



Resonadores Magnéticos y el uso de Helio

Verónica Alejandra González

Universidad Abierta Interamericana Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud

Licenciatura en Producción de Bioimágenes

Prof. Diego González

04 de marzo de 2024

Índice

Resumen	5
Abstract	6
Introducción.....	7
Planteamiento del problema	8
Objetivos.....	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos:.....	8
Estado del arte.....	9
Justificación	10
Marco Teórico.....	11
Capítulo 1. Equipos de resonancia magnética	11
Componentes	11
Clasificación.....	12
El Magneto o Imán	14
Sala del imán	14
Magneto o Imán	14
Tipos de imanes.....	15
Permanentes:.....	15
Resistivos (electroimanes).....	16
Híbridos	17
Superconductores.....	17
Capítulo 2. Helio y su uso en los Resonadores Magnéticos.....	20
Origen del helio	20

Fuentes de Extracción.....	21
Función del helio en equipo de RM	22
Transferencia de helio líquido hacia el electroimán.....	23
Sistema de enfriamiento.....	25
Componentes importantes en el sistema de criogenia	26
Compresor de helio	26
Expansor (cabeza de enfriamiento).....	26
Chiller	26
Zeroboiloff	27
Capítulo 3. Bioseguridad.....	28
Precauciones para evitar accidentes	28
Riesgos.....	28
Quench.....	34
Quench brusco e inesperado	35
Quench voluntario y controlado	35
Capítulo 4. Resonadores magnéticos convencionales vs Resonadores magnéticos superconductores.....	39
Características generales.....	39
Diferencias y ventajas.....	40
Ventajas Imanes superconductivos sobre los Imanes permanentes	41
Imán sellado	42
Características	42
Marco Metodológico	45
Tipo de investigación.....	45

Universo	45
Población.....	45
Muestra	45
Gráficos y Tablas	46
Conclusión.....	54
Anexo	55
Bibliografía	58

Resumen

En el presente trabajo se desarrolló diferentes aspectos de los resonadores magnéticos y la importancia del uso del helio en ellos. La resonancia magnética con el pasar de los años ha tenido avances tecnológicos importantes que contribuyen a su manejo, logrando una mayor eficiencia, y a su vez permitiendo disminuir sus costos. Por ello, el objetivo principal de este trabajo es determinar si los magnetos sellados de los resonadores superconductivos aportan a la problemática del helio.

En principio, se describen los tipos de resonadores y sus características generales, así también sus tipos de imanes y la importancia que tiene el helio para su funcionamiento. Asimismo, se detalla el origen del helio, su utilización y las consecuencias que pueden acarrear el mal uso de este, como por ejemplo el quench y otros incidentes.

En segundo lugar, se describe características generales y comparaciones entre resonadores convencionales vs superconductores, mencionando algunas de sus diferencias, ventajas y desventajas en cuanto a su tamaño, funcionamiento, y costo.

Finalmente, se presenta el marco metodológico, en el cual la investigación se basa en la muestra de quince (15) equipos de Resonancia Magnética pertenecientes a diferentes instituciones de salud, donde se analizan distintas variables tales como; equipo (marca), tipo de imán, indecentes, tiempo de resolución, carga de helio, y costo. Para un mejor análisis se realizó cuadros comparativos, tablas y gráficos siempre haciendo foco en el tipo de magneto, obteniendo como resultado; valores mucho menores en todos los casos de los resonadores con magnetos sellados.

Palabras claves: Resonadores, Imán, Helio, Campo Magnético, Quench

Abstract

Keywords: Resonators, Magnet, Helium, Magnetic Field, Quench

In this work, different aspects of magnetic resonators and the importance of using helium in them were developed. Over the years, magnetic resonance imaging has had important technological advances that contribute to its management, achieving greater efficiency, and in turn allowing its costs to be reduced. Therefore, the main objective of this work is to determine if the sealed magnets of superconducting resonators contribute to the helium problem.

In principle, the types of resonators and their general characteristics are described, as well as their types of magnets and the importance of helium for their operation. Likewise, the origin of helium, its use and the consequences that its misuse may entail, such as ketch and other incidents, are detailed.

Secondly, general characteristics and comparisons between conventional and superconducting resonators are described, mentioning some of their differences, advantages and disadvantages in terms of size, operation, and cost.

Finally, the methodological framework is presented, in which the research is based on the sample of fifteen (15) Magnetic Resonance equipment belonging to different health institutions, where different variables are analyzed such as; equipment (brand), magnet type, indecents, resolution time, helium charge, and cost. For a better analysis, comparative tables, tables and graphs were made, always focusing on the type of magnet, obtaining as a result; much lower values in all cases of resonators with sealed magnets.

Introducción

En los últimos 5 años en la Argentina se ha evidenciado un encarecimiento importante del helio, lo que supone una amenaza para la sostenibilidad de los sistemas sanitarios de todo el país, gracias a la situación económica existente lo cual ha sido seriamente perjudicado, en el cual se observan su alta demanda y una oferta limitada, generando una crisis basada en la disponibilidad, distribución, comercialización, debido a sus altos costos y la falta y stock.

El helio líquido es el recurso utilizado para enfriar grandes campos magnéticos necesarios para las aplicaciones de imágenes obtenidas por resonancia magnética, lo que podría poner en riesgo el funcionamiento normal de muchos servicios de radiología.

Planteamiento del problema

Los altos costos y la falta de stock del helio líquido utilizado en los resonadores superconductivos.

Objetivos

Objetivo general

Determinar si los magnetos sellados de los resonadores superconductivos aportan a la problemática del helio.

Objetivos específicos:

- Eficiencia en las tasas de recarga y consumo que tiene un resonador superconductivos vs resonador convencional
- Analizar la tasa de quench voluntarios – súbitos
- Comparar los costos mantenimiento

Estado del arte

Utilizando los siguientes datos de búsqueda sobre; el helio en resonancia magnética, su disponibilidad, costo, así como los magnetos sellados se encontraron los siguientes artículos.

Título: La Crisis del Helio en las Resonancias Magnéticas: Pasado y Futuro

Autor: Mahadevappa Mahesh MS, PhD, Peter B. Barker Doctor en Filosofía

Enlace: [https://www.jacr.org/article/S1546-1440\(16\)30726-8/fulltext](https://www.jacr.org/article/S1546-1440(16)30726-8/fulltext)

En este artículo, se analizan las diversas cuestiones y desafíos relacionados con el helio, incluido su precio, escasez e impacto en la resonancia magnéticas. El mismo se ha realizado en otro país teniendo en cuenta cuestiones tecno económicas diferentes que hacen que, haya mucho más desarrollo en Estados Unidos que acá.

Es así como con a pesar de haber superado la crisis del 2012 de escasez mundial del helio líquido, su precio y disponibilidad sigue siendo una problemática a niveles globales. Por lo que actualmente en Argentina como en tantos otros países sigue siendo un recurso sumamente costoso y con poca disponibilidad de stock. Esto hace que, de una forma u otra, muchos hospitales y centros de imágenes empiecen a preocuparse por el asunto.

Estado del Arte

Título: Diseños de imanes superconductores y accesibilidad a la resonancia magnética: una revisión

Autor: Marina Manso Jimeno, John Thomas Vaughan, Sairam Geethanath

Enlace: <https://analyticalsciencejournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/nbm.4921>

En este artículo se revisan las modificaciones propuestas al diseño de imanes superconductores de resonancia magnética y su impacto en la accesibilidad, incluidos; sistemas compactos de helio líquido reducido y especializados. Hoy en día, las máquinas de resonancia magnética (MRI) deben tener una excelente homogeneidad del campo magnético (B_0) para lograr una calidad de imagen óptima, pero requieren grandes cantidades de helio para mantenerlo superconductor. Así también son equipos grandes, pesados, costosos y se degradan a medida que aumenta la intensidad del campo.

Estos problemas son factores cruciales en la disparidad de la densidad de RM y el uso de la intensidad de campo en todo el mundo. Además de las modificaciones antes mencionadas también se consideran métodos de reconstrucción e imágenes de última generación para abordar este problema. Asimismo, se resume los desafíos, oportunidades actuales y futuras en el diseño de resonancia magnética.

Justificación

La siguiente investigación está dirigida a todo aquel organismo que brinde servicios de resonancia magnética, así como al profesional que cumple servicios en los mismos, tales como Médicos, Licenciados en Producción de Bioimágenes, Técnicos Radiólogos.

Marco Teórico

Capítulo 1. Equipos de resonancia magnética

El equipo de resonancia magnética es un equipo que utiliza imanes potentes creando un campo magnético, en el cual los protones del cuerpo se alinean a él y mediante la aplicación de pulsos de ondas de radiofrecuencia se obtienen señales con distintas relajaciones tisulares presentes en los tejidos, estructuras anatómicas y vasculares del cuerpo humano. No es dañina ya que no utiliza radiación ionizante (rayos x).

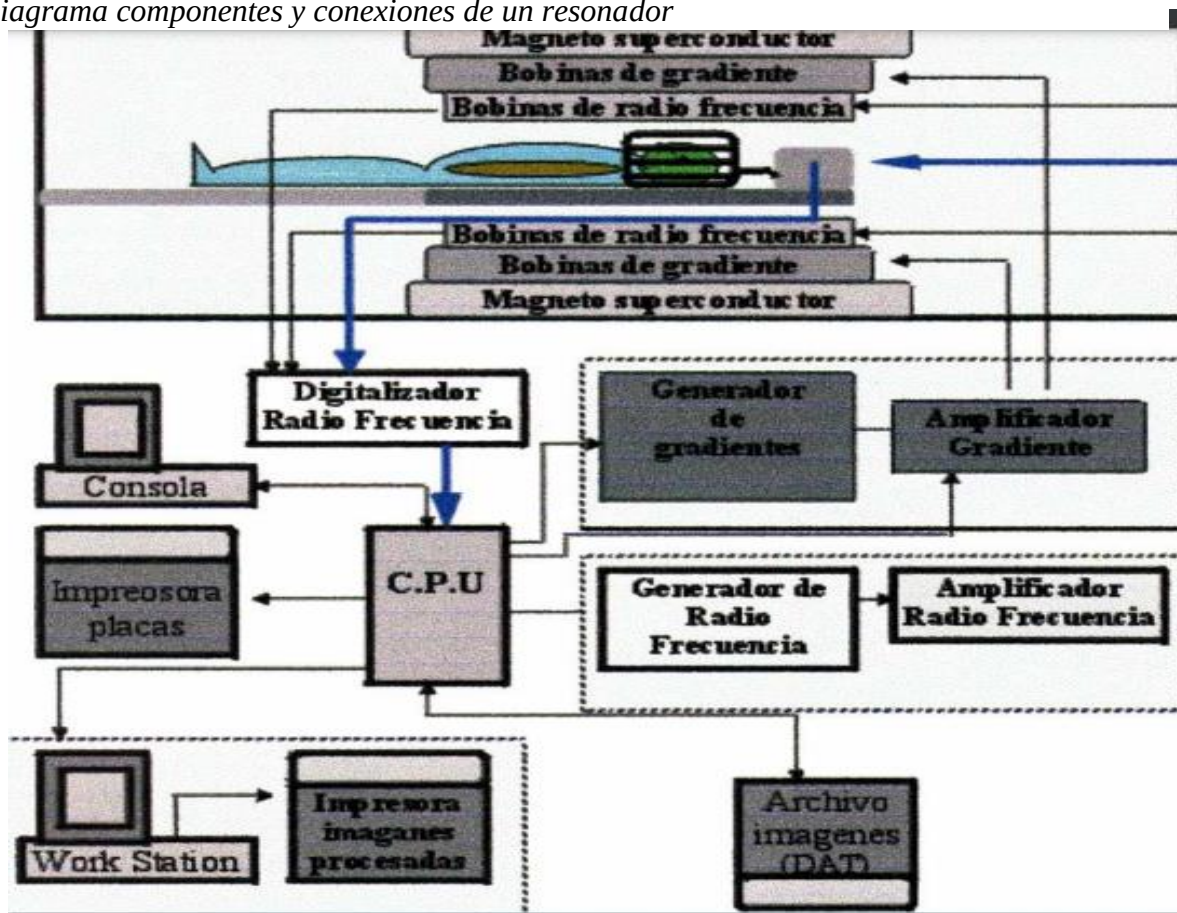
Existen diversos tipos de equipos de Resonancia Magnética, los cuales pueden variar de acuerdo con su estructura (forma), campo magnético, intensidad, así también según el fabricante. En la actualidad existen empresas como Philips, General Electric, Siemens en el mercado que ofrecen diferentes tipos de equipos, siendo el principio de funcionamiento el mismo.

Componentes

- **Un imán:** creador del campo electromagnético
- **Bobinas secundarias:** de compensación y de gradientes
- **Un sistema de radiofrecuencia:** antenas y secuencias de pulsos de RF
- **Diseño de la instalación:** protecciones y seguridad radiológica
- **Suministro de energía:** de alta corriente para el imán y de precisión para las bobinas secundarias
- **Sistema de adquisición, procesamiento, visualización e impresión** de imágenes generadas

FIGURA 1

Diagrama componentes y conexiones de un resonador



Nota. Adaptado de *Resonadores Tipos*, por Servicio de Diagnóstico y tratamiento por imágenes. *Resonancia magnética*, 2014, (<https://es.slideshare.net/kilciasosa/resonadorestipos>)

Clasificación

- Según **orientación de campo magnético** pueden ser abiertos y cerrados

- **Resonadores magnéticos abiertos:** su campo magnético va de arriba hacia abajo es decir en un plano vertical.
- **Resonadores magnéticos cerrados:** su campo magnético es horizontal, en el cual el paciente es introducido en el anillo interior. algunos casos en los cuales se tiene una sensación de claustrofobia, dependiendo del diámetro del anillo interior.

Figura 2

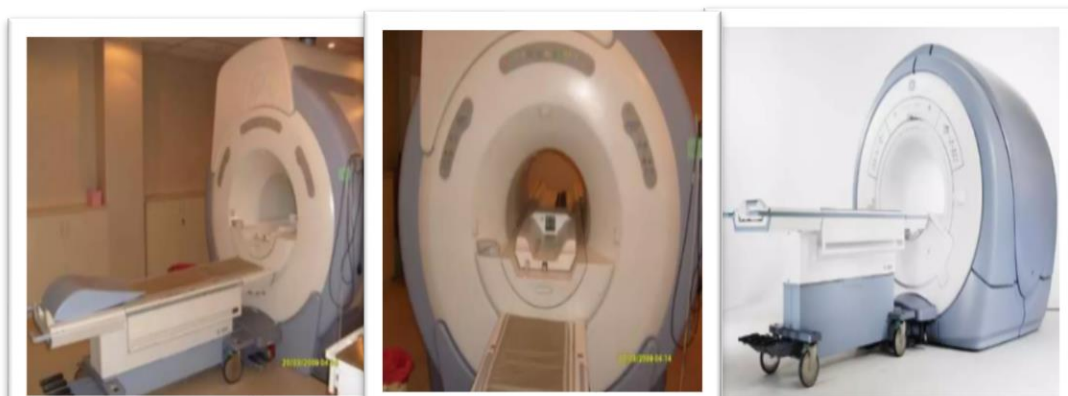
Imágenes - Resonadores abiertos



Nota. Adaptado de *Resonadores Tipos*, por Servicio de Diagnóstico y tratamiento por imágenes.

Resonancia magnética, 2014(<https://es.slideshare.net/kilciasosa/resonadores-tipos>).

Figura 3 *Imágenes- Resonadoras cerradas*



Nota. Adaptado de *Resonadores Tipos*, por Servicio de Diagnóstico y tratamiento por imágenes.

Resonancia magnética, 2014, (<https://es.slideshare.net/kilciasosa/resonadores-tipos>).

- **Según Intensidad del campo:** el mismo va a determinar la generación del equipo.

Encontramos equipos de 3 teslas, lo cuales son de una nueva generación, son los más avanzados, y aquellos equipos estándares son los de 1,5 Teslas. La diferencia entre estos campos de resonancia magnética de 3 y 1.5 Tesla. Se dan en; calidad de imán.

- **Según tipo de Imán:** Los imanes son los responsables de generar el campo magnético B_0 , homogéneo y de gran fuerza (0,1-2 T) en el interior del cilindro del imán. El campo debe ser homogéneo y estable en el tiempo, cuanto más intenso sea el campo magnético mejor será la relación señal y ruido en las radioseñales utilizadas para crear la imagen.

El Magneto o Imán

Sala del imán

La sala de imán es aquella que por lo general se encuentran ubicadas en la planta baja del hospital, es una sala que se encuentra aislada del exterior por medio de cobre llamado Jaula de Faraday, lo cual no permite las interferencias de radiofrecuencia externas. En ella se encuentran elementos fundamentales para la resonancia magnética. En pocas palabras se encuentra; el imán, bobinas, material sanitario, carro de anestesia e inyector para los estudios de contraste.

Magneto o Imán es el componente más grande y caro. Estos imanes son los responsables de crear el campo magnético de gran potencia y esto puede variar dependiendo del equipo con que se cuente, a su vez esta potencia es reflejada en Tesla.

Tipos de imanes

- **Permanentes:** ciertas aleaciones poseen propiedades ferromagnéticas. Al estar formado por este material tiene la ventaja de no necesitar energía para mantener la intensidad del campo. No necesitan refrigeración debido a que no hay una disipación de energía. Por el contrario, corre con varias desventajas.

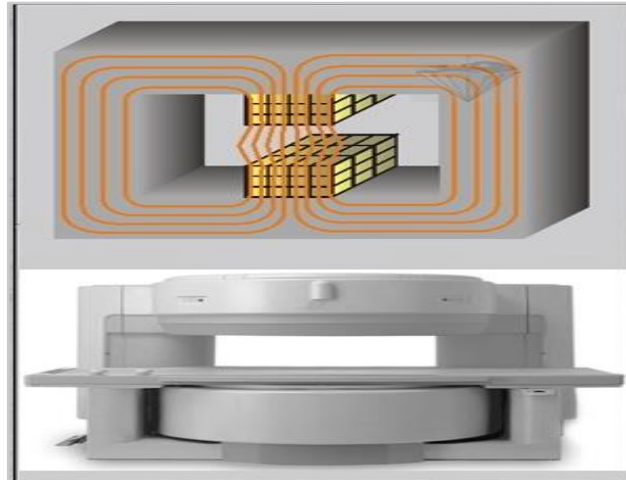
En primer lugar, el peso de los sistemas de imágenes de cuerpo entero, pero con el desarrollo de nuevas aleaciones, permito bajar su peso en el sistema de imán permanente de 100 a menos 20 toneladas.

En segundo lugar, en los sistemas de imanes permanente es la intensidad del campo que generan, el cual se encuentra limitada en la actualidad a 0,3 T para la obtención de imágenes, es así como gran parte de ellos se encuentran operando en los 0.2 T.

De este modo, los imanes permanentes su sistema es estable y homogéneo mientras que la temperatura está controlada, no alcanzan campos magnéticos altos. El costo de capital y operacional son bajos.

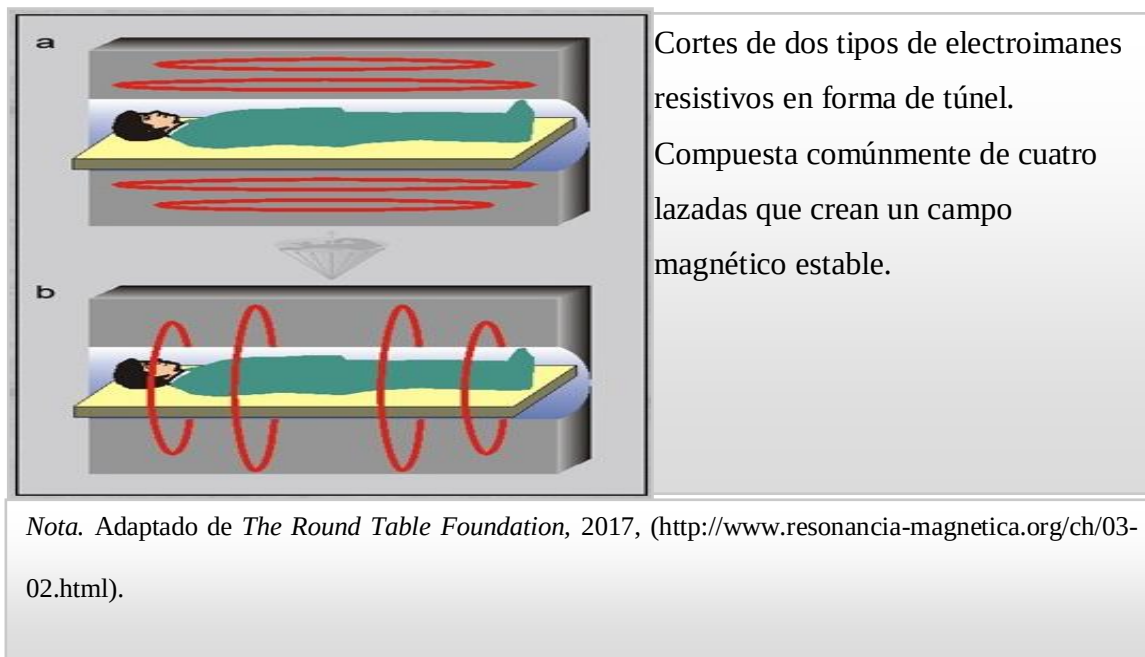
Cabe mencionar, que en los imanes permanentes su campo magnético es vertical, en comparación a los sistemas resistivos y superconductores en los cuales son mas horizontales. la dirección del campo tiene un impacto en el uso de determinadas bobinas transmisoras y receptoras.

Figura 4
Imagen- Imán Permanente



Nota. Arriba: esquema de un imán permanente - Abajo: equipo permanente de campo bajo. Adaptado de *The Round Table Foundation*, 2017, (<http://www.resonancia-magnetica.org/ch/03-02.html>).

- **Resistivos (electroimanes)** consisten en bobinas conductoras, a través de la cual pasa una fuerte corriente eléctrica, requieren un alto consumo de energía, liberando mucho calor en su funcionamiento, lo cual necesitan un sistema de refrigeración de gran capacidad. En este tipo de imanes es difícil lograr un campo magnético potente, estable y homogéneo.

Figura 5*Imagen Imán Resistivo*

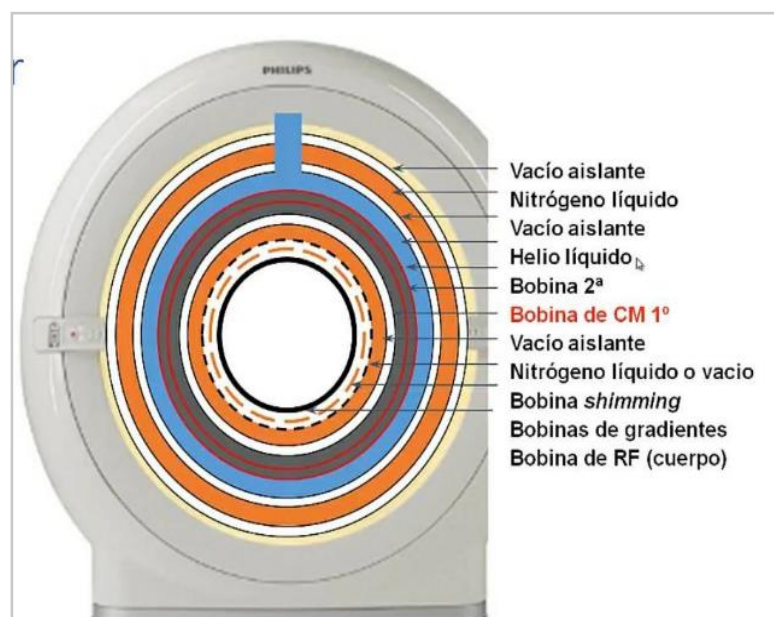
- **Híbridos:** son aquellos imanes permanentes + imanes resistivos, sus campos magnéticos se hallan en orden de los (0,6 T).
- **Superconductores:** son imanes que se basan en el principio de los electroimanes, que es hacer circular la corriente eléctrica por medio de las bobinas o solenoide¹ (formado por un metal especial), produciendo un campo magnético intenso y constante. Siendo las mismas enfriadas a temperaturas próximas a 0K para reducir casi por completo su resistencia eléctrica. Cuando las aleaciones superconductoras se colocan en el helio

¹ Solenoide: arrollamiento de alambre de niobio/estaño o niobio/titanio

liquido (temperatura por debajo -263°C y -269°C 4 a 10 K), se produce un campo magnético estable de intensidad elevada. Por lo tanto, es necesario un sistema de enfriamiento doble que utiliza nitrógeno líquido como liquido criogénico, (Dewar o criostato) y en un segundo helio liquido (Dewar interno).²

Figura 6

Imagen Imán Superconductor



Nota. Adaptado de *Radiología club, Imán superconductor*. 2017, (https://web.facebook.com/radiologiaclub/photos/a.976807339048704/1535549356507830/?type=3&_rdc=1&_rdr)

² Los Dewar son recipientes para almacenar líquidos criogénicos. Están diseñados para disminuir las pérdidas de calor.

Figura 7**Figura 8***Imágenes - Magneto superconductor***Figura 9**

Nota. Fig 7.8.9. Adaptado de Resonancia Magnética, El Centro de Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos más amplio de la Red, s.f, (<https://www.monografias.com/trabajos106/resonancia-magnetica/resonