dirección del flujo sanguíneo de los vasos a través de una técnica denominada Angiografía por resonancia magnética, es una método limpio, es decir no existe señales de repercusiones biológicas ni en pacientes ni en profesionales expuestos, como ya se dijo es un diagnóstico no invasivo y no ionizante.

Las desventajas en el tema de resonancia magnética derivan esencialmente de su elevado coste y los largos tiempos de estudio, es por esta razón que hoy en día se están desarrollando secuencias de cortes cada vez más rápidas.

El equipo de RMN se encuentra dentro una sala totalmente forrada de cobre, acero o Mu-metal combinado con otras aleaciones en su interior, bloqueando que salgan ondas al exterior, y que ondas de radio externas interfieran con las pequeñas señales que emite el cuerpo humano. En casas de salud y clínicas especializadas en imagenología en donde exista un resonador magnético es requisito primordial contar con una sala completamente diseñada y adecuada para que el equipo médico pueda funcionar de manera correcta, evitando así daños humanos y materiales.

El resonador magnético debe estar dentro de una sala que es una protección de cobre generalmente denominada Jaula de Faraday, aunque puede ser construida también con otros materiales, y tiene como función principal evitar que entren o salgan ondas de radio.

La Jaula de Faraday al cumplir con el diseño, adecuación y reglamentación necesaria va a dar como resultado:

- Obtención de imágenes más confiables.
- Mejor herramienta de diagnóstico para el médico tratante (imagen de alta resolución).
- Disminución en repetitividad en exámenes, menor tiempo en la sala de RMN.
- Mantenimiento periódico bajo, y por lo tanto ahorro de costos.

Al tener una Jaula de Faraday confiable, robusta y una correcta instalación del resonador magnético es más que seguro que se tenga un rendimiento estable y óptimo del equipo, este es el fin por el cual se escogió como tema de monografía: “Diseño y Adecuación de una sala para un equipo de Resonancia Magnética Nuclear”.

CAPÍTULO I

PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE UN RESONADOR MAGNÉTICO NUCLEAR. PRINCIPIO DE LA JAULA DE FARADAY

1.1. Principios físicos

La resonancia magnética está relacionada con campos magnéticos y ondas de radiofrecuencia (RF). Se descubrió en 1946 por los físicos Bloch (Stanford) y por Purcell (Harvard) en forma independiente; hecho que les valió el premio Nobel de Física en el año 1952. Sus inicios fueron en los campos de química analítica y bioquímica y a partir de los años '80 se empezó a desarrollar su uso aplicado a la medicina en seres humanos. Es un fenómeno con pocos años de investigación y desarrollo que ha evolucionado y continúa haciéndolo a grandes pasos.

En el universo la materia está compuesta de átomos. Los elementos que poseen átomos con número impar de electrones tienen una propiedad conocida como momento magnético o espín, lo que significa que poseen un campo magnético propio, es decir, se comportan como pequeños imanes. El átomo de hidrógeno, el más abundante del cuerpo, tiene esta propiedad.

La base física de la Resonancia Magnética Nuclear está dada por la existencia de dos tipos de movimientos de los núcleos atómicos, movimiento de rotación o espín, el cual gira según la dirección del campo magnético aplicado y el movimiento de precesión que de igual manera está en función de la intensidad del campo magnético.

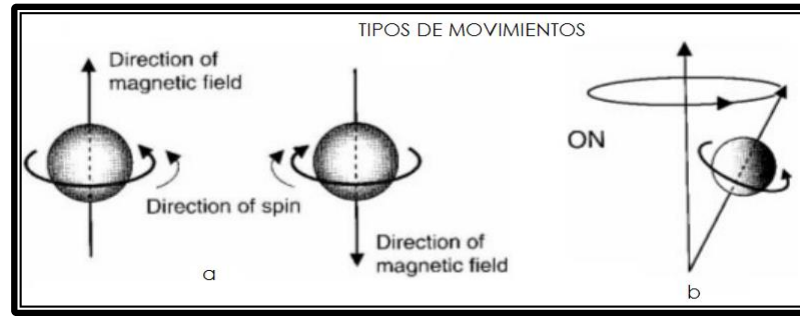


Figura 1.1. a. Movimiento de rotación o espín.

b. Movimiento de precesión.

a. b. (FUNDACIÓN BARCELÓ. Facultad de Medicina. PRINCIPIOS FÍSICOS RESONANCIA

MAGNÉTICA. 2005. pág.1) [ref. 20 de diciembre de 2012]

Fuente: a. b. <http://www.fundacion->

barcelo.com.ar/medicina/diagnostico%20por%20imagenes%20medicina/resonancia%20principios%20fisicos.pdf

Los espines nucleares se orientan al azar cuando no existe campo magnético, figura 1.2. a. En cambio al aplicar un campo magnético H_0 a una muestra de tejido (que es lo mismo que introducir a un paciente en un imán), los núcleos con espín positivo se orientan en la misma dirección de H_0 en un estado de energía mínima, estado de espín α , por el contrario los núcleos con espín negativo se orientan en dirección opuesta a la de H_0 en un estado de energía mayor, estado de espín β como se muestra en la figura 1.2. b. Lo mismo sucede a los átomos de otros elementos con la propiedad descrita como momento magnético, como el sodio, carbono, nitrógeno y otros.

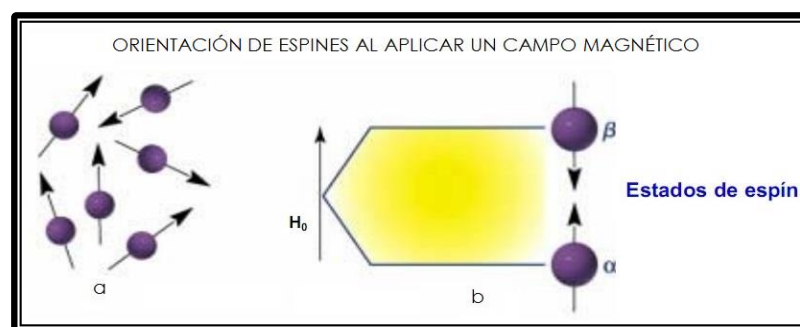


Figura 1.2. a. Espines orientados al azar.

b. Espines orientados en determinadas direcciones al aplicar un campo magnético.

a. b. (ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR. [s.a.]. pág.2) [ref. 20 de diciembre de 2012]

Fuente: a. b. <http://www.uv.es/jcastell/Espectroscopia.pdf>

Hay dos grupos de población de espín:

- Paralelos a H_0 = Baja energía.
- Anti paralelos a H_0 = Alta energía.

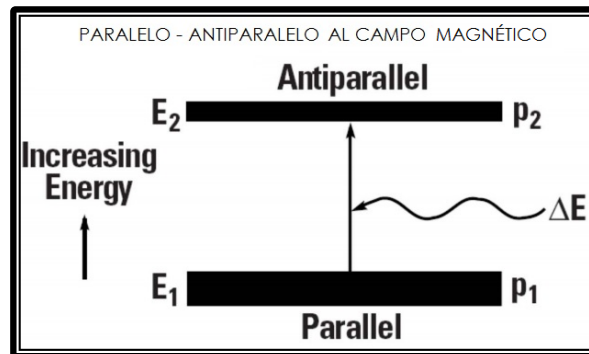


Figura 1.3. Orientación de espines Paralelos – Anti paralelos.

(GARZA FLORES. Rolando. Principios Básicos de Imagen por Resonancia Magnética. 2011. pág.6) [ref. 20 de diciembre de 2012]

Fuente: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/Cursos_Ing_clinica2011/curso_taller_centro_2011/17_GE_Resonancia_Magnetica.pdf

La variación de energía entre α y β , los dos estados de espín, está directamente relacionada con la magnitud del campo magnético aplicado H_0 . Mientras más grande sea el campo magnético, existirá mayor diferencia energética entre los estados de espín α y β . En la figura 1.4 se muestra que al aumentar la fuerza del campo magnético se aumenta la variación energética entre los estados de espín.

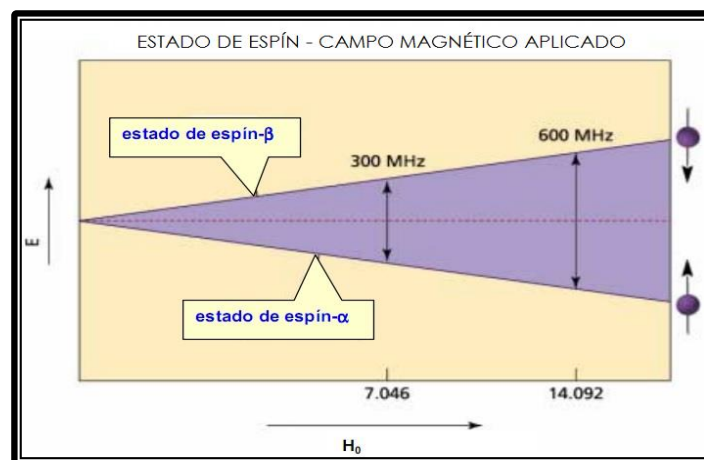


Figura 1.4. Estados de espín al aplicar un campo magnético variable.

(ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR. [s.a.]. pág.3) [ref. 21 de diciembre de 2012]

Fuente: <http://www.uv.es/jcastell/Espectroscopia.pdf>

La orientación de espines se realiza de una manera dinámica, lo que quiere decir que los espines que se encontraban en la posición paralela pasan a la antiparalela y viceversa, cambian con el tiempo. Existe una precesión alrededor del eje del campo magnético externo. La frecuencia de dicha precesión es conocida como la relación giromagnética, es exclusiva para cada elemento (Tabla 1.1) y dependiente del H_0 aplicado. Su valor es de aproximadamente 42.58MHz para el caso del hidrógeno, por cada unidad T (Tesla) de campo magnético utilizado.

Tabla 1.1. Relación giromagnética

RELACIÓN GIROMAGNÉTICA		
Núcleo	MHz/T	Sensibilidad
1H	42.56	100
13C	10.7	0.25
14N	3.1	0.20
23Na	11.3	0.13
32P	17.2	0.41

(MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. pág.5) [ref. 21 de diciembre de 2012]

Nota: Se debe mencionar que la orientación es un fenómeno cuántico, se orientan cuánticamente, no realmente, en donde la orientación del vector de magnetización cambia de dirección, no es un proceso en el que los átomos cambian de posición.

Los campos magnéticos aplicados en resonancia magnética son de intensidad alta. La intensidad o potencia de los campos se mide en unidades Gauss o Tesla, siendo 1T equivalente a 10,000 G. A manera de ejemplo, para un campo magnético de 14.092 T se requiere una frecuencia de precesión (onda de radiofrecuencia) de trabajo de:

$$\omega = 42.58 \frac{MHz}{T} \cdot 14.092T = \mathbf{600MHz}.$$

La velocidad de precesión del valor anterior se obtiene a través de la ecuación de Larmor. La frecuencia precesional es medida en Hertz (Hz), ciclos por segundo, y depende del tipo de núcleo y de la potencia del campo magnético externo aplicado, en la actualidad los equipos de RMN trabajan a 200,300, 400, 500 y 600 MHz.

$$\omega = \gamma \cdot H_0 \quad \text{Ec. [1]}$$

Dónde:

ω = frecuencia de precesión.

γ = relación giromagnética.

H_0 = campo magnético aplicado.

1.2. Excitación

La excitación de los protones es relativamente sencilla, se utiliza forma de energía que tenga la misma frecuencia (frecuencia de precesión) que la que adquieren los espines cuando están sometidos a un campo magnético externo H_0 , (proceso de preparación) es decir se usa ondas de radio “sintonizadas” a esa misma frecuencia.

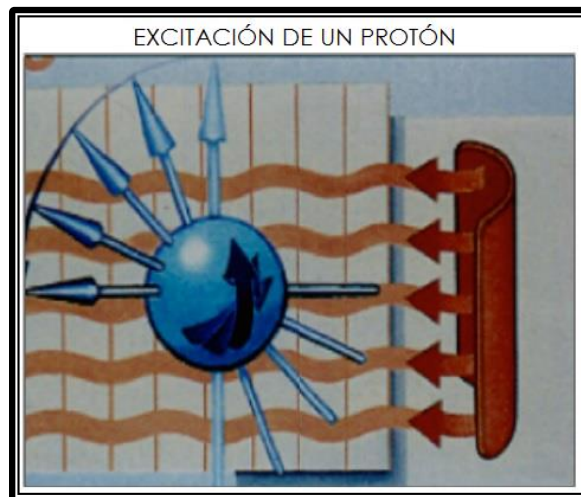


Figura 1.5. Emisión de onda RF a través de una bobina (placa roja).

(MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. pág.18) [ref.

21 de diciembre de 2012]

La excitación da como resultado variaciones en los niveles de energía, la variación se mide en grados, los que se relacionan con la duración del estímulo (90° generalmente), esto es lo que se conoce como eco de espín. Del ejemplo anterior, 600MHz es la frecuencia a la que debemos sintonizar en nuestro “radio” para oír el eco de los protones.

La excitación es emplear una secuencia de ondas de RF que se “encienden” y “apagan” en tiempos muy pequeños para obtener diferentes tipos de contrastes entre los tejidos. Se logra una correcta excitación al aplicar las ondas de radiofrecuencia en una región específica (denominado corte) y en un volumen dado (denominado espesor de corte).

1.3. Relajación

Es el transcurso de recuperación luego de que los tejidos han recibido los estímulos, ósea las ondas de radio (después de la preparación y la excitación). La energía recibida debe regresar cuando se interrumpe su aplicación. La excitación da como resultado la liberación de energía en una forma similar a la que fue aplicada, es decir, como una onda de radiofrecuencia (Figura 1.6). Dicha onda refleja la composición molecular de cada uno de los tejidos estimulados a manera de un eco, pero modificado por el tipo de molécula a partir del cual se refleja.

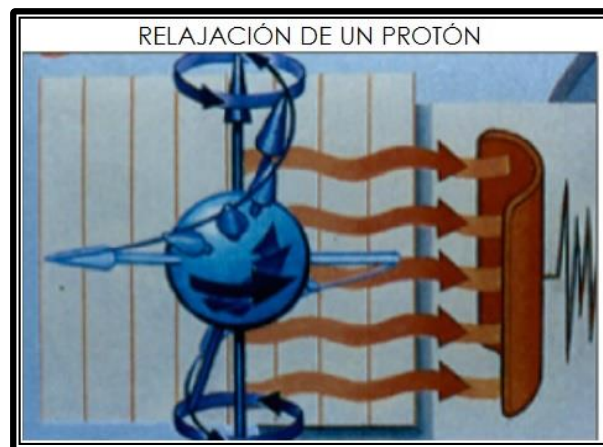


Figura 1.6. Relajación del espín al interrumpir las ondas de radio.

(MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. pág.19) [ref.

22 de diciembre de 2012]

Los átomos después del pulso de radiofrecuencia vuelven a su posición original emitiendo energía en forma de ondas de radio, las cuales son captadas por una bobina para formar después de un procesamiento digital de señales la imagen, las ondas de radio denominadas reflejadas se conocen como ecos.

La onda recibida tiene de datos dos constantes de tiempo, que corresponden a las componentes longitudinal y transversal de una onda que tiene comportamiento vectorial. Las componentes se conocen como tiempos de relajación. La componente vertical se conoce como T1 o tiempo de relajación longitudinal, la componente perpendicular a éste es el tiempo T2 o tiempo de relajación transversal, T1 y T2 son los que explican los contrastes (o tonos en una escala de grises) que se obtienen de los diferentes tejidos.

1.4. Tiempos de relajación

Después que es enviado el pulso de radiofrecuencia, y suponiendo que se hizo un giro de 90° , el vector resultante \vec{M} es perpendicular a la dirección del vector \vec{H}_0 , (Figura 1.7). El pulso de radiofrecuencia consigue además que todos los protones giren en fase. En resultado, al término del pulso de RF, el vector precesa libremente sobre el plano xy con un valor inicial \vec{M}_0 . De la posición perpendicular, \vec{M} vuelve a su posición de inicio siguiendo una trayectoria compleja que se representa en la figura 1.8.

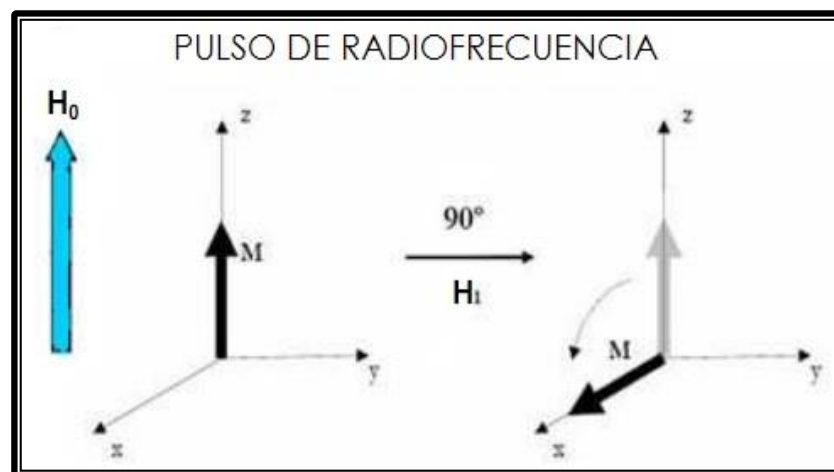


Figura 1.7. Resultado al aplicar un pulso de radiofrecuencia de 90° .

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.30) [ref. 02 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

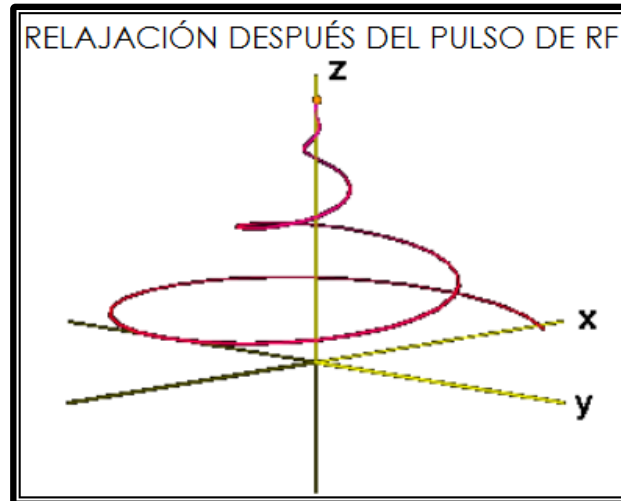


Figura 1.8. Movimiento de relajación de \vec{M} .

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.30) [ref. 02 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

1.4.1. Relajación longitudinal T1, relajación espín – red

En la relajación T1 la colectividad de espines nucleares vuelven al equilibrio térmico por medio de transiciones entre los estados de espín de mayor y menor energía, recobrando la magnetización longitudinal (en el eje z) que antes tenían. El equilibrio térmico se logra con el intercambio de energía asociado a dichas transiciones. Este fenómeno se produce por el acoplo entre los espines nucleares y sus entornos moleculares y se denomina relajación espín-red.

Este tiempo puede ser medido con secuencias multi-pulso, se generan varios pulsos de radiofrecuencia separados por intervalos de tiempo determinados. Estas secuencias multi-pulso revelan diferentes características de las muestras y son la base de la RMN. En este caso se pueden usar dos secuencias diferentes:

- a) Técnica de recuperación de saturación.
- b) Técnica de recuperación de inversión.

1.4.2. Relajación transversal T2, relajación espín – espín

La relajación T2 es el resultado de las interacciones espín-espín. Los protones, que giran todos en fase, después de aplicar el pulso de RF comienzan a desfasarse, ya que se producen intercambios de energía entre ellos, y porque, debido al desplazamiento químico, la frecuencia a la que precesan es ligeramente diferente. El tiempo que tarda la componente transversal del vector \vec{M} en desaparecer, en pasar de M_0 a cero, es 5 veces T2 aproximadamente. T2 es siempre más pequeño que T1, por lo que una vez el vector \vec{M} esta sobre el eje z, se demora un tiempo en volver de nuevo al estado de reposo y recuperar el valor M_0 .

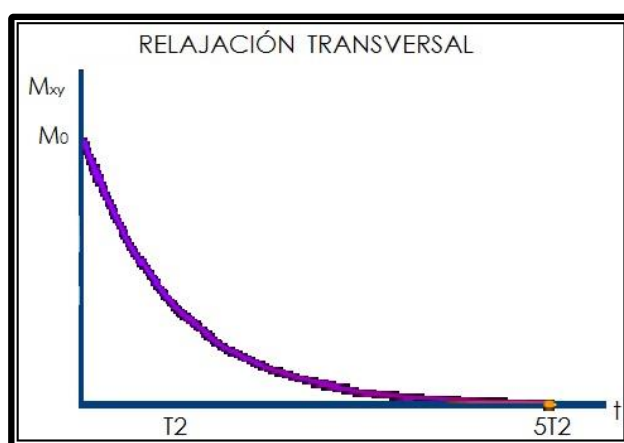


Figura 1.9. Amortiguamiento de la componente transversal de \vec{M} .

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.32) [ref. 04 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

1.4.2.1. Decaimiento de Inducción Libre (FID - *Free Induction Decay*)

Los núcleos precesan alrededor del eje z, entonces, es la componente transversal de \vec{M} la que trae la información sobre la frecuencia de resonancia de los núcleos, y consecuentemente de la que se puede obtener el desplazamiento químico (*chemical shift*). También en la componente transversal y superpuesto al movimiento de precesión, está el movimiento de amortiguamiento según T2, este movimiento oscilatorio amortiguado, proyectado sobre el plano xy, da lugar a una espiral, figura 1.10.

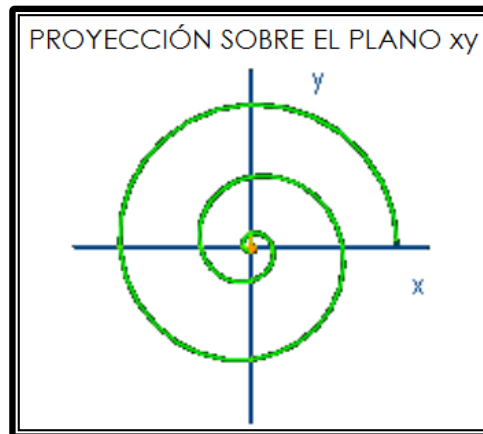


Figura 1.10. Proyección transversal de \vec{M} .

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.33) [ref. 06 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

“Se le llama *FID (Free Induction Decay)* a la evolución temporal, de la proyección unidimensional, de la componente transversal de \vec{M} , desde que cesa el pulso de radiofrecuencia, hasta que desaparece”¹.



Figura 1.11. Proyección unidimensional de \vec{M}_{xy} a lo largo del tiempo.

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.33) [ref. 09 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

¹ PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. (2009). Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. España. pág.33. Revisado el 09 de enero de 2013 desde Internet: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>>

La señal elemental de la RMN es la FID. Al observar esta señal pueden obtenerse datos como los tiempos de relajación. Algo interesante es que esta señal se puede procesar por medio de la Transformada de Fourier obteniendo como resultado el espectro de RMN (Figura 1.12), de ahí posteriormente se conseguirá el desplazamiento químico, *chemical shift*, y propiedades adicionales.

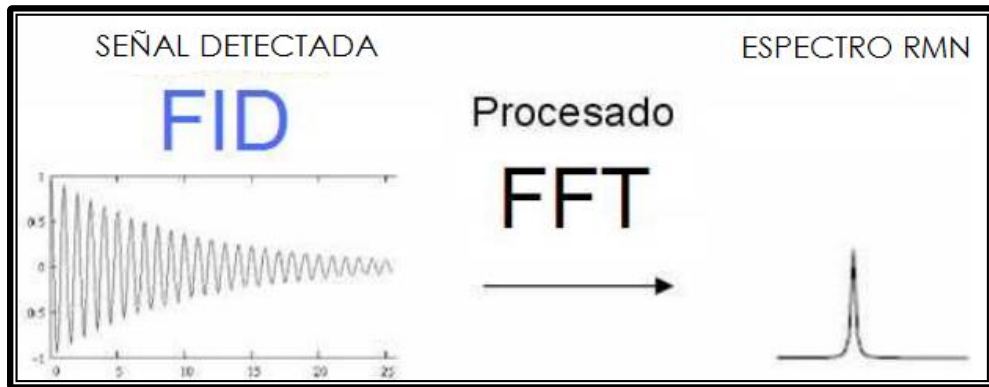


Figura 1.12. Transformación de Fourier de la FID.

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.34) [ref. 11 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

1.5. Apariencia de tejidos

En resonancia magnética existen varios factores que determinan las características de la señal de los tejidos examinados en una escala de grises (intensidad). El ingenio de las secuencias consiste en diseñar estrategias que favorezcan la visualización preferencial de uno o varios de estos factores, ya que son intrínsecos al tejido examinado.

Factores que determinan el contraste en RMN:

- Tiempo de relajación longitudinal T1.
- Tiempo de relajación transversal T2.
- Densidad de protones.
- Susceptibilidad magnética.
- Flujo.

Se utilizan secuencias (series de impulsos de ondas de radio que se encienden y apagan en patrones definidos) que realcen estas diferencias entre los tejidos, con el objetivo de lograr una imagen que tenga asignados tonos de gris según el parámetro escogido para lograr distinguir entre varios tejidos.

“Así, por ejemplo, en una secuencia que realce la información acerca del T1 de los tejidos, las colecciones líquidas tendrán una señal de baja intensidad, mientras que las mismas colecciones tendrán una señal muy alta si se utiliza una secuencia que muestre mayor información acerca del T2 de los tejidos”².

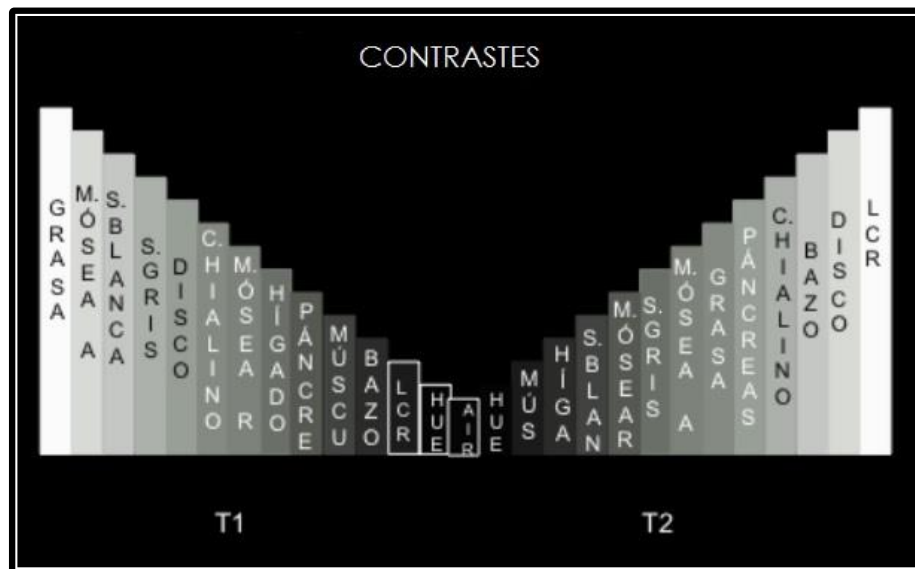


Figura 1.13. Contraste en Secuencias T1 y T2.

(MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. pág.20) [ref. 11 de enero de 2013]

En T1 y T2 la señal más baja es el aire y el hueso cortical. La escala de grises cambia de acuerdo a las diferentes secuencias que se utilicen para observar los tejidos. A continuación en la figura 1.14 se muestra una comparación de las imágenes en ambas secuencias T1 y T2 los que proporcionan la información sobre una determinada patología.

² MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. (2011). pág.20.

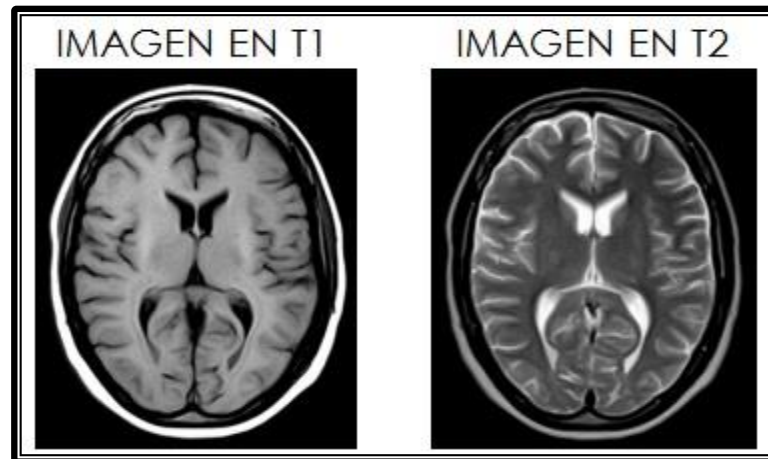


Figura 1.14. Formación de las imágenes.

(BUSTOS. José Javier. VALIDACIÓN DE TÉCNICA DE DETECCIÓN DE ELECTRODOS BASADO EN IMÁGENES DE MR Y CT. 2011. pág.17) [ref. 11 de enero de 2013]

Fuente: <http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/313/1/1Bustos.pdf>

1.6. Formación de la imagen

La información de las señales que emiten los tejidos al aplicar uno o varios pulsos de RF es extraída para la posterior formación de la imagen. Varios parámetros se deben tomar en cuenta al adquirir esta información. Si se desea obtener una imagen completa de cada corte o sección, que a su vez representa una matriz, se tiene que repetir varias veces los pulsos aplicados. De hecho, para completar cada imagen, representada como un corte o sección, es necesario repetir la secuencia de pulsos de RF tantas veces como filas tenga la matriz final. Un mínimo de 128 filas debe tener una matriz para lograr obtener imágenes de resolución satisfactoria. Las imágenes que tienen una matriz más grande con 256, 512 o más filas necesitan de un número mayor de repeticiones, y más tiempo para completarlas.

Las secuencias se aplican en forma ordenada durante un determinado tiempo. Estos procesos son muy rápidos, se suelen medir todos en milisegundos o microsegundos y están comandados por un microcontrolador. Como se dijo, la misma secuencia de pulsos de radiofrecuencia se repite varias veces para formar la imagen definitiva (Figura 1.15). Estímulos intermitentes (ondas rectangulares de color amarillo), se producen a lo largo del tiempo, generando señales o ecos (ondas verdes). *“La señal con la que se trabaja es tan pequeña, que además es preciso repetir las mediciones*

muchas veces para completar un “mapa” o imagen que tenga utilidad clínica. Esto significa que, además de repetir la secuencia por cada “fila” de píxeles o elementos de imagen, puede ser necesario repetir cada fila para mejorar la medición de cada señal”³.

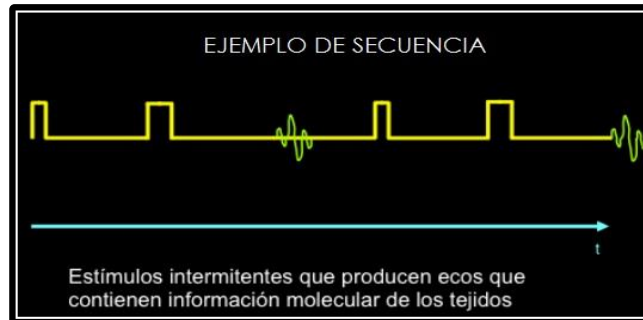


Figura 1.15. Estímulos que producen ecos en los tejidos.

(MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. pág.21) [ref. 12 de enero de 2013]

1.7. Partes de un equipo de Resonancia Magnética Nuclear

Un equipo de resonancia debe ser capaz de generar y enviar a la muestra ondas de RF precisas en amplitud, frecuencia, y fase en los tiempos exactos (con un programador de pulsos), además de detectar ondas en el momento adecuado (receptor).

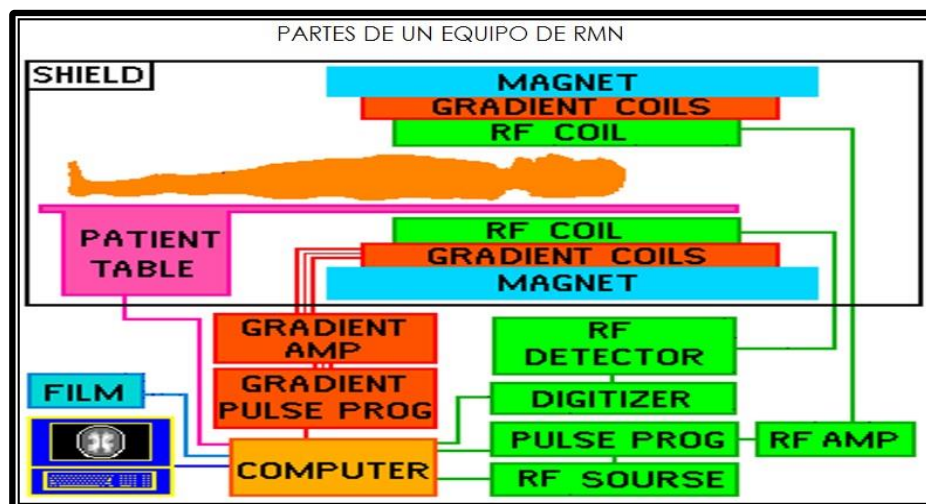


Figura 1.16. Esquema de las partes principales de un RMN.

(¿Qué es la Resonancia Magnética Nuclear? [s.a.]. pág.22) [ref. 14 de enero de 2013]

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/23341631/CLASE-1-RESONANCIA-MAGNETICA-NUCLEAR>

³ MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. (2011). pág.21.

De manera general diremos que el RMN es un equipo básicamente con un imán, una bobina y un sistema de transmisión - recepción de radiofrecuencia. El resto son partes del Resonador ("lock", regulación de temperatura, preamplificadores, filtros, conversores analógico/digital ADC, generación de gradientes de campo, ordenadores, etc.). Se describen a continuación las partes más importantes que forman un resonador magnético.

1.7.1. Los imanes

Los imanes crean el campo magnético permanente H_0 responsable de la alineación de los núcleos. Las propiedades de dicho campo, sobre todo la intensidad, limitan en gran medida las prestaciones del equipo. Existen varios tipos de imanes, los electroimanes y los imanes resistivos en la actualidad ya no son utilizados, los más comunes ahora son los imanes superconductores y los imanes de tierras raras, estos dos se explican a continuación.

1.7.1.1. Imanes superconductores

Los imanes superconductores son los más empleados en la actualidad, crean un campo magnético muy intenso, su bobina está hecha a base de hilo superconductor que es una aleación especial (por ejemplo niobio-titanio), puede medir varios Km, y va enrollado en múltiples capas, como se puede observar en la figura 1.17. a – b.

Para que el hilo conductor que es parte de la bobina se comporte como tal, este se tiene que encontrar a una temperatura cercana al cero absoluto (0°K). Dicha temperatura se consigue sumergiendo la bobina en helio líquido. Siempre que la bobina se mantenga a la misma temperatura del helio líquido, la corriente que se introduce fluye por ella de forma permanente sin casi nada o nada de resistencia.

El helio debe permanecer en estado líquido y así mantener la temperatura de la bobina, entonces se debe evitar el intercambio de calor con el entorno. Este bloqueo

de intercambio de calor se logra introduciendo la bobina y el helio en una cámara, que a su vez se encuentra dentro de otra cámara llena de nitrógeno líquido a 77,4°K, que está dentro de una cámara de vacío a temperatura ambiente (Figura 1.17. c).

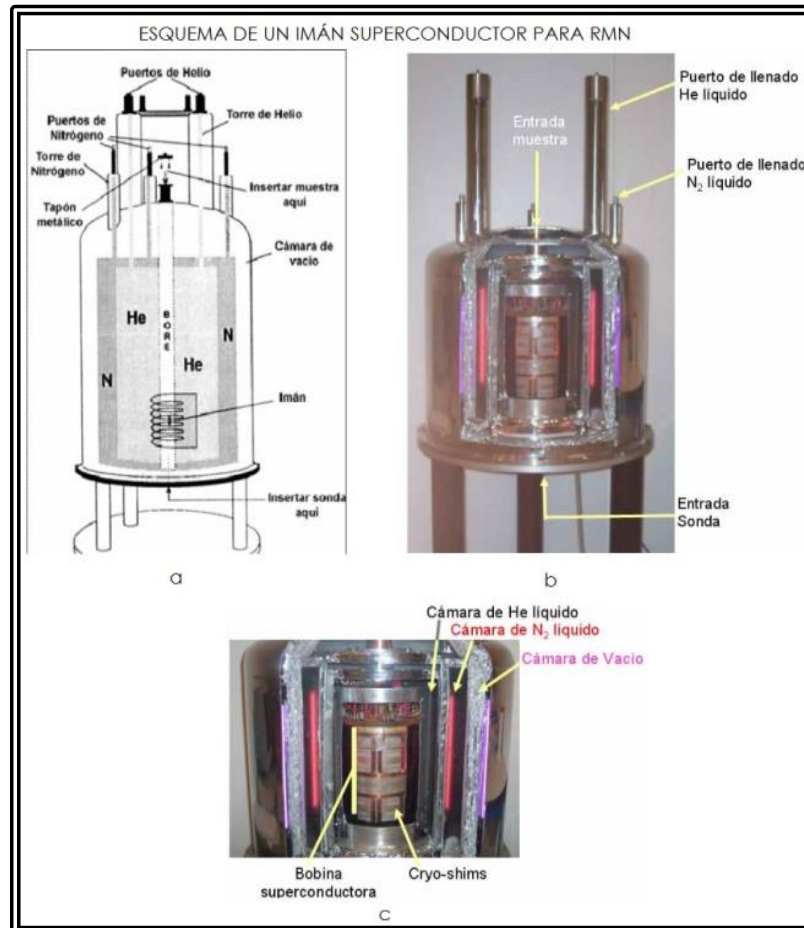


Figura 1.17. a. Diagrama de un imán superconductor.

b. c. Acondicionamiento y corte del imán.

a. b. c. (UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. Unidad de Resonancia Magnética - Sección RMN. [s.a.]. El imán) [ref. 14 de enero de 2013]

Fuente: a. b. c. <http://desoft03.usc.es/rmnweb/rmnspect.html>

Las cámaras deben ser rellenadas cada cierto tiempo, ya que tanto el helio como el nitrógeno se van evaporando lentamente con el tiempo. El gran tamaño y el estricto mantenimiento son los grandes problemas de estos imanes. Por otro lado, la ventaja es que, al ser electroimanes, logran crear campos muy intensos. Adicional a la bobina que genera el campo principal, incorpora bobinas que crean campos correctores que se suman al anterior, consiguiendo que el campo total sea mucho más estable y homogéneo.

1.7.1.2. Imanes de tierras raras

Poseen propiedades magnéticas excepcionales. La fabricación de este tipo de imanes es un proceso bastante complejo basado en tierras raras. La materia prima granulada que se necesita para su aleación tiene que ser mezclada minuciosamente en vacío en las proporciones adecuadas. Por último, se modelan por presión a altas temperaturas, sin llegar a la temperatura de fusión, en unos hornos especiales, teniendo un producto final extremadamente duro. Los imanes permanentes de tierras raras son los más potentes hoy en día, y están hechos a base de neodimio (Nd), hierro (Fe) y boro (B).



Figura 1.18. Imán permanente de tierras raras.

(PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. 2009. pág.51) [ref. 15 de enero de 2013]

Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>

La utilización de estos imanes en RMN trae muchas ventajas. Se alcanzan campos magnéticos relativamente intensos con imanes de medidas muy reducidas. Adicional a esto se puede decir que son económicos, fáciles de mecanizar, y no requieren mantenimiento. Las desventajas frente a los imanes superconductores son por un lado, que no se pueden conseguir campos tan intensos como el de los electroimanes. Y por otro lado, la fabricación a base de mezclar los componentes granulados, impide obtener una buena homogeneidad espacial del campo.

1.7.2. Sistema de radiofrecuencia

El sistema de radiofrecuencia es el encargado de la generación y transmisión de la secuencia de pulsos, utilizada para excitar los protones, además que capta las diferentes señales que emiten los protones cuando se relajan, por medio de una bobina transmisora - receptora (antena).

1.7.2.1. El transmisor

El transmisor genera y envía los pulsos de radiofrecuencia que excitan el sistema, las partes básicas de un transmisor son una fuente de radiofrecuencias y un amplificador de potencia. *“Como fuente de RF se utiliza un Sintetizador Directo Digital (DDS - Digital Direct Sintetizer), de frecuencia y fase programables, y que es habilitado y deshabilitado desde el sistema de control para conformar los pulsos. La secuencia de pulsos generada por el DDS es recogida por un amplificador de alta potencia que aporta la energía necesaria y la transfiere a la muestra”*.⁴

1.7.2.2. El receptor

El receptor de un resonador magnético es muy similar a un receptor de radio doméstico en el cual la señal de radiofrecuencia es detectada por una antena, y demodulada utilizando un proceso de conversión de frecuencias, el buen diseño del receptor es fundamental para la obtención de una señal de RMN limpia de ruido e interferencias.

1.7.3. Bobinas de gradiente

La función de las bobinas de gradiente es variar el campo magnético codificando la posición de los protones. La generación de un gradiente se la hace a través de dos bobinas dispuestas en posiciones paralelas (Figura 1.19). Con cada par de bobinas se

⁴ PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. (2009). Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. España. pág.60. Revisado el 16 de enero de 2013 desde Internet: <<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf>>

puede generar un gradiente en una determinada dirección del espacio, por ejemplo la más habitual es la dirección Z paralela al campo magnético principal H_0 .

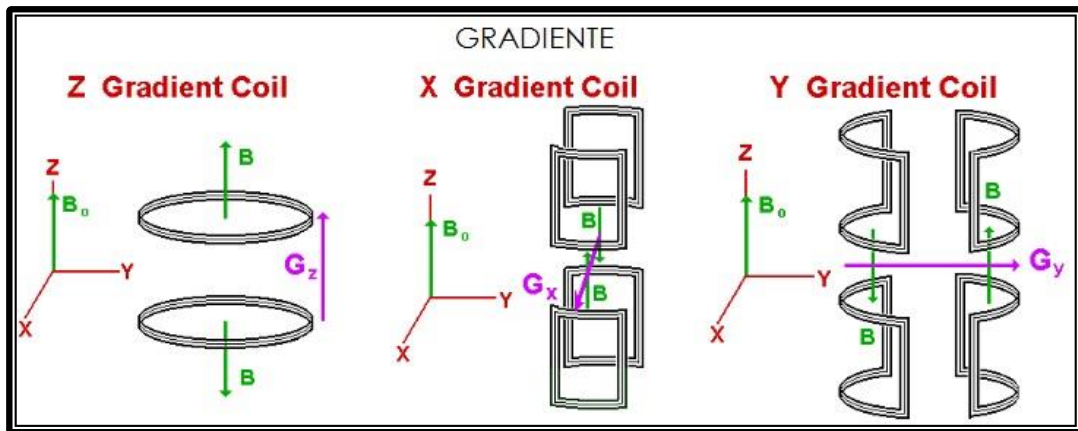


Figura 1.19. Bobinas de gradiente en las direcciones x, y, z.

(UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. Unidad de Resonancia Magnética - Sección RMN.

[s.a.]. Los gradientes de campo magnético) [ref. 17 de enero de 2013]

Fuente: <http://desoft03.usc.es/rmnweb/rmnespect.html>

Las imágenes que vemos en RMN se las realiza a través de cortes según los tres planos en que dividimos el cuerpo humano (Figura 1.20) mediante secuencias de activaciones de una u otra bobina de gradiente.

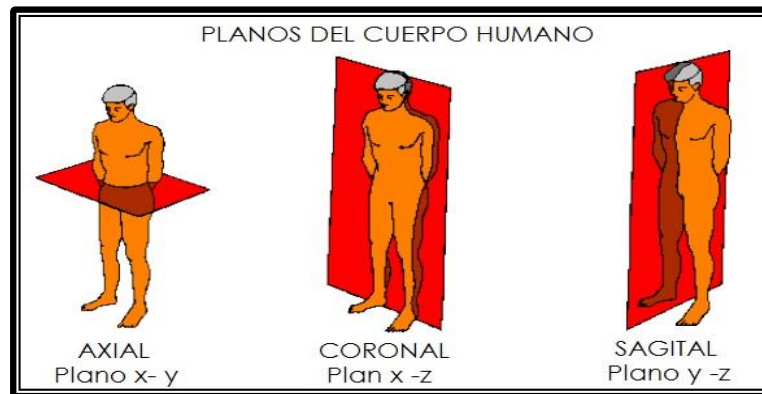


Figura 1.20. Cortes para RMN.

(FREIRE ROSALES. Manuel José. Fundamentos físicos de las imágenes médicas: Resonancia Magnética.

[s.a.]. pág.26) [ref. 17 de enero de 2013]

Fuente: <http://personal.us.es/alberto/ffisim/material/Resonancia.pdf>

1.7.4. Sistema de adquisición de datos. Estación de trabajo

La estación de trabajo está en constante interacción con el usuario, es decir, aunque esté corriendo una determinada secuencia de pulsos de un experimento de RMN, el usuario puede estar realizando múltiples tareas como: visualizando datos anteriores, modificando las opciones de vista de imágenes, así como definiendo el próximo experimento, etc. Para realizar el tipo de prueba deseada, la estación de trabajo convierte la información que entiende el usuario en información que entiende el sistema de control, datos en binario o hexadecimal por lo general, y se los transmite en intervalos de tiempo muy pequeños.



Figura 1.21. a. Software de Control y Procesamiento.
b. PC de una estación de trabajo.

a. (ALIBABA. Estación de trabajo dicom de software. [s.a.]. Estación de trabajo dicom de software) [ref. 17 de enero de 2013]

b. (COMPAÑÍA MEXICANA DE RADIOLOGÍA CMR. Para el diagnóstico más fácil le ofrecemos la mejor herramienta. 2012. Estaciones de trabajo) [ref. 17 de enero de 2013]

Fuente: a. <http://spanish.alibaba.com/product-free-img/dicom-workstation-software-100728538.html>
b. http://www.cmr-rx.com/prod.php?menu=prod_ed&submenu=prod_ed&ssmenu=prod_ed_smart

1.8. Jaula de Faraday

1.8.1. Principio básico

“Se conoce como Jaula de Faraday a un sistema cerrado, construido de un material conductor, formando un blindaje electrostático. Este sistema tiene la particularidad de que al estar inmerso en un campo eléctrico, en su interior el campo es nulo”.⁵

⁵ BÓRQUEZ. Claudio. DELGADO. Pablo. GODOY. Yulián. IBACACHE. Nelson. (7 Abril 2011). Jaula de Faraday. pág.12. Revisado el 18 de enero de 2013 desde Internet: <<http://nelsonpz.files.wordpress.com/2011/08/jaula-de-faraday.pdf>>



Figura 1.22. Equipo electrónico dentro de la Jaula de Faraday.

(Jaula de Faraday. [s.a.]. Realización práctica) [ref. 18 de enero de 2013]

Fuente: http://www.jpimentel.com/ciencias_experimentales/pagwebciencias/pagweb/Los_talleres_de_ciencias/el_electricidad_y_magnetismo/electrostatica_jaula_faraday.htm

La jaula se construyó en 1836 por Michael Faraday con el objetivo de demostrar la Ley de Gauss. Faraday construyó una habitación cubierta con una capa de metal, en donde incidían descargas de alto voltaje en la parte externa de la habitación. Para demostrar el postulado en el interior de la habitación se introdujo un electroscopio⁶, indicando que no había carga eléctrica en el interior. Esto explica lo propuesto por la Ley de Gauss (Ec. [2]), el flujo eléctrico total en una superficie cerrada es cero.

Dónde:

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = 0 \quad \text{Ec. [2]}$$

Φ_E = flujo eléctrico.

\vec{E} = vector de campo eléctrico.

1.8.2. Funcionamiento

Su funcionamiento está basado en las propiedades de un conductor en equilibrio electrostático. Si una caja metálica es colocada ante un campo eléctrico externo las cargas positivas se quedan en las posiciones de la red; los electrones, sin embargo, que en un metal son libres, empiezan a moverse puesto que sobre ellos actúa una fuerza eléctrica, figura 1.23.

⁶ El electroscopio es un instrumento que nos dice si un cuerpo está electrizado y el signo de su carga.

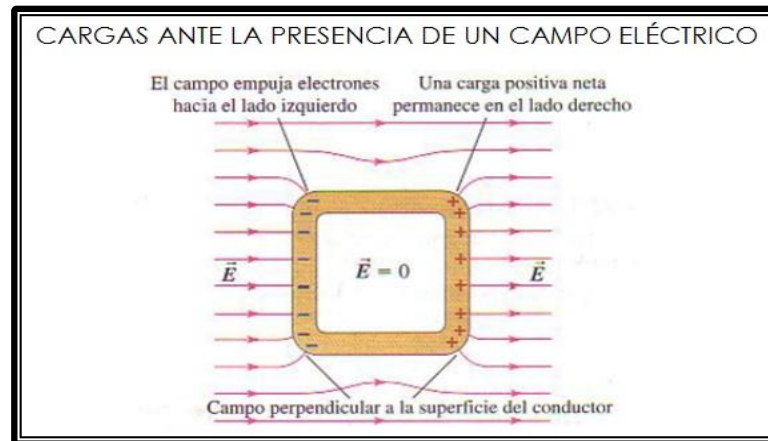


Figura 1.23. Caja conductora inmersa en un campo eléctrico uniforme.

(BÓRQUEZ. Claudio. DELGADO. Pablo. GODOY. Yulián. IBACACHE. Nelson. Jaula de Faraday. 2011. pág.15) [ref. 19 de enero de 2013]

Fuente: <http://nelsonpz.files.wordpress.com/2011/08/jaula-de-faraday.pdf>

1.8.3. Conductor en equilibrio electrostático

Si a un conductor cargado con una carga q , se le deja una determinada cantidad de tiempo, alcanza el equilibrio electrostático en la que ya no hay movimiento de cargas, es decir la densidad de corriente en todos sus puntos vale cero. A continuación se exponen varias de las propiedades de los conductores en equilibrio electrostático:

- “El campo eléctrico en el interior es nulo.
- La carga eléctrica se distribuye sobre la superficie, concentrándose en las zonas de menor curvatura.
- La superficie del conductor es una superficie equipotencial (tiene el mismo valor de potencial en todos los puntos).
- El campo eléctrico en la superficie está dirigido hacia afuera y es perpendicular a la superficie”⁷.

⁷ BÓRQUEZ. Claudio. DELGADO. Pablo. GODOY. Yulián. IBACACHE. Nelson. (7 Abril 2011). Jaula de Faraday. pág.12. Revisado el 19 de enero de 2013 desde Internet: <<http://nelsonpz.files.wordpress.com/2011/08/jaula-de-faraday.pdf>>

1.8.4. La Jaula de Faraday en Resonancia Magnética Nuclear

“La Jaula de Faraday (también conocida como Blindaje de RF), es una sala blindada contra las ondas electromagnéticas ambientales, especialmente aquellas cuya frecuencia se encuentra del orden de las frecuencias de radio (radiofrecuencia, o RF)”⁸.

En laboratorios en donde estén instalados equipos de resonancia magnética o en salas de electromedicina, las interferencias pueden afectar el funcionamiento y la calidad de imágenes de algunos equipos, de modo que la mayoría de los fabricantes exige la construcción de un blindaje de radiofrecuencia en estas salas para garantizar en su interior niveles acordes con la atenuación requerida, figura 1.24. a.

La Jaula de Faraday en RMN es una gran caja de material de alta conductividad eléctrica, cobre, acero o Mu-metal combinado con otras capas de aleaciones, montada sobre un esqueleto de madera (Figura 1.24. b), el que a su vez se apoya en una estructura pre-existente (pared de cemento o yeso) para mayor rigidez.



Figura 1.24. a. Jaula de Faraday, estructura.
b. Construcción de una Jaula de Faraday real.

a. (¿Qué es la Resonancia Magnética Nuclear? [s.a.]. pág.32) [ref. 19 de enero de 2013]

b. (GESTIÓN MÉDICA. Galería de Gestión Médica. 2012. IMG_0368) [ref. 19 de enero de 2013]

Fuente: a. <http://es.scribd.com/doc/23341631/CLASE-1-RESONANCIA-MAGNETICA-NUCLEAR>
b. <http://www.flickr.com/photos/77109874@N06/7066533553/in/photostream>

⁸ DALDE. Blindajes Electromagnéticos. [s.a.]. Jaula de Faraday. Revisado el 19 de enero de 2013 desde Internet: <<http://dalde.com.ar/productos/blindajes/jaula-de-faraday>>

CAPÍTULO II

DISEÑO DE LA JAULA DE FARADAY

2.1. Proyección

El diseño y posteriormente la construcción de la Jaula de Faraday son etapas que deben ser desarrolladas bajo el monitoreo de profesionales que conozcan del tema. En esta sección se ampliará lo relacionado con la parte de diseño, que después de la construcción y pruebas respectivas dará como resultado un centro de Imagen por Resonancia Magnética de calidad óptima, muchísimos factores deben ser tomados en cuenta y un sin número de requerimientos necesarios dan como resultado una Jaula de Faraday bien hecha.

La Jaula de Faraday es un requisito obligatorio en la instalación total de un equipo de resonancia magnética nuclear, además de la Jaula de Faraday se debe diseñar e instalar algunas exigencias adicionales, las más importantes y que pueden ser de gran ayuda se listan a continuación:

- Instalación de conductos eléctricos, cajas de unión y distribución, ductos de aire, vías para camillas, líneas de salida de electricidad e interruptores seguros.
- Líneas de comunicación (teléfonos, intercomunicadores, etc.).
- Instalación del blindaje RF.
- Instalación de líneas de entrada en el panel de distribución de energía, sistemas de transformación y cables de alimentación hacia el imán. Los diferentes cables tienen que ser probados con puntas de continuidad y etiquetados en ambos extremos, deben estar conectados a tierra se

recomienda que tengan chaqueta color verde con una franja amarilla. No deben existir empalmes y si los hubiera estos deberían estar fuera de la sala de RMN.

- Líneas de instalación no eléctricas como equipo de aire acondicionado, líneas de vacío y oxígeno que van al interior de la Jaula de Faraday, todo lo anterior debe ser claramente etiquetado.
- Instalación de la protección o blindaje magnético (si es requerido).
- Definir el lugar de construcción o el sitio de renovación para la Jaula de Faraday.
- Reforzar las estructuras en donde se asentará el imán, si es necesario.
- Programar la instalación del imán en su ubicación final dentro de la sala.

2.2. Campos Magnéticos en RMN

La intensidad de los campos magnéticos depende de la potencia del imán, éstos se pueden clasificar en campo magnético bajo, medio y alto. Los imanes utilizados en la construcción de equipos de resonancia magnética nuclear varían entre 0.2 y 3 Teslas. En la actualidad los más comunes son los imanes de alto campo magnético.

a) Campo Magnético Bajo

Primeros imanes utilizados en la construcción de equipos de RMN, varían entre 0.2 y 0.4 Teslas son de tipo imanes permanentes. No necesitan electricidad ni refrigeración, pero si requieren de un ambiente de temperatura y humedad estable.

b) Campo Magnético Medio

De 0.5 a 1 Tesla son de tipo súper conductor y resistivo. Al utilizar imanes resistivos se requiere mucha más potencia de funcionamiento y mayor tiempo de enfriamiento cuando está en uso. El campo magnético de un imán resistivo está desactivado cuando el sistema no está en funcionamiento.

c) Campo Magnético Alto

Entre 1 y 3 Teslas son exclusivamente de tipo súper conductor. La superconductividad es un fenómeno en donde ciertos materiales pierden la resistencia al paso de la corriente eléctrica a temperaturas próximas al cero absoluto (-274 °C), esta es la razón por la que estos imanes siempre tienen que estar llenos de helio líquido. El campo magnético está siempre presente.

Como sabemos las líneas de campo o flujo en los imanes salen de un polo e ingresan por el opuesto, estas líneas son imaginarias y crean un lazo cerrado formando campos magnéticos simétricos. Por lo tanto existe campo marginal en los alrededores del imán. *“El campo magnético marginal es el que se extiende más allá de los confines del magneto y no se puede emplear en la creación de imagen. Puede afectar al equipo y personal cercano”*⁹. La ubicación del imán determina la distancia mínima (Figura 2.1) a la cual se puede instalar diferentes equipos que podrían interferir con el correcto funcionamiento del resonador magnético.

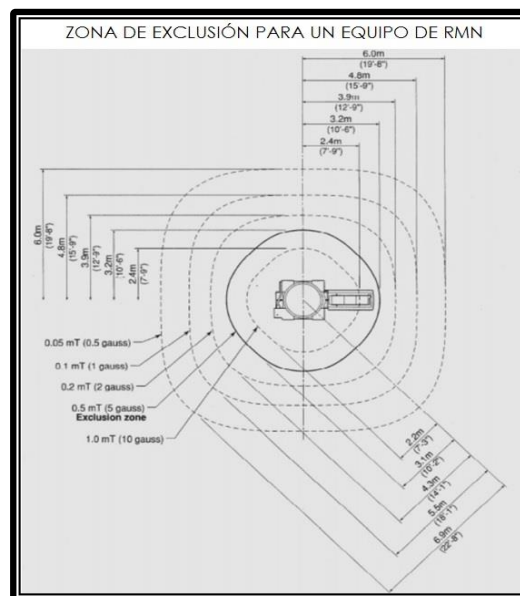


Figura 2.1. Límites estandarizados para evitar distorsiones en campos magnéticos.

(COELLO FIALLOS. Diana Carolina. Estudio del proceso de instalación y diseño de un sistema de control de calidad del equipo de Resonancia Magnética Nuclear modelo Toshiba mrt-600ex de Megaflor Neurodiagnostico y Medicina - ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. 2012. pág.55) [ref. 22 de enero de 2013]

Fuente: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2015/1/86T00006.pdf>

⁹ ACADEMIC. (2010). campo marginal. Revisado el 22 de enero de 2013 desde Internet: <http://www.esacademic.com/dic.nsf/es_mediclopedia/28903/campo#sel=3:4,3:34>

2.3. Consideraciones para un imán utilizado en RMN

Independientemente del campo magnético y del tipo de imán utilizado, cuando se realiza la instalación del resonador se deben tener en cuenta varios parámetros, que si pasan por desapercibido podrían ocasionar retardos en los tiempos de trabajo, los más importantes se detallan en las próximas líneas.

2.3.1. Peso

El peso del imán es uno de los factores influyentes en el momento de la instalación del equipo, su peso puede variar entre 3.5 y 40 toneladas dependiendo del tipo de construcción, la intensidad de campo magnético que puede generar, entre otros.

2.3.2. Protección Magnética

En ciertos lugares puede ser necesario limitar el campo magnético marginal, ya que equipos adicionales cercanos pueden interferir en la captación y tratamiento de señales emitidas por el cuerpo humano, esto ayuda a obtener imágenes de buena calidad y a eliminar perturbaciones del exterior.

2.3.3. Seguridad para el paciente y el personal

Es recomendable que exista un área controlada llamada Zona de Exclusión. El valor para limitar esta área se calcula en función del campo magnético marginal y es de 0.5mT (5 Gauss), se debe tener muy claro que en el interior del perímetro formado por dicha intensidad de campo magnético no puede existir absolutamente nada magnético, se debe tomar en cuenta cercas, puertas de acceso controladas, señales de advertencia, lugares para mantener a salvo material magnético (si hubiese) e incluso dinero y tarjetas de crédito deben ser previstos.

2.3.4. Homogeneidad del Campo Magnético

Para obtener una imagen de buena calidad en el interior del imán se debe tener un campo uniforme. Materiales de hierro muy próximos al equipo tales como columnas, vigas, ascensores, vehículos, etc., pueden influir en la homogeneidad del mismo. Ciertas perturbaciones en el campo pueden ser corregidas por shimming (ajuste de homogeneidad) una vez instalado el imán.

2.4. Protección de Radio Frecuencia (RF)

Los sistemas de resonancia magnética nuclear requieren protección de Radio Frecuencia. El blindaje RF tiene dos objetivos. El primero es evitar que la emisión de ondas de radio del resonador interfiera con equipos electrónicos en los alrededores, en algunos casos pudiendo llegar a dañarlos. El segundo objetivo es evadir a las ondas de radio externas que entran en la sala y que éstas sean recogidas por las bobinas del equipo dando como resultado una imagen no entendible para el especialista.

Las ondas de radio son dañinas en la región denominada frecuencia de resonancia. El valor de esta frecuencia está directamente relacionado con la intensidad del campo magnético y es de 42.6 MHz para una unidad de 1 Tesla. Para 3 Teslas esta frecuencia es de 127.8 MHz. Un correcto blindaje RF debe atenuar ondas de radio entre 1 MHz y 180 MHz como mínimo. El factor de atenuación debería ser al menos 1:100 000 o expresado en decibelios (dB) = 100.

La Jaula de Faraday es construida principalmente con láminas de cobre colocadas en estructuras de madera, con un techo similar y un piso formado de varias capas que se explicaran más adelante, se forma una habitación totalmente aislada a la entrada y/o salida de ondas de radio. Si es necesario el uso de cables eléctricos, gases medicinales, agua, aire, etc. que entren o salgan de la sala se debe obligadamente utilizar filtros especiales. Estos filtros tienen diseños específicos y cada uno sirve

para una determinada tarea. Cada filtro debe estar conectado a tierra con una corriente de fuga muy baja para garantizar la seguridad del paciente.

2.5. Preguntas de Diseño

Como fase primaria se recomienda contestar una serie de preguntas que serán útiles para tener una referencia general y un bosquejo inicial de la Jaula de Faraday.

1. ¿Puede el piso soportar el peso del imán?
2. Necesita el suelo ser reforzado. ¿Cómo?
3. ¿Existe un acceso adecuado para la instalación del imán?
4. ¿Es suficiente la altura de la habitación?
5. ¿Cuáles son los requerimientos de aire acondicionado que se deben cumplir?
6. ¿Los gases entran y salen de la sala de RMN de forma segura?
7. ¿Existen objetos o estructuras ferromagnéticas en el entorno que puedan perturbar el campo magnético?
8. Los objetos en movimiento deben ser tomados muy en cuenta ya que pueden distorsionar la imagen. ¿Existen ascensores, autos o trenes en el entorno?
9. ¿El campo magnético marginal crea distorsiones en el medio ambiente? ¿Es necesario y posible una protección magnética adicional?
10. ¿Es necesario crear áreas especiales en donde solo el personal especializado puede ingresar?
11. ¿La sala de RMN debe tener un blindaje acústico?
12. ¿Qué reglas hay que seguir para instalaciones eléctricas, médicas, e instalaciones sanitarias?
13. ¿Existen normas para mantener a salvo al paciente y al operario?
14. ¿Cuáles son las restricciones impuestas por el Estado Nacional que se deben seguir obligadamente?
15. ¿Existen trabas con la realización del proyecto por parte de la casa de salud o de los empleados?

2.6. Consejos de Diseño

Varias ideas se exponen a continuación, pueden ser útiles como tips en la parte de diseño y en la parte de construcción, a la final el experto es el que decide si hace o no uso de estas recomendaciones.

- Tener presente los límites de campo magnético marginal tanto en la sala de RMN como en el ambiente exterior.
- Personas con marcapasos cardíacos, neuro-estimuladores, dispositivos de bio-estimulación deben permanecer fuera de la Zona de Exclusión (5 Gauss).
- El técnico que realiza el examen de RMN debe tener una vista despejada del paciente en la mesa.
- Se debe tener un acceso rápido dentro de la Jaula de Faraday a los controles de exploración situados en la carcasa del imán.
- La sala de emergencia debe estar lo más cerca posible a la sala de RMN para transportar de inmediato a pacientes si es necesario.
- El uso de detectores de metal antes de ingresar a la sala de RMN es recomendado, si se hace uso de esto debe estar incluido en el diseño general.
- Una línea de comunicación entre el paciente y el técnico debe ser instalada, dicha línea no puede estar conectada a una centralilla.
- La ventana de visualización hacia el interior de la sala de RMN debe estar forrada mediante una malla fina de cobre, logrando cerrar el perímetro de blindaje de la Jaula de Faraday.
- Se recomienda la construcción de un gabinete de almacenamiento, útil para guardar batas médicas, documentación, accesorios, etc. dentro de la sala de RMN.
- Los químicos corrosivos no deben ser usados o almacenados en la sala de RMN, se pueden producir fallas del equipo durante un examen, a mediano plazo el resonador magnético disminuye en fiabilidad y puede posteriormente dejar de funcionar.

2.7. Consideraciones de cableado

Diferentes métodos son utilizados para el tendido de cables. Hay que tener cuidado con las conexiones y principalmente contra daños físicos. La instalación debe hacerse a través de tubos no magnéticos y si es posible estos deben estar debajo del piso o entre la pared estructural.

Si se aplica el estándar del Código Eléctrico Nacional (NEC - *National Electrical Code*), se deben cumplir de manera obligatoria los siguientes requisitos.

- Los equipos de RMN no utilizan metales ferrosos, conductos metálicos, cubiertas, elementos de sujeción en toda la sala del imán.
- Los conductos deben estar certificados para conectar energía eléctrica.
- Los conductos deben tener un tamaño recomendado para conectar energía eléctrica, esto también tiene que ser certificado.
- Se debe utilizar conductos certificados, el PVC no es un sustituto.

“El National Electrical Code (NEC), o Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA 70), es un estándar estadounidense para la instalación segura de alambrado y equipos eléctricos. Es parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la National Fire Protection Association (NFPA). "National Electrical Code" y "NEC" son marcas registradas NFPA”¹⁰.

2.8. Temperatura y Humedad

Estos factores son importantes en la sala de RMN, el ambiente en el interior de la Jaula de Faraday debe mantenerse dentro de los límites permitidos los 365 días del año para evitar el sobrecalentamiento del imán, tabla 2.1. Someter el equipo a temperaturas de más de 27 °C puede acortar la vida de los componentes electrónicos.

¹⁰ WIKIPEDIA. (10 enero 2013). National Electrical Code. Revisado el 29 de enero de 2013 desde Internet: <http://es.wikipedia.org/wiki/National_Electrical_Code>

El diseño del sistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC - *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) debe sujetarse a los diferentes rangos de temperatura y humedad. Por lo general el sistema HVAC es instalado en una habitación adicional (sin blindaje RF) junto a la Jaula de Faraday, entre el techo estructural y el techo que forma la Jaula de Faraday se colocan conductos de diferentes tipos útiles para el uso de calefacción, ventilación y aire acondicionado.

Tabla 2.1. Temperatura y Humedad

	Rango de temperatura (°C)	Cambio en la temperatura (°C/Hr.)	Humedad (%)	Cambio en la humedad (%/Hr.)
Sala de RMN	22 - 26	4	30 - 70	5
Área del operador	15 - 30	4	20 - 80	5
Sala de equipos	15 - 30	5	20 - 80	5

(GENERAL ELECTRIC. Medical Systems. Signa Profile Pre-Installation. 2000 – 2004. pág.68) [ref. 29 de enero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/files/SIGNA%20PROFILE%20PRE%20INSTALLATION.pdf>

2.9. Iluminación

Se recomienda la utilización de iluminación incandescente en la sala de RMN principalmente para evitar el ruido, si se desea tener diferentes niveles de intensidad de luz en la sala se debe hacer uso de un interruptor y no de un dimmer. La iluminación fluorescente puede ser útil tanto en el área del operador como en la sala de equipos (Tabla 2.2). En la actualidad la iluminación led está ganando gran espacio por su bajo consumo, su visión más limpia y clara, y por muchas ventajas adicionales.

Tabla 2.2. Iluminación

	Rango de temperatura (°C)	Cambio en la temperatura (°C/Hr.)	Humedad (%)	Cambio en la humedad (%/Hr.)
Sala de RMN	22 - 26	4	30 - 70	5
Área del operador	15 - 30	4	20 - 80	5
Sala de equipos	15 - 30	5	20 - 80	5

(GENERAL ELECTRIC. Medical Systems. Signa Profile Pre-Installation. 2000 – 2004. pág.71) [ref. 29 de enero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/files/SIGNA%20PROFILE%20PRE%20INSTALLATION.pdf>

2.10. Ruido

Los niveles de ruido también tienen que ser considerados. El valor límite de la sala de equipos podría no ser tomado en cuenta si así es requerido por la parte técnica del hospital. Los siguientes valores son recomendados como límites de ruido para equipos generales de resonancia magnética nuclear.

- Área del operador: 63dB.
- Sala de equipos: 70dB.
- Sala de RMN: 70dB durante realización de exámenes.

2.11. Contaminación

La sala completa de RMN debe estar limpia antes de la instalación total del equipo. A pesar de que varios componentes del resonador poseen filtros para la purificación del aire, se debe tener la precaución de mantener un aire puro. No es permitido el humo de tabaco en ninguna de las tres áreas.

Puesto que la descarga estática puede causar fallos en el sistema o afectar su funcionamiento, el piso debe ser del tipo antiestático o recubierto con una solución antiestática. Al realizar la limpieza del piso no se recomienda utilizar lana de acero, ya que pelusas podrían colarse en los armarios y causar cortocircuitos internos. La sala de RMN exige los siguientes límites de filtración:

Tabla 2.3. Filtración del Aire

AIRE	FILTRACIÓN
Partículas hasta 10 micras	90%
Partículas hasta 5 micras	80%

(GENERAL ELECTRIC. Medical Systems. Signa Profile Pre-Installation. 2000 – 2004. pág.73) [ref. 30 de enero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/files/SIGNA%20PROFILE%20PRE%20INSTALLATION.pdf>

2.12. Sistema de Tierra

El sistema debe ser diseñado con la menor cantidad de lazos de tierra logrando así evitar corrientes de fuga y distorsiones que afecten a las bajísimas señales generadas por el cuerpo humano. Los tres puntos principales de puesta a tierra en un sistema de RMN son el punto de tierra del sistema (bus) en la fuente integrada del sistema, los puntos de tierra de la sala, y el punto de tierra de la unidad de escaneo.

Para garantizar la seguridad del paciente y el rendimiento del sistema, se deben cumplir varias condiciones cuando se encuentran líneas eléctricas en la sala del imán, cumpliendo con los requisitos que se encuentran a continuación la sala de radiofrecuencia quedará aterrada.

- El cable de tierra de cada línea de alimentación puede ser conectado al punto de tierra de la unidad de escaneo sin problema alguno. Se debe conectar un cable entre el blindaje RF (haciendo contacto con el cable de tierra) y la unidad de escaneo formando un puente. Se tiene que conectar también un punto de tierra entre la unidad de escaneo y los sistemas de alimentación integrada. La resistencia en la conexión a tierra de la unidad de escaneo no debe exceder de 8 ohmios.
- La resistencia entre dos dispositivos conectados a tierra no debe exceder de 8 ohmios para tratar de garantizar el mismo potencial dentro de la sala del imán.
- La sala de RF no debe tener componentes de metal.
- Todos los dispositivos eléctricos (enchufes, lámparas, etc.) deben tener un cable de conexión a tierra desde sus fuentes de alimentación.

2.13. Monitoreo de la Fuente de Alimentación

La eficacia de la potencia de entrada para el sistema propuesto debe ser revisada usando un equipo de distorsiones de red en el que se pueda medir voltajes de línea de alimentación, sobre tensiones, caídas de tensión, picos de voltaje y frecuencia. Se recomienda realizar pruebas en diferentes días, por ejemplo en fines de semana, así

como también en días de uso normal. El gran consumo de potencia por diferentes equipos, como unidades de rayos X, Tomografía Computarizada, etc., u otros equipos de computación debe ser considerado ya que pueden afectar al sistema de RMN.

2.14. Alimentación de Emergencia. Recomendaciones

La alimentación de emergencia puede ser suministrada por el distribuidor principal de energía, se puede hacer también uso de un generador eléctrico, las diferentes características de dicho generador es un tema muy amplio que debe ser tratado con un experto en el tema, se recomienda instalar en la sala de RMN una fuente de iluminación que trabaje mediante baterías por si las fuentes de generación alternas fallan. Todas las líneas de alimentación que se dirigen hacia la Jaula de Faraday deben ser filtradas y aterradas de manera correcta. No hay que olvidar las Leyes Estatales que rigen en la instalación de sistemas de generación.

2.15. Detalles de Construcción

En esta sección se indicará lo más importante en el tema de diseño de la Jaula de Faraday como medidas principales, aislantes utilizados, materiales empleados y demás detalles que son usados en la construcción del blindaje RF. Si se garantiza lo anterior la Jaula de Faraday cumple con el principio de funcionamiento.

Al final de este capítulo se presentan varios planos con el objetivo de sugerir un diseño en la construcción de la Jaula de Faraday, el experto del tema es el que decide si le es o no útil este aporte. La sala de resonancia magnética nuclear consta con los siguientes esquemas¹¹:

¹¹ IMEDCO AG. Architectural Site Planning Guide for MRI Rooms. (2011). Switzerland. pag.11, 12, 13, 14 15, 16, 17, 18, 19.

- Planta de la Jaula de Faraday.
- Sección de la Jaula de Faraday.
- Base de la Jaula de Faraday.
- Capas que forman el Piso, Paredes y Puerta de la Jaula de Faraday.
- Puerta - Ventana.
- Panel de Penetración y Techo.
- Panel de Penetración para Gas Médico.
- Panel de Penetración con Tubería de Plástico.
- Conexión del Ducto de Aire.

2.15.1. La Estructura

El material ideal utilizado principalmente es cobre por el gran rendimiento después de su instalación y a largo plazo, aunque se puede también usar latón, Mu-metal combinado con diferentes aleaciones, entre otros. *“Mu-metal es una aleación que contiene 80% de níquel, 4,5% de molibdeno y hierro. Esta aleación tiene una permeabilidad magnética muy alta para conseguir un rango de atenuación lo más alto posible”*¹².

El armazón completo es sujetado mediante tornillos especiales que mantienen la presión constante todo el tiempo en los bordes, el armazón debe tener una construcción modular y contar con una abertura de tamaño considerable para facilitar la instalación del imán, esto es útil también si posteriormente el reemplazo del imán es necesario, una ventaja adicional de la modularidad es que la estructura puede ser desmóntale y reubicable, aunque esto no es muy común ya que implicaría un rediseño completo de la sala de RMN.

¹² MAGNETIC SHIELDS. Electromagnetic Engineering. [s.a.]. Preguntas más frecuentes. Revisado el 02 de febrero de 2013 desde Internet: <<http://www.magneticshields.co.uk/es/investigacion-y-desarrollo/faq.html>>

2.15.2. El Piso

El piso en el diseño debe ser un suelo llano, para evitar el uso de rampas proporcionando una entrada suave de camas, equipos que se muevan mediante ruedas, contenedores de helio y otros gases. La medida recomendada de depresión para un suelo estándar en una sala de RMN es de 25mm. con respecto al piso que no forma parte de la sala, este valor es utilizado siempre y cuando la puerta de acceso a la sala se abra hacia afuera (exterior).

La losa de piso debe ser lisa, plana y nivelada a 2.5mm/m. con un desnivel total que no pase de 5mm. en la habitación. La superficie debe estar seca con una medida de humedad no mayor al 8%, este valor debe estar garantizado para que la Jaula de Faraday sea confiable. El piso está formado de varias capas, lo más importante aquí es la separación de la estructura RF del resto del edificio. El uso de una capa de brea de alquitrán (para proporcionar dureza y nivelación) es muy común en la construcción de estos pisos.



Figura 2.2. Piso construido para una Jaula de Faraday.

(ZELTRONIC. JAULAS DE FARADAY PARA RESONANCIA MAGNETICA. [s.a.]. Piso) [ref. 04 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/images/Piso.gif>

El cobre una vez colocado y “soldado” es protegido por un tablero de madera. Una capa adicional formada por paneles de madera (masonite) es colocada, ésta a la vez asegura la instalación de la capa de la cubierta del piso final, generalmente vinil u otro elemento antiestático. Si se utiliza un piso de vinil conductor se necesita un procedimiento de instalación especial.

2.15.3. La Pared

Las paredes de la sala de RMN están construidas con marcos de madera, las medidas de estos marcos son aproximadamente 1m de ancho por la altura de la habitación dividida en un determinado número de segmentos, y son colocadas a 50mm. de distancia de las paredes estructurales de la habitación.

Las paredes estructurales por lo común de ladrillo o yeso pueden o no estar terminadas, es permitido construir las paredes antes o después de construir la Jaula de Faraday, pero se debe tener la precaución de no dañar el cobre si se construye después, lo más aconsejable es primero contar con toda la estructura de la sala y después realizar el blindaje RF.

Las paredes por lo general contienen filtros de aire, entrada/salida de cables de electricidad y otros servicios, para poder contar con los requerimientos anteriores en el diseño se agregarán aberturas en las diferentes paredes estructurales de la habitación según sea el caso, en algunas ocasiones los filtros son instalados en el techo o en el piso de la sala. Aproximadamente a una distancia de 62.5cm., este valor puede cambiar según dimensiones de la Jaula de Faraday, desde el centro hacia arriba de cada marco de madera se colocan varios soportes que después servirán como puntos de fijación para los diferentes paneles de decoración del interior.



Figura 2.3. Pared construida para una Jaula de Faraday.

(GESTIÓN MÉDICA. Galería de Gestión Médica. 2012. IMG_0365) [ref. 04 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.flickr.com/photos/77109874@N06/6920452116/in/photostream>

La base de todos los marcos es rellena con lana de roca volcánica (*rockwool*), este material provee un aislamiento acústico y de temperatura, figura 2.4. Los equipos de RMN generan ruido al trabajar, en parte esto es debido a la secuencia de activación de las bobinas de gradiente del aparato, para asegurar confort para el paciente y los usuarios es indispensable contar con este tipo de aislamiento. “*La lana de roca es un producto aislante de extraordinarias prestaciones: térmicas y acústicas, de resistencia al fuego e incombustibilidad, de resistencia al agua y de protección al Medio Ambiente*”¹³.



Figura 2.4. a. b. Instalación de lana de roca en una Jaula de Faraday.

a. (ROCKWOOL. Panel aislante rígido de lana de roca para muros. [s.a.]. ALPHAROCK 225) [ref. 06 de febrero de 2013]

b. (BUILDING LIGHTER STRONGER FASTER - MGI. Insulation Material - Rock wool. [s.a.]. rock-wool2) [ref. 06 de febrero de 2013]

Fuente: a. <http://www.archiexpo.es/prod/rockwool/paneles-aislantes-rigidos-de-lana-de-roca-para-muro-53914-163966.html>
b. <http://digitalpicasso.com/mgitechnical/img/rock-wool/rock-wool2.jpg>

2.15.4. La Puerta

Las dimensiones estándar para una puerta en una sala de RMN son de 1.20m. por 2.10m. La puerta se puede ubicar en cualquier parte del perímetro de la Jaula de Faraday, sin embargo existen varias restricciones si se quiere colocar en las esquinas, para evitar esto es aconsejable que la puerta no vaya situada en las esquinas. La puerta cuenta con un mecanismo de bloqueo estándar. Puede ser cerrada con una llave, pero siempre se puede abrir desde el interior, esto es para seguridad del paciente.

¹³ ROCKWOOL PENINSULAR, S.A.U. (2012). Tarifa 2012 ROCKWOOL. España. Revisado el 06 de febrero de 2013 desde Internet: <http://rwesvianew.inforce.dk/files/Local%20OPCO%20-%20RWE/Documentos/Tarifa_ROCKWOOL_Noviembre_2012.pdf>



Figura 2.5. Puerta construida para una Jaula de Faraday.

(GESTIÓN MÉDICA. Galería de Gestión Médica. 2012. IMG_0366) [ref. 08 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.flickr.com/photos/77109874@N06/7066532405/in/photostream>

La puerta está formada por un marco de latón conductor (puede ser cobre o Mu-metal con otras aleaciones) en donde unas lengüetas-resorte (Figura 2.6) hacen contacto con el resto del perímetro, estas lengüetas-resorte son muy delicadas, mientras todas o la mayor parte de ellas entren en contacto dará como resultado un buen blindaje de RF y por lo tanto un mayor rendimiento, este es uno de los pocos elementos de la Jaula de Faraday que necesitan de mantenimiento regular.



Figura 2.6. Lengüetas-resortes que cierran la Jaula de Faraday.

(DIRECT INDUSTRY. Banda de contacto de blindaje EMI de beryllium-cobre. [s.a.]. banda-de-contacto-de-blindaje-emi-de-beryllium-cobre-56701-2339313) [ref. 10 de febrero de 2013]

Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/banda-de-contacto-de-blindaje-emi-de-beryllium-cobre-56701-2339313.jpg

2.15.5. La Ventana

La ventana estándar mide 0.90m. por 1.20m., de igual forma que en la puerta se puede trabajar con medidas personalizadas. No es muy usual, pero si se desea trabajar con una ventana considerablemente grande por una u otra razón se puede utilizar dos ventanas de tamaño estándar juntas, sin olvidar que hay que tomar las debidas consideraciones de caso.



Figura 2.7. Ventana construida para una Jaula de Faraday.

(ZELTRONIC. JAULAS DE FARADAY PARA RESONANCIA MAGNETICA. [s.a.]. Ventana) [ref. 13 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/images/Ventana.gif>

Una vez instalada la ventana esta se recubre con una malla (tejido) de aleación de materiales, plata sobre poliamida, figura 2.8 (se puede utilizar mallas de cobre también), al hacer esto se cierra el circuito blindado de RF, caso contrario por la ventana filtrarían señales no deseadas.



Figura 2.8. Malla utilizada en blindaje RF, material plata sobre poliamida.

(INCELERIS. Material de Apantallamiento y blindaje EMI/RFI - Material de apantallamiento de RF. [s.a.]. pág.1) [ref. 13 de febrero de 2013]

Fuente: http://www.inceleris.com/assets/shielding_fabric_aaronia_shield_50db.pdf

En algunos diseños se adiciona una ventana que sirve como entrada de luz, evitando el consumo de energía eléctrica al encender un foco o algo similar, si se considera esta ventana las medidas son 3m. por 3m.

2.15.6. El Techo

El techo se construye con paneles de manera similar a las paredes, está suspendido del techo estructural a través de colgantes dieléctricos. Las recomendaciones sugieren que la altura de suspensión mínima sea de 50mm, aunque algunas veces este valor suele aumentar para dar lugar a las tuberías que transportan el aire acondicionado. Cálculos realizados en diferentes Jaulas de Faraday sugieren que una vez instalado el techo en la sala, éste puede admitir un peso de hasta 12Kg/m², más el peso de eventuales componentes eléctricos y electrónicos que se sumen al peso del techo.



Figura 2.9. Techo construido para una Jaula de Faraday.

(ZELTRONIC. JAULAS DE FARADAY PARA RESONANCIA MAGNETICA. [s.a.]. TECHO%20SRU)

[ref. 15 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/images/TECHO%20SRU.gif>

2.15.7. Las Guías de Ondas

Aire, gases y líquidos necesitan ser canalizados al interior o exterior de la sala de RMN, esto se logra mediante el uso de guías de onda, por lo general están ubicadas en la parte inferior de las paredes, existen de diferentes formas y tamaños según las

necesidades del usuario, a continuación se describen de manera breve las guías de onda más utilizadas.

a) Guía de onda tipo panal de abeja

Es utilizado para gases, especialmente para la ventilación y el aire acondicionado. Sus tamaños estándares son de 600mm. por 200mm. y de 900mm. por 600mm.

b) Guía de onda tipo tubería de latón

Se utiliza para el paso de cables de fibra óptica y otros medios. Si se desea transportar gases medicinales o líquidos se debe usar tuberías de plástico o mangueras de goma.

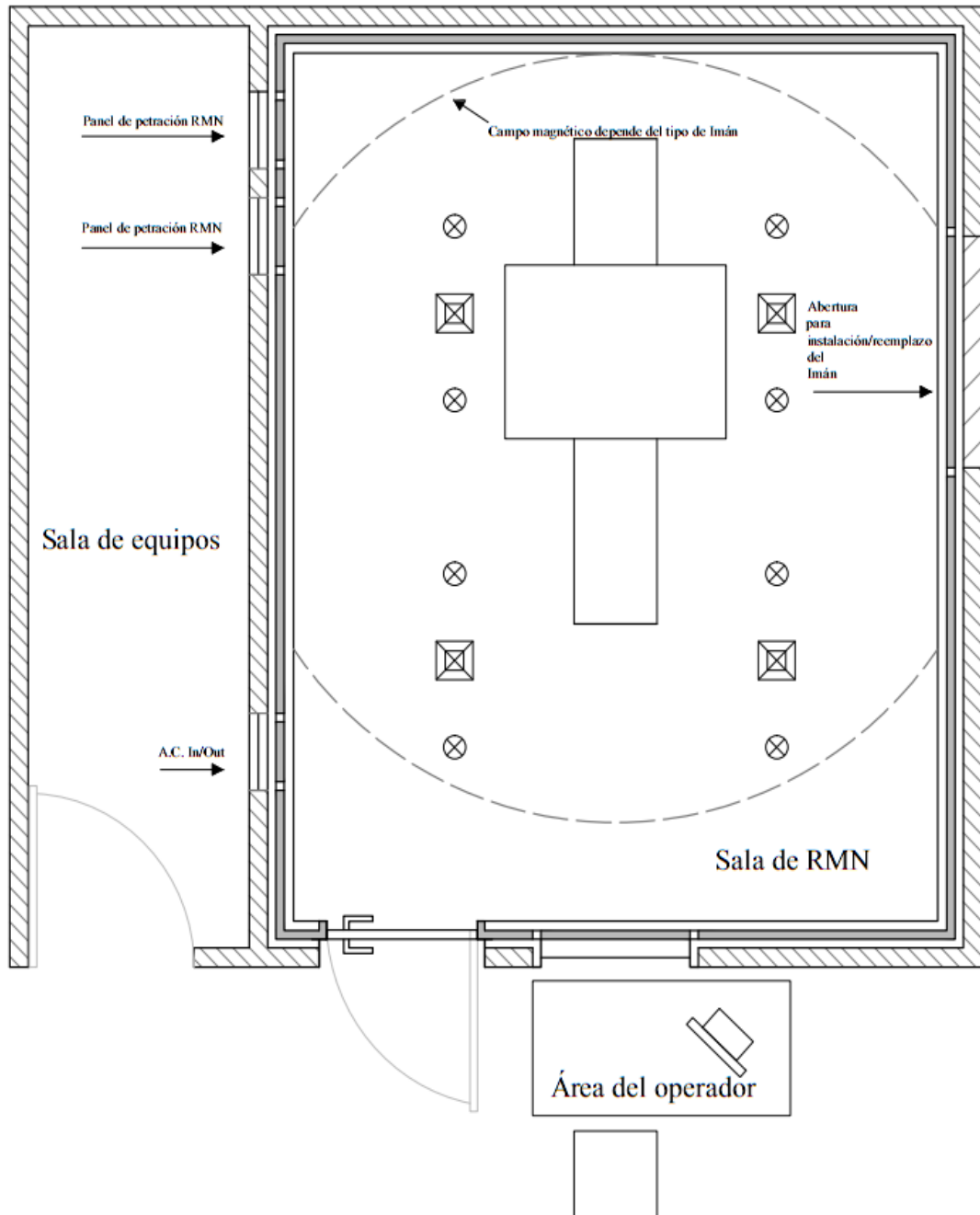
c) Guía de onda tipo tubería de cobre


Su uso es exclusivo para gases medicinales, muchas veces estas tuberías son conectadas directamente al sistema de distribución principal de gas médico del hospital.

2.15.8. Filtros Electrónicos

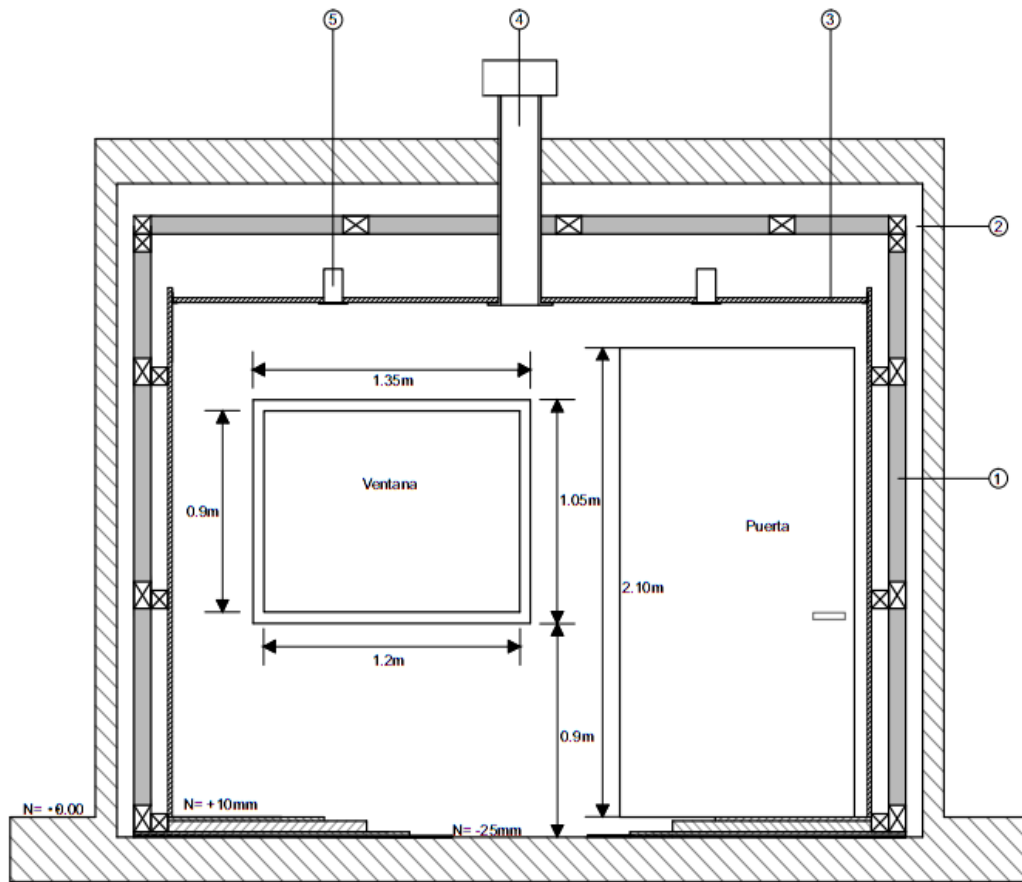
Estos filtros no solo sirven para modificar una señal eléctrica en amplitud o en fase, son utilizados también para eliminar señales no deseadas en cables de monitores de parámetros fisiológicos por ejemplo, se emplean también en alarmas de incendio y otros dispositivos. Los filtros electrónicos incorporados en interruptores deben asegurar una corriente de disparo que varíe entre 10 y 30 mA.

Planta de la Jaula de Faraday



	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear	Nombre: Byron Andrés Machado U.
		Descripción: Planta y Áreas de la Jaula de Faraday.	Escala: 16/02/13 Sin escala: Hoja: 1/6


Sección de la Jaula de Faraday



- ① Blindaje-RF
- ② Cámara de aire mín. 50mm
- ③ Techo de la Jaula de Faraday
- ④ Chimenea del Imán
- ⑤ Iluminación Incandescente/LED

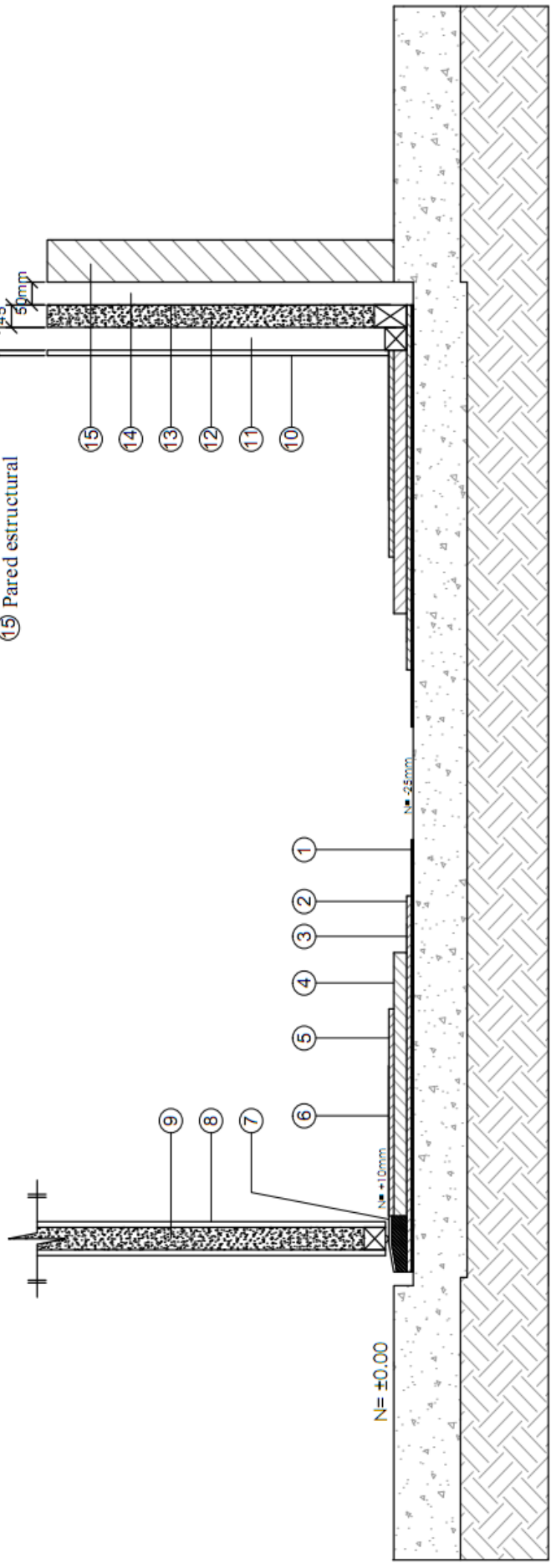
Base de la Jaula de Faraday




	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear	Nombre: Byron Andrés Machado U.
		Descripción: Sección y Base de Jaula de Faraday.	Escala: 18/02/13 Sin escala Hoja: 2/6

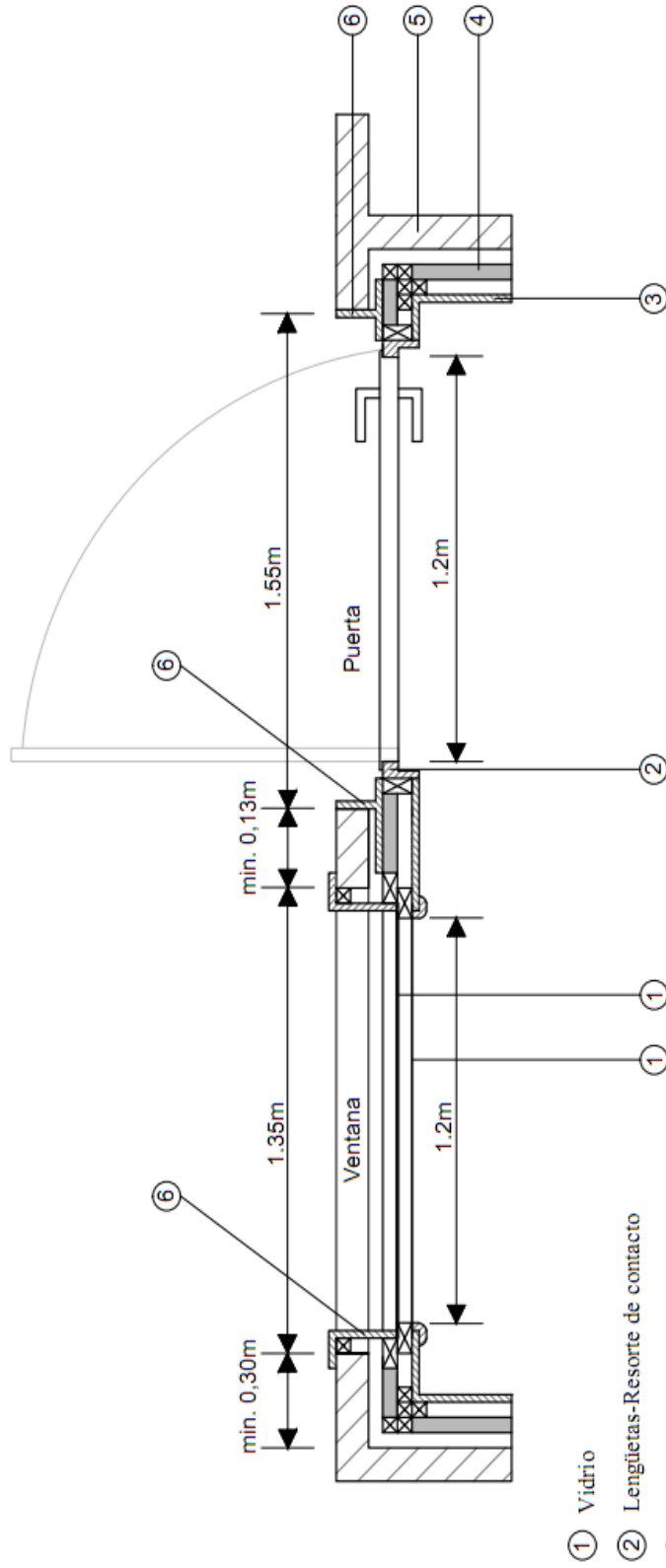
Capas que forman el Piso, Paredes y Puerta de la Jaula de Faraday


- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ① Capa de brea de alquitrán 2mm ② Panel de madera 6mm ③ Lámina de cobre ④ Tablero de madera 16mm ⑤ Madera 6mm | <ul style="list-style-type: none"> ⑥ Piso de vinil(antiestático) ⑦ Base de madera y Lengüetas-Resorte de contacto ⑧ Puerta ⑨ Aislante |
| <ul style="list-style-type: none"> ⑩ Terminado interior ⑪ Marco de madera de 45x45mm ⑫ Aislante 50mm ⑬ Cobre ⑭ Cámara de aire ⑮ Pared estructural | |



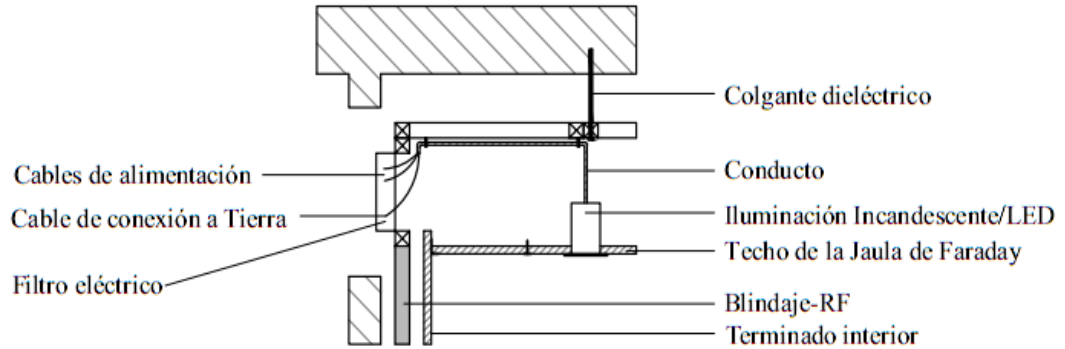
	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear Descripción: Detalle con medidas del piso, puerta y paredes de la Jaula de Faraday.	Nombre: Byron Andrés Machado U.
			Escala: 20/02/13 Sin escala Hoja: 3/6

Puerta - Ventana

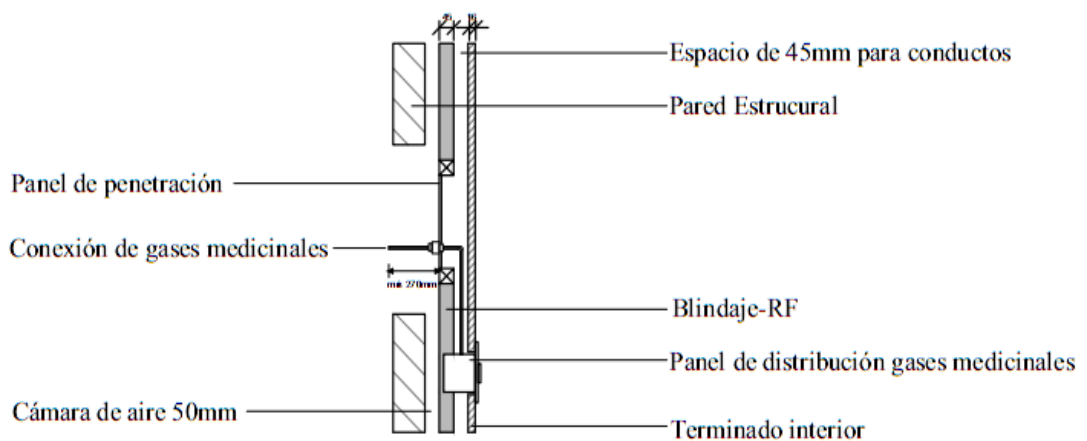



	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear Descripción: Detalle con medidas de la puerta y ventana de la Jaula de Faraday.	Nombre: Byron Andrés Machado U.
			Escala: Sin escala
			Fecha: 24/02/13
			Hoja: 4/6

Panel de Penetración y Techo

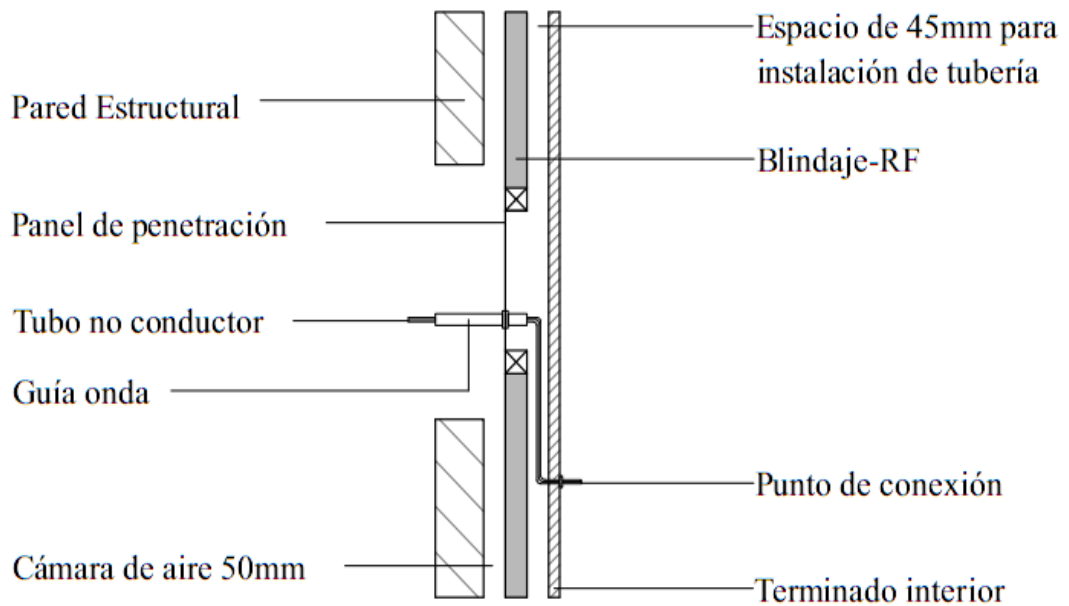


Panel de Penetración para Gas Médico

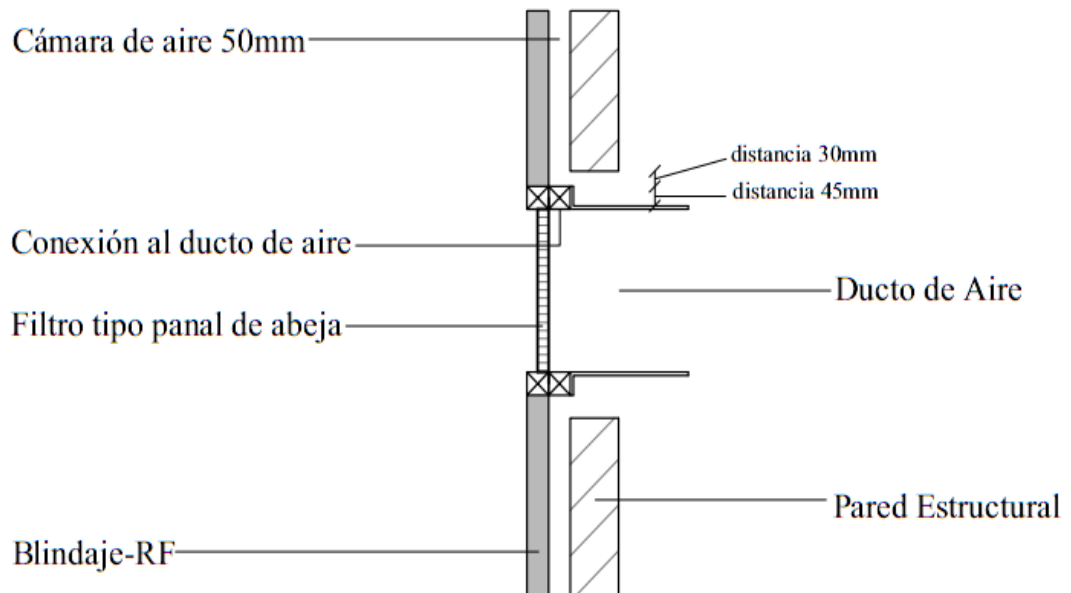



	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear	Nombre: Byron Andrés Machado U.
		Descripción: Detalles panel de penetración incorpora un filtro eléctrico. Y panel de penetración para Gas Médico incorpora un filtro.	Escala: 26/02/13 Sin escala Hoja: 5/6

Panel de Penetración con Tubería de Plástico



Conexión del Ducto de Aire



	Universidad del Azuay Facultad de Ciencia y Tecnología Escuela de Ingeniería Electrónica	Tema: Diseño y Adecuación de una sala para un Equipo de Resonancia Magnética Nuclear	Nombre: Byron Andrés Machado U.
		Descripción: Detalles panel de penetración con Tubería de Plástico. Conexión al Ducto de Aire con Filtro tipo Panal de Abeja.	Escala: 28/02/13 Sin escala Hoja: 6/6

CAPÍTULO III

RECUBRIMIENTO DE LA JAULA DE FARADAY

3.1. Consideraciones

La elección de uno u otro tipo de material empleado para recubrir en su totalidad la sala depende de varios factores que están relacionados entre sí, esto lleva a involucrar de manera directa a un consultor de blindajes de radiofrecuencia (RF). El utilizar un material incorrecto y en cantidades pobres puede acarrear una sala que no está preparada para aceptar un escudo protector de RF.

Cuando no se tiene en cuenta aspectos como: depresión y estabilidad del suelo, el sistema de Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado (HVAC - *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*), plomería, el aislamiento adecuado de las aberturas necesarias (puerta, ventana, filtros, etc.), cómo agregar la protección magnética para la contención del campo magnético, entre otros, puede generar demoras significativas y aumento en los costos de construcción de la Jaula de Faraday.

3.2. Cobre

El cobre tiene un gran número de aplicaciones en nuestra vida diaria, es un elemento de color rojizo con un aspecto metálico brillante, según datos se cree que se ha obtenido desde hace más de 5000 años. Una de las razones de que el cobre sea tan significativo es que puede usarse en aleaciones, es decir que puede combinarse con otros metales para hacer nuevas aleaciones, como el latón y el bronce, es muy utilizado en la industria después del aluminio.

“Hoy en día es apreciado por sus diferentes cualidades. Es un excelente conductor de la electricidad y el calor; es fuerte, dúctil y puede unirse fácilmente por soldadura; además, es higiénico, fácil de alear y resistente a la corrosión”¹⁴.



Figura 3.1. Cobre en la naturaleza.

(TRUJILLO. Juan M. Cobre en su estado natural. 2011. CONFIANZA INVERSIONISTA) [ref. 20 de febrero de 2013]

Fuente: <http://distopiautopia.blogspot.com/2011/07/confianza-inversionista.html>

La siguiente tabla muestra algunos puntos de información general a cerca del cobre, tabla 3.1.

Tabla 3.1. Información general relevante

Nombre, símbolo, número	Cobre, Cu, 29
Clasificación	Metales de transición Grupo 11
Punto de Fusión (°C)	1084,62
Punto de Ebullición (°C)	2562
Densidad (kg/m³)	8960; (20 °C)
Volumen atómico (cm³/mol)	7,09
Calor específico J/(K·kg)	385
Conductividad eléctrica S/m	$58,108 \times 10^6$
Conductividad térmica W/(K·m)	400
Velocidad del sonido m/s	3570; (20 °C)

(UAM. Cobre. [s.a.]. cu) [ref. 22 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/tperiodica/elementos2/cu.htm>

¹⁴ EUROPEAN COPPER INSTITUTE. [s.a.]. Características y aplicaciones del cobre. Bélgica. Revisado el 20 de febrero de 2013 desde Internet: <<http://www.eurocopper.org/cobre/importancia-cobre.html>>

3.2.1. Propiedades del cobre

Varias propiedades hacen que este elemento sea tan utilizado en todas partes, en los objetos diarios, el cobre es un excelente conductor eléctrico, solo siendo superado por la plata, esta es una de las razones por las que ha sido y sigue siendo el elemento principal de ruteo en las placas de circuitos eléctricos y electrónicos, las propiedades más importantes se listan a continuación:

- Resistente a la corrosión.
- Antibacteriano.
- Fácil de unir.
- Excelente conductor de la electricidad.
- Excelente conductor térmico.
- Dúctil.
- Fácil de alear.
- Resistente.
- No magnético.
- Reciclable.
- Catalítico.
- Un color atractivo.

3.2.2. Aplicaciones del cobre

Un sin número de aplicaciones en la vida real hacen uso del cobre, a continuación se presenta una lista de sus posibles usos, entre ellas se encuentra las láminas de cobre utilizadas en el forraje de la Jaula de Faraday.

- Tuberías de cobre para el suministro de agua, usado también en sistemas de aire acondicionado y refrigeradores.
- Disipadores de calor en equipos electrónicos, está ganando terreno en relación a los disipadores de aluminio.
- Una parte de los microondas denominada magnetron está construida con cobre.
- Tubos de Rayos Catódicos y Tubos de Vacío aunque ya no son tan usados en la actualidad contienen cobre.
- Varios complementos de nutrición y algunos fungicidas tienen agregados partículas de cobre.
- Al alearse con el níquel da como resultado un material resistente a la corrosión que se utiliza en la construcción naval.

- Recipientes contenedores de líquidos, el cobre es un material muy resistente al óxido.
- Usado para colorear el vidrio, es también un componente del esmalte cerámico.
- Muchos de los instrumentos musicales tienen partes de cobre.
- El cobre se utiliza para fabricar pararrayos.
- Se utiliza en la construcción de cables eléctricos, electroimanes, relés e interruptores eléctricos por ser muy buen conductor de electricidad.
- Láminas de diferentes espesores para recubrir bases estructurales que forman paredes, techo, etc. de la Jaula de Faraday.



Figura 3.2. Láminas de cobre utilizadas en la Jaula de Faraday.

(GESTIÓN MÉDICA. Galería de Gestión Médica. 2012. IMG_0368) [ref. 22 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.flickr.com/photos/77109874@N06/7066533553/in/photostream>

3.3. Acero

El acero es un material que resulta de la aleación del hierro, elemento predominante, con una cantidad de carbono generalmente inferior al 2% (entre el 0,03% y el 1,76%) y contiene además a otros elementos, figura 3.3. No hay que confundir el acero con el hierro, que es un metal rígido y tenaz.

“El límite superior del 2% en el contenido de carbono es el límite que separa al acero de la fundición. En general, un aumento del contenido de carbono en el acero eleva su resistencia a la tracción, pero como contrapartida incrementa su fragilidad en frío y hace que disminuya la tenacidad y la ductilidad”¹⁵. En función de la cantidad de carbono que contiene el acero, éste se puede clasificar como se muestra en la tabla:

Tabla 3.2. Tipos de aceros

Tipos	% de carbono	Resistencia a la rotura	Resistencia mecánica
Aceros dulce	0,25% máximo	48-55 kg/mm ²	70 kg/mm ²
Aceros semidulce	0,35%	55-62 kg/mm ²	80 kg/mm ²
Aceros semiduro	0,45%	62-70 kg/mm ²	90 kg/mm ²
Aceros duro	0,55%	70-75 kg/mm ²	100 kg/mm ²

(INGEMECÁNICA. Características mecánicas del acero. [s.a.]. Introducción) [ref. 24 de febrero de 2013]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>



Figura 3.3. a. Hierro en la naturaleza.

b. Carbono en la naturaleza.

a. (ECOLOGÍA MUNDITO. gormiti2003. MAGNETITA. 2011. MAGNETITA) [ref. 24 de febrero de 2013]

b. (BIOELEMENTOS II. Bioelementos secundarios. [s.a.]. Carbono) [ref. 24 de febrero de 2013]

Fuente: a. http://maneroblog.blogspot.com/2011_01_01_archive.html

b. <http://ferniredgamesa.galeon.com/2.html>

¹⁵ INGEMACANICA. [s.a.]. Características mecánicas del acero. Revisado el 24 de febrero de 2013 desde Internet: <
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>>

La tabla 3.3 muestra alguna información general a cerca del acero.

Tabla 3.3. Información general relevante

Nombre	Acero
Punto de Fusión (°C)	1375 (depende del tipo de aleación)
Punto de Ebullición (°C)	3000
Densidad (kg/m³)	7850; (20 °C)

(INGEMECÁNICA. Características mecánicas del acero. [s.a.]. Introducción) [ref. 26 de febrero de 2013]

Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn100.html>

3.3.1. Propiedades del acero

Distintas propiedades del acero se escriben a continuación:

- Duro.
- Tenaz (resistencia a ser roto, molido, doblado, etc.)
- Muy resistente.
- Dúctil.
- Maleable.
- Fácil de soldar.
- Alta conductividad eléctrica.
- Si aumenta la temperatura, aumenta su longitud.
- Si se imanta el acero, éste no pierde sus propiedades.
- Se puede oxidar.

3.3.2. Aplicaciones del acero

El acero está presente de forma abundante en la vida cotidiana, se presenta una lista de sus aplicaciones más importantes, entre ellas se encuentra las láminas de acero utilizadas en el forraje de la Jaula de Faraday.

- Herramientas domésticas.
- Utensilios de cocina.
- Equipos mecánicos.
- Maquinaria en general y electrodomésticos están contruidos de acero.
- Estructuras de edificios y de las viviendas.
- Fabricantes de automóviles, camiones y maquinaria agrícola utilizan en grandes magnitudes este material.
- Construcción de infraestructuras ferroviaria

- Fabricación de armamento, vehículos blindados.
- Se utiliza mucho acero en los astilleros constructores de barcos.
- Tornillos y tuercas se construyen de acero.
- Láminas de diferentes espesores para recubrir bases estructurales que forman paredes, techo, etc. de la Jaula de Faraday.



Figura 3.4. Láminas de acero utilizadas en la Jaula de Faraday.

(ZELTRONIC. JAULAS DE FARADAY PARA RESONANCIA MAGNETICA. [s.a.]. UNION-DE-MODULOS) [ref. 28 de febrero de 2013]

Fuente: <http://www.zeltronic.com.ar/images/UNION-DE-MODULOS.gif>

3.4. Mu-metal combinado con diferentes aleaciones

Mu-metal es una aleación compuesta aproximadamente por un 70-80% de níquel y un 10-20% de hierro, además de otros componentes diversos como cobre y molibdeno¹⁶, tiene una alta permeabilidad magnética, de hecho su nombre procede de la letra griega mu (μ), que significa la permeabilidad. Es ampliamente utilizado en partes magnéticas y en protecciones de radiofrecuencia, la tabla 3.4 muestra la cantidad de material utilizado en las diferentes aleaciones disponibles en el mercado.

¹⁶ El molibdeno es un elemento químico que se simboliza como Mo, es utilizado en aceros aleados.

Tabla 3.4. Información general relevante

Composición	Posible nombre comercial
36% NiFe	Supra 36, Nilomag 36, Radiometal 36, Magnifer 36
50% NiFe	Supra 50, Nilomag 50, Radiometal 50, Magnifer 50
80% NiFe – 5% Mo	Mumetal , Magnifer

(MUMETAL. MUMETAL IS ONE OF A FAMILY OF THREE NICKEL-IRON ALLOYS. 2009. MUMETAL IS ONE OF A FAMILY OF THREE NICKEL-IRON ALLOYS) [ref. 28 de febrero de 2013]

Fuente: <http://mumetal.co.uk/2009/04/03/mumetal-is-one-of-a-family-of-three-nickel-iron-alloys/>

Se recomienda el uso de dos o más capas de estas aleaciones para obtener un blindaje de radiofrecuencia apropiado, evitando así que la Jaula de Faraday se sature y que el blindaje RF se pierda parcial o totalmente. Mu-metal y 50% NiFe es una combinación de capas muy demandada en el tema del Recubrimiento de la Jaula de Faraday. La composición del material de 50% NiFe puede reducir las campos magnéticos sustancialmente y el Mu-metal reduce aún más el efecto magnético, esto se da gracias a la alta permeabilidad del material.

3.4.1. Propiedades del Mu-metal

Las propiedades más importantes de este material aleado se listan a continuación:

- Alta permeabilidad.
- Reduce interferencias.
- Blindaje de equipos electrónicos.
- Maleable.
- Resistente.

3.4.2. Aplicaciones del Mu-metal

El Mu-metal es usado en la actualidad sobre todo en equipos electrónicos, entre las principales aplicaciones se utiliza Mu-metal en los equipos de resonancia magnética nuclear como parte de éstos y en láminas destinadas al forraje de la Jaula de Faraday, esta aleación ha ganado utilización en los últimos tiempos especialmente en aplicaciones para equipos médicos.

- El campo magnético que producen los imanes de un disco duro debe estar fuera del disco, para lograr esto los soportes de los imanes están hechos de Mu-metal.
- Cuartos de cómputo y servidores.
- Los osciloscopios analógicos tienen Tubos de Rayos Catódicos de Mu-metal al igual que los Tubos Fotomultiplicadores.
- Carcasas de Transformadores son construidas de Mu-metal para eliminar interferencias con circuitos próximos.
- Componentes de Circuitos superconductores tienen partes de Mu-metal.
- En las cámaras de vacío para experimentos con electrones de baja energía.
- Protección contra radares en zonas militares, aeropuertos, etc.
- Protección en Compatibilidad Electromagnética (EMC - *Electromagnetic Compatibility*).
- Cuartos para fisioterapia.
- Equipos de Imágenes por Resonancia Magnética.
- Láminas para recubrir Jaulas de Faraday.



Figura 3.5. Láminas de Mu-metal utilizadas en la Jaula de Faraday.

(CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN ELECTROMAGNÉTICA. Lámina metálica MU-METAL. [s.a]. NMF25) [ref. 28 de febrero de 2013]

Fuente: http://www.electromagneticos.es/productimage.php?product_id=127

En la actualidad existe un blindaje ligero creado con enfoque a la instalación en paredes y techos. Se basa en planchas adhesivas la cual está formada por dos capas de aislante y en medio una capa de Mu-metal (Figura 3.5), pruebas dan como resultado la reducción de la intensidad de campo magnético por un factor de hasta 70%.

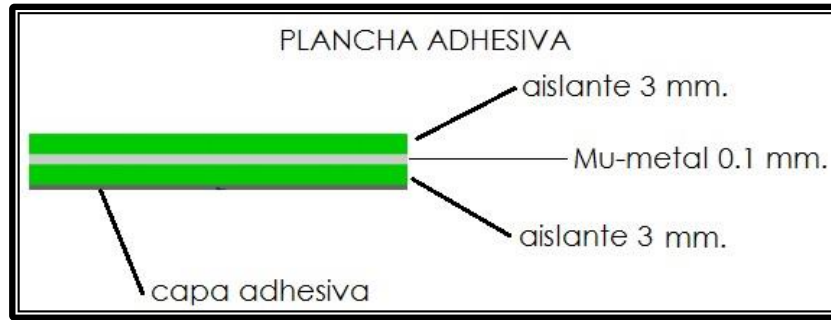


Figura 3.6. Partes de una plancha adhesiva de Mu-metal.

(RADIANSIA. Magnic Shield™ Baldosos de Mu-Metal. 2008. pág.1) [ref. 02 de marzo de 2013]

Fuente: http://www.radiansa.com/datasheets/Magshield_hojadatos.pdf

Las planchas adhesivas son fáciles de instalar, por lo general miden 30 x 30 cm., aunque su tamaño se puede personalizar si así se lo requiere en el hospital donde se va a instalar, tienen un espesor aproximado de 6.1 mm., este es un espesor recomendado para aplicaciones en equipos de resonancia magnética nuclear.



Figura 3.7. Plancha adhesiva de Mu-metal para paredes y techos.

(RADIANSIA. Magnic Shield™ Baldosos de Mu-Metal. 2008. pág.1) [ref. 02 de marzo de 2013]

Fuente: http://www.radiansa.com/datasheets/Magshield_hojadatos.pdf

CAPÍTULO IV

EQUIPOS MÉDICOS ADICIONALES

4.1. Limitaciones

En la sala de RMN de no debe existir material ferromagnético alguno, si con el campo magnético estático interactúa algún objeto ferromagnético puede dar lugar a la traslación y rotación del mismo hacia la pared interior del hueco (Gantry¹⁷) en donde se sitúa el paciente llegando a golpearlo, también puede dañar elementos situados dentro de la sala de resonancia magnética, es por esto que en la actualidad muchos accesorios se fabrican de plásticos resistentes u otros materiales antimagnéticos.

Al realizar un examen por resonancia magnética nuclear la mayoría de las veces los pacientes ingresan y salen de la sala por sí solos, pero ¿qué sucede cuando esto no es así? Existen pacientes que por múltiples razones necesitan accesorios y equipos adicionales para poder ser examinados por RMN, por ejemplo: camillas, sillas o telas para su ingreso, además de equipos médicos como monitores multi-parámetros (útiles en el monitoreo de la actividad cardíaca, temperatura, capnografía, pulsioximetría entre otras), respiradores artificiales, máquinas de anestesia, etc. si el paciente se encuentra en estado crítico.

Con el gran avance en el campo de diagnóstico por imágenes se han creado equipos y suministros no ferromagnéticos especialmente para ambientes de Rayos X, RMN,

¹⁷ Gantry es la "abertura" que tiene el equipo de RMN donde es colocado el paciente.

entre otros, si las casas médicas cuentan con dichos ambientes, también deben incorporar accesorios antimagnéticos además de equipos compatibles con resonancia magnética nuclear, lo cual garantiza que los pacientes están seguros y libres de estrés, mientras que la exploración se realiza. Los suministros utilizados con la resonancia magnética nuclear son construidos principalmente de titanio, aluminio, acero o en aleaciones como cobre-berilio, los equipos médicos utilizan fibras ópticas para medición y sistemas de telemetría para monitorear al paciente.

No se debe olvidar también equipos importantes, éstos se utilizan en la realización de un examen de RMN, los cuales proporcionan tranquilidad y relajamiento para la persona, como por ejemplo: auriculares o tapones de plástico para los oídos, intercomunicadores paciente - operador. Se suele también incorporar una cámara de video especialmente diseñada para recopilar el comportamiento del paciente durante el transcurso del diagnóstico.

4.2. Equipos compatibles con RMN obligatorios

Los equipos que se detallan a continuación deben formar parte de manera obligatoria al realizar una exploración por resonancia magnética, dichos equipos proporcionan calma y seguridad al paciente logrando así resultados correctos durante y después de la realización del examen.

4.2.1. Auricular electrostático

La principal ventaja de este aparato es que es compatible con RMN, su objetivo es proporcionar un ambiente de calma para el paciente con sonidos de distracción, figura 4.1, este es el medio por donde se escucha las instrucciones dictadas por el operador, el dispositivo es compatible con el intercomunicador. Los aspectos más importantes del equipo se listan abajo.

- Calidad de sonido óptima.
- Diadema regulable.
- Se puede conectar con iPod (iPod para RMN).



Figura 4.1. Auriculares electrostáticos utilizados en exploraciones por RMN.

(MRIaudio. PRODUCTS. 2012. Electrostatic Headphone - Description) [ref. 04 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.mriaudio.com/MRIAUDIO-PRODUCTS/electrostatic-over-ear-headphones.html>

Su construcción interna se basa en dos placas conductoras fijas y en medio un diafragma móvil que vibra con cargas positivas y negativas, como se muestra en la figura 4.2. La señal de audio envía una corriente muy pequeña la cual hace que el diafragma vibre rápidamente para uno u otro lado. La rápida y precisa respuesta a los cambios de la señal de audio se debe al peso muy ligero del diafragma, dando como resultado un sonido de alta fidelidad, esta es la diferencia de los auriculares comunes que utilizan un electroimán para manejar las señales de audio. Si en vez de usar auriculares electrostáticos se eligen tapones para oídos, hay que asegurarse que sean de plástico y sin componentes electrónicos (Figura 4.3).

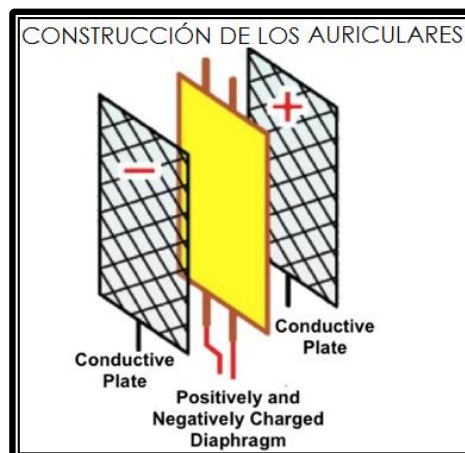


Figura 4.2. Auriculares electrostáticos con dos placas conductoras fijas y un diafragma móvil.

(MRIaudio. PRODUCTS. 2012. Electrostatic Headphone - Technology) [ref. 04 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.mriaudio.com/MRIAUDIO-PRODUCTS/electrostatic-over-ear-headphones.html>



Figura 4.3. Tapones plásticos para oídos.

(ASMC - THE ADVENTURE COMPANY. Deportes de tiro. [s.a.]. Tapones para el oído Push-Ins) [ref. 05 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.asmc.de/es/Deportes-de-tiro/Deportes-de-tiro/Accesorios/Proteccion-de-odos/Tapones-para-el-o-iacutado-Push-Ins-p.html>

4.2.2. Intercomunicador

Al igual que el equipo anterior el intercomunicador es sumamente importante, consta de dos partes el emisor ubicado en el área del operador y el receptor junto al paciente en la sala de RMN, estos dispositivos tienen la capacidad de proporcionar una comunicación full dúplex, emisor/receptor – receptor/emisor, figura 4.4. Este equipo ayuda durante todo el trascurso de la exploración en la comunicación y serenidad del paciente, muy utilizado para disminuir el estrés y la sensación de ahogo, los cuales son muy comunes en pacientes claustrofóbicos. A continuación se presentan varias características del mismo:

- Comunicación full dúplex.
- Incorpora botones de pánico que indican al operador problemas de algún tipo y que la exploración debe ser detenida.
- Informa al operador la ocurrencia de algún inconveniente técnico.



Figura 4.4. Intercomunicador usado en exploraciones por RMN.

(AUDIOVISION. Sonido profesional. [s.a.]. MICRÓFONO DE SOBREMESA PARA MEGAFONÍA) [ref. 06 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.audiovision-badalon.com/a-1-1701-423-0-0-0/MICROFONO-DE-SOBREMESA-PARA-MEGAFONIA.htm>

El micrófono del paciente tiene una membrana reflectora que funciona con la detección de cambios de luz, estos cambios de luz son enviados mediante un cable de fibra óptica al receptor, tiene también un foto-detector y un led idóneos para trabajar con los cables de fibra óptica, figura 4.5, el dispositivo instalado en la sala de RMN que es por donde se comunica el paciente con el operador no contiene material ferromagnético.



Figura 4.5. Micrófono que funciona a través de fibra óptica, no contiene metal.

(MRIaudio. PRODUCTS. 2012. Patient Microphone) [ref. 06 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.mriaudio.com/MRIAUDIO-PRODUCTS/patient-microphone.html>

4.2.3. iPod compatible con RMN

Es un reproductor de música apto para utilizar en la sala de resonancia magnética, contiene cantidad de música precargada para que los pacientes escuchen su género preferido de música mientras se realiza el examen, figura 4.6, evitando así el estrés, el movimiento y otros factores que podrían dar como resultado un diagnóstico incorrecto.



Figura 4.6. iPod usado en exploraciones por RMN con música precargada.

(MRIaudio. PRODUCTS. 2012. Custom iPod) [ref. 08 de marzo de 2013]

Fuente: <http://www.mriaudio.com/MRIAUDIO-PRODUCTS/custom-ipod.html>

4.3. Equipos adicionales para el paciente

Los equipos médicos adicionales sirven para dar soporte y monitorear de manera continua al paciente en los siguientes casos:

- El paciente no colabora o es claustrofóbico.
- El paciente se encuentre en estado de gravedad.

4.3.1. Electrocardiograma - ECG

Para evitar la distorsión en la curva del ECG producido por los pulsos de radio frecuencia se utilizan electrodos de plástico o de grafito, las interferencias con el ECG dan como resultado una curva errónea, la cual podría tener artefactos que provocan confusiones con arritmias.

Se recomienda que los electrodos se sitúen en el mismo plano y que los conectores tengan la misma dirección del campo magnético, hoy existen electrocardiogramas que utilizan cables de fibra óptica y telemetría para el trazado de la curva. *“Las mejores derivaciones en RMN son V5 y V6 que parecen ser las que menos se afectan”*¹⁸.

4.3.2. Máquina de anestesia

Son muy comunes en RMN, por esta razón todo el equipo debe ser altamente compatible con este ambiente. La máquina debe estar colocar aproximadamente a 3.2 m. con el fin de resguardar la zona de exclusión (límite marginal como se explicó en el capítulo II). Partes como el ventilador, los vaporizadores, el circuito absorbedor,

¹⁸AGUADO SASTER. Esther. [s.a.]. Anestesia en la Resonancia Magnética. España. pág.10. Revisado el 10 de marzo de 2013 desde Internet:
<http://www.soclartd.org.es/files/sesiones/Anestesia_resonancia_magnetical.pdf>

entre otros, son construidos con materiales no magnéticos para evitar interferencias con el campo magnético producido por el imán.

4.3.3. Respirador artificial

Al igual que las máquinas de anestesia los respiradores artificiales son muy utilizados en salas de RMN, se debe respetar también el límite marginal para no tener funcionamientos incorrectos del equipo. El circuito de paciente, tubos, cables, etc., pueden alargarse para que el respirador pueda trabajar bien. Equipos nuevos traen tecnología de fibra óptica y telemetría.

4.3.4. Capnógrafo

Los capnógrafos poseen alta inmunidad al campo magnético producido por el imán, se pueden realizar mediciones alargando los tubos de plástico, cables y demás accesorios. Nuevos equipos incorporan tecnología de fibra óptica y telemetría.

4.3.5. Oxímetro de pulso

Con estos equipos se debe tener un cuidado especial ya que las interferencias generadas por la radio frecuencia provocan errores en la medición con gran facilidad y en algunos casos quemaduras al paciente. Para disminuir estas dificultades se recomienda que el monitor este colocado aproximadamente a 3.2 m. del imán (zona de exclusión) y que el sensor de medición se coloque lo más alejado de la parte del cuerpo que se está explorando. Pulsioxímetros modernos trabajan con cables de fibra óptica evitando así los problemas anteriores.

4.3.6. Bombas de infusión

Su funcionamiento es incorrecto ante el campo magnético producido por el imán, se debe comprobar la estabilidad del equipo antes de que sea puesto en marcha, el

dispositivo se debe instalar fuera del límite marginal (zona de exclusión) utilizando las alargaderas que sean necesarias.

4.4. Accesorios compatibles con RMN

Adicionalmente se hacen uso de varios accesorios antimagnéticos muy útiles antes, durante y después del examen de RMN, como son: camilla, silla, tela con agarraderas para transporte de pacientes, escalera con peldaños, carro de transporte para accesorios, estructura porta sueros, rótulos indicadores, extintor antimagnético, detector de metales, entre otros.

CONCLUSIONES

- ✚ La evolución de la Electrónica aplicada a la Medicina ha tenido y sigue teniendo un impactante desarrollo tecnológico, hoy se pueden realizar estudios completos de cualquier parte del cuerpo humano y determinar un sin número de patologías en cuestión de minutos con técnicas que no causan dolor y totalmente no invasivas, esto es sin duda alguna un indicador directo que la calidad de vida ha aumentado mucho en las personas.
- ✚ El funcionamiento se basa en los principios físicos de rotación y precesión de los átomos de hidrógeno que posee el cuerpo humano, pero de manera simplificada al realizar un estudio por Resonancia Magnética Nuclear el paciente es colocado dentro del imán, luego se envía una onda de radio, se interrumpe dicha onda, se recoge la señal que es emitida por el paciente para formar la imagen y que posteriormente será visualizada en una placa física o en un monitor de grado médico.
- ✚ La Resonancia Magnética Nuclear incorpora tecnología de punta y técnicas de trabajo muy modernas, razones lo suficientemente importantes para tener un tratamiento especial durante la instalación y en futuros mantenimientos con el Imán Principal, el Sistema de Radiofrecuencia, las Bobinas de Gradiente y la Estación de Trabajo, partes principales de un Resonador Magnético Nuclear.
- ✚ Generalmente existen tres áreas de trabajo, la Sala de RMN, el Área del operador y la Sala de Equipos, siendo la más importante la Sala de RMN, aquí es donde se va a realizar el escudo de RF. Las dos restantes no necesariamente deben contar con tan altos aislamientos.

- ✚ El diseño general, la construcción adecuada, la calidad de los materiales y el tipo de recubrimiento en una Jaula de Faraday son ingredientes que darán como resultado imágenes de gran resolución en menores tiempos de examinación y posteriormente un acertado diagnóstico por parte del médico tratante, además de seguridad efectiva para pacientes y el personal técnico en general.

- ✚ Hoy encontramos además una amplia variedad de accesorios y equipos médicos totalmente compatibles con un Resonador Magnético, los cuales son de gran utilidad en el transporte y seguridad del paciente cuando se habla de los accesorios, también monitorean varios parámetros vitales cuando se está realizando una examinación por RMN en el caso de los equipos médicos adicionales.

- ✚ La Zona de Exclusión en una Sala de RMN debe ser siempre considerada, en el interior del perímetro formado por el campo magnético marginal no debe existir ningún objeto magnético, ya que esto podría causar accidentes en personas e incluso daños parciales o totales del propio equipo.

- ✚ El trabajo de monografía desarrollado contiene una introducción al amplio mundo de la Imagenología Médica, con el fin de ser útil a técnicos y personas en general en el tema del Blindaje Magnético, éste factor y otros parámetros importantes son trascendentales para evitar negativas durante el funcionamiento del equipo de Resonancia Magnética Nuclear.

RECOMENDACIONES

- No olvidar que al construir una Jaula de Faraday se necesita una serie de requerimientos de ley, existen consejos de diseño e instalación que son muy útiles, además se sugiere una serie de preguntas de delimitación, todo esto dará una referencia general y un bosquejo inicial de lo que podría ser la sala de RMN.
- La sala de RMN debe estar construida mediante un diseño modular, esto será útil en un futuro para transportar el imán si es necesario por mantenimiento o cambio, ya que esta es la parte más grande del equipo.
- Asesorarse con un experto en el tema de blindajes de radiofrecuencia para proyectar una sala de RMN de calidad sería una buena opción, pedir orientación con respecto al material que se va a usar para realizar el recubrimiento completo de la sala, es una inversión de alto costo inicial, pero que en un futuro evitará gastos en reparaciones y mantenimientos del área.
- Tener en cuenta que los materiales en la construcción de la Jaula de Faraday y la calidad del recubrimiento usado tienen que ser de características superiores, si se omite esto se tendrá un blindaje de radiofrecuencia con capacidades pobres.
- Se debe considerar todas las seguridades del caso, empezando desde los cableados de red, pasando por las conexiones a tierra del equipo y de la Jaula de Faraday, hasta las señales de advertencia colocadas alrededor de toda el área de trabajo.

- Confirmar que no existan corrientes de fuga en las conexiones a tierra, esto es sumamente perjudicial ya que no servirá de nada un buen escudo de RF si existen dichas corrientes parásitas, resultando así imágenes del interior del cuerpo humano para nada entendibles.

- Recordar siempre la Zona de Exclusión, la compatibilidad de accesorios y equipos médicos que se pueden usar en la sala de RMN, se deben omitir totalmente los objetos ferromagnéticos ya que estos podrían causar daños humanos y materiales.

- El personal técnico que trabaje en la sala de RMN debe estar altamente capacitado para operar el equipo sin ningún inconveniente, además de estar preparado para resolver cualquier eventualidad que se presente.

GLOSARIO¹⁹

| A |

Alquitrán. El obtenido por destilación del petróleo. Se usa como impermeabilizante y como asfalto artificial.

Angiografía. Imagen de los vasos sanguíneos obtenida por cualquier procedimiento.

Antena. Dispositivo de los aparatos emisores o receptores que, con formas muy diversas, sirve para emitir o recibir ondas electromagnéticas.

Antiestático. Que impide la formación de electricidad estática.

Arritmia. Irregularidad y desigualdad en las contracciones del corazón.

| B |

Bobina. Componente de un circuito eléctrico formado por un alambre aislado que se arrolla en forma de hélice con un paso igual al diámetro del alambre

| C |

Campo eléctrico. Magnitud vectorial que expresa la intensidad de las fuerzas eléctricas. Se mide en voltios/metro. (Símb. E).

Campo electromagnético. Se dice de todo fenómeno en que los campos eléctricos y magnéticos están relacionados entre sí.

Campo magnético. Magnitud vectorial que expresa la intensidad de la fuerza magnética. Se mide en amperios/metro. (Símb. H).

Capnografía. La capnografía es la medida del dióxido de carbono (CO₂) en la vía aérea de un paciente durante su ciclo respiratorio, es decir, la medición de la presión parcial de CO₂ en el aire espirado.

Catálisis. Transformación química motivada por sustancias que no se alteran en el curso de la reacción.

Contraste. Dicho de una cosa: Mostrar notable diferencia, o condiciones opuestas, con otra, cuando se comparan ambas.

| D |

Decibelio. Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica.

Densidad. Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Distorsión. Deformación de imágenes, sonidos, señales, etc., producida en su transmisión o reproducción.

Dúctil. Dicho de un metal, que mecánicamente se puede extender en alambres o hilos.

| E |

Electrocardiógrafo. Aparato que registra las corrientes eléctricas emanadas del músculo cardíaco, ECG.

Electrodos. Extremo de un conductor en contacto con un medio, al que lleva o del que recibe una corriente eléctrica.

Electroscopio. Aparato empleado para conocer si un cuerpo está electrizado.

Electrostático. Parte de la física, que estudia los sistemas de cuerpos electrizados en equilibrio.

Espín. Momento intrínseco de rotación de una partícula elemental o de un núcleo atómico.

| F |

Ferromagnetismo. Propiedad de los materiales que, como el hierro, tienen muy alta permeabilidad magnética, se imantan y pueden llegar a la saturación.

Filtro. 1. Dispositivo que elimina o selecciona ciertas frecuencias de un espectro eléctrico, acústico, óptico o mecánico, como las vibraciones.

2. Materia porosa, como el fieltro, el papel, la esponja, el carbón, la piedra, etc., o masa de arena o piedras menudas a través de la cual se hace pasar un líquido para clarificarlo de los materiales que lleva en suspensión.

Fluorescente. El de iluminación en el que un gas se torna incandescente por efecto de una corriente eléctrica.

| G |

Generador. En las máquinas, parte que produce la fuerza o energía, como en las de vapor, la caldera, y en la electricidad, una dinamo.

| I |

Incandescente. Dicho generalmente de un metal: Enrojecido o blanqueado por la acción del calor.

Intrínseco. Íntimo, esencial.

Ionizante. Flujo de partículas o fotones con suficiente energía para producir ionizaciones en las moléculas que atraviesa.

| M |

Magnetrón. Tubo electrónico de forma cilíndrica en el que los electrones producidos por un cátodo caliente en el eje son acelerados por un campo eléctrico radial y a la vez sometidos a la acción de un campo magnético axial, generándose

microondas. Se emplea como fuente pulsante en los radares y como fuente continua en los hornos de microondas.

Maleable. Dicho de un metal, que puede batirse y extenderse en planchas o láminas.

Marcapasos. Aparato electrónico de pequeño tamaño que excita rítmicamente al corazón incapaz de contraerse por sí mismo con regularidad.

Molibdeno. Elemento químico de núm. atóm. 42. Metal escaso en la corteza terrestre, se encuentra generalmente en forma de sulfuro. De color gris o negro y brillo plateado, pesado y con un elevado punto de fusión, es blando y dúctil en estado puro, pero quebradizo si presenta impurezas. Se usa en la fabricación de aceros y filamentos resistentes a altas temperaturas. (Símb. Mo).

| N |

Neuro-estimulador. Aparato impulsador del sistema nervioso.

| P |

Patología. Conjunto de síntomas de una enfermedad.

Pulsioximetría. La Pulsioximetría es un método no invasivo, que permite determinar el porcentaje de saturación de oxígeno de la hemoglobina en sangre de un paciente con ayuda de métodos fotoeléctricos.

Permeable. Que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido.

Perturbaciones. Inmutar, trastornar el orden y concierto, o la quietud y el sosiego de algo o de alguien.

Poliamida. Polímero caracterizado por la presencia de múltiples grupos amida, como el nailon.

Precesar. La precesión o movimiento de precesión nutación, es el movimiento asociado con el cambio de dirección en el espacio, que experimenta el eje instantáneo de rotación de un cuerpo.

Protón. Partícula subatómica con carga eléctrica positiva, que constituye el núcleo de los átomos junto con los neutrones, y cuyo número, denominado número atómico, determina las propiedades químicas del átomo.

Purificar. Limpiar de toda imperfección algo no material.

| R |

Radiofrecuencia. Cada una de las frecuencias de las ondas electromagnéticas empleadas en la radiocomunicación.

| S |

Superconductor. Se dice de los materiales que a muy bajas temperaturas pierden su resistencia eléctrica, transformándose en conductores eléctricos perfectos.

| T |

Tesla. Unidad de inducción magnética del Sistema Internacional, equivalente a un *weber* por metro cuadrado. (Símb. T).

Transición. Acción y efecto de pasar de un modo de ser o estar a otro distinto.

| Z |

Zona de Exclusión. Descartar, rechazar o negar la posibilidad de algo, campo magnético marginal.

¹⁹ Real Academia Española. (2001). Diccionario de la lengua española (22.a ed.). Revisado el 14 de marzo de 2013 desde Internet: <<http://www.rae.es/rae.html>>

BIBLIOGRAFÍA

[1]. AGUADO SASTER. Esther. Anestesia en la Resonancia Magnética. España. [s.a.]. 18 páginas. [en línea]: http://www.soclartd.org.es/files/sesiones/Anestesia_resonancia_magnetica1.pdf [Revisado el 10 de marzo de 2013].

[2]. BÓRQUEZ. Claudio. DELGADO. Pablo. GODOY. Yulián. IBACACHE. Nelson. Jaula de Faraday. 2011. 28 páginas. [en línea]: <http://nelsonpz.files.wordpress.com/2011/08/jaula-de-faraday.pdf> [Revisado el 18 de enero de 2013].

[3]. BUSTOS. José Javier. VALIDACIÓN DE TÉCNICA DE DETECCIÓN DE ELECTRODOS BASADO EN IMÁGENES DE MR Y CT. Argentina. 2011. 116 páginas. [en línea]: <http://ricabib.cab.cnea.gov.ar/313/1/1Bustos.pdf> [Revisado el 11 de enero de 2013].

[4]. COELLO FIALLOS. Diana Carolina. Estudio del proceso de instalación y diseño de un sistema de control de calidad del equipo de Resonancia Magnética Nuclear modelo Toshiba mrt-600ex de Megaflor Neurodiagnostico y Medicina - ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. Ecuador. 2012. 169 páginas. [en línea]: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2015/1/86T00006.pdf> [Revisado el 22 de enero de 2013].

[5]. ESPECTROSCOPIA DE RESONANCIA MAGNÉTICA NUCLEAR. España. [s.a.]. 17 páginas. [en línea]: <http://www.uv.es/jcastell/Espectroscopia.pdf> [Revisado el 20 de diciembre de 2012].

[6]. FREIRE ROSALES. Manuel José. Fundamentos físicos de las imágenes médicas: Resonancia Magnética. España. [s.a.]. 54 páginas. [en línea]: <http://personal.us.es/alberto/ffisim/material/Resonancia.pdf> [Revisado el 17 de enero de 2013].

[7]. FUNDACIÓN BARCELÓ. Facultad de Medicina. PRINCIPIOS FÍSICOS RESONANCIA MAGNÉTICA. Argentina. 2005. 6 páginas. [en línea]: <http://www.fundacion-barcelo.com.ar/medicina/diagnostico%20por%20imagenes%20medicina/resonancia%20principios%20fisicos.pdf> [Revisado el 20 de diciembre de 2012].

[8]. GARZA FLORES. Rolando. Principios Básicos de Imagen por Resonancia Magnética. México. 2011. 28 páginas. [en línea]: http://www.cenetec.salud.gob.mx/descargas/Cursos_Ing_clinica2011/curso_taller_centro_2011/17_GE_Resonancia_Magnetica.pdf [Revisado el 20 de diciembre de 2012].

[9]. GENERAL ELECTRIC. Medical Systems. Signa Profile Pre-Installation. 2000 – 2004. 166 páginas. [en línea]: <http://www.zeltronic.com.ar/files/SIGNA%20PROFILE%20PRE%20INSTALLATION.pdf> [Revisado el 29 de enero de 2013].

[10]. IMEDCO AG. Architectural Site Planning Guide for MRI Rooms. 2011. Switzerland. 19 páginas.

[11]. INCELERIS. Material de Apantallamiento y blindaje EMI/RFI - Material de apantallamiento de RF. Alemania. [s.a.]. 5 páginas. [en línea]: http://www.inceleris.com/assets/shielding_fabric_aaronia_shield_50db.pdf [Revisado el 13 de febrero de 2013].

[12]. MORILLO. Aníbal J. Apuntes Magnéticos Física de la resonancia magnética - secuencias. 2011. 77 páginas.

[13]. PÉREZ MÉNDEZ. Lorena. Espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear. España. 2009. 172 páginas. [en línea]: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/8393/1/Espectr%C3%B3metro%20de%20RMN.pdf> [Revisado el 02 de febrero de 2013].

[14]. RADIANSÁ. Magnic Shield™ Baldosos de Mu-Metal. España. 2008. 2 páginas. [en línea]: http://www.radiansa.com/datasheets/Magshield_hojadatos.pdf [Revisado el 02 de marzo de 2013].

[15]. Universidad de Buenos Aires. Ing. CURESES Daniel. PRINCIPIOS DE LA RMI. Buenos Aires – Argentina. 2012.

[16]. ZUFIRÍA. Laura Oleaga. MARTÍNEZ. Javier Lafuente. APRENDIENDO LOS FUNDAMENTOS DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA. Madrid-España. Editorial Médica Panamericana. 2007. 111p.

Referencias Electrónicas

[17]. ALIBABA. Estación de trabajo dicom de software. [s.a.]. [en línea]: <http://spanish.alibaba.com/product-free-img/dicom-workstation-software-100728538.html> [Revisado el 17 de enero de 2013].

[18]. BARETT. J.t. Metales compatibles a la IRM. [s.a.]. [en línea]: http://www.ehowenespanol.com/metales-compatibles-irm-lista_111305/ [Revisado el 10 de marzo de 2013].

[19]. BUILDING LIGHTER STRONGER FASTER - MGI. Insulation Material - Rock wool. [s.a.]. [en línea]: <http://digitalpicasso.com/mgitechnical/insulation-rock-wool.html> [Revisado el 06 de febrero de 2013].

[20]. COMPAÑÍA MEXICANA DE RADIOLOGÍA CMR. Estaciones de trabajo. 2012. [en línea]: http://www.cmr-rx.com/prod.php?menu=prod_ed&submenu=prod_ed&ssmenu=prod_ed_smart [Revisado el 17 de enero de 2013].

[21]. DALDE. Blindajes Electromagnéticos Jaula de Faraday. Argentina. [s.a.]. [en línea]: <http://dalde.com.ar/productos/blindajes/jaula-de-faraday> [Revisado el 19 de enero de 2013].

[22]. Departamento de Imágenes Diagnosticas. Precauciones Generales a considerar con los equipos de Resonancia Magnética. Colombia. 2011. [en línea]: http://www.radiologiafsfb.org/site/index.php?option=com_content&view=category&id=101&Itemid=246 [Revisado el 12 de marzo de 2013].

[23]. EUROPEAN COPPER INSTITUTE. Características y aplicaciones del cobre. Bélgica. [s.a.]. [en línea]: <http://www.eurocopper.org/cobre/importancia-cobre.html> [Revisado el 20 de febrero de 2013].

[24]. GLUON CON LECHE. El mito de la jaula de Faraday. 2005. [en línea]: <http://gluonconleche.blogspot.com/2005/11/el-mito-de-la-jaula-de-faraday.html> [Revisado el 18 de enero de 2013].

[25]. MAGNETIC SHIELDS. Electromagnetic Engineering - Preguntas más frecuentes. Reino Unido. [s.a.]. [en línea]: <http://www.magneticshields.co.uk/es/investigacion-y-desarrollo/faq.html> [Revisado el 02 de febrero de 2013].

[26]. MRIaudio. Electrostatic Headphone – Description. Estados Unidos. 2012. [en línea]: <http://www.mriaudio.com/MRIAUDIO-PRODUCTS/electrostatic-over-ear-headphones.html> [Revisado el 04 de marzo de 2013].

[27]. MUMETAL. MUMETAL IS ONE OF A FAMILY OF THREE NICKEL-IRON ALLOYS. Reino Unido. 2009. [en línea]: <http://mumetal.co.uk/2009/04/03/mumetal-is-one-of-a-family-of-three-nickel-iron-alloys/> [Revisado el 28 de febrero de 2013].

[28]. UAM. Cobre. España. [s.a.]. [en línea]: <http://www.uam.es/docencia/museovir/web/Museovirtual/tperiodica/elementos2/cu.htm> [Revisado el 22 de febrero de 2013].

[29]. UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE COMPOSTELA. Unidad de Resonancia Magnética - Sección RMN. España. [s.a.]. [en línea]: <http://desoft03.usc.es/rmnweb/rmnespect.html> [Revisado el 14 de enero de 2013].

[30]. WIKIPEDIA. National Electrical Code. 2013. [en línea]: http://es.wikipedia.org/wiki/National_Electrical_Code [Revisado el 29 de enero de 2013].

[31]. ZELTRONIC. JAULAS DE FARADAY PARA RESONANCIA MAGNETICA. Argentina. [s.a.]. [en línea]: <http://www.zeltronic.com.ar/> [Revisado el 29 de enero de 2013].

[32]. ¿Qué es la Resonancia Magnética Nuclear? [s.a.]. [en línea]: <http://es.scribd.com/doc/23341631/CLASE-1-RESONANCIA-MAGNETICA-NUCLEAR> [Revisado el 19 de enero de 2013].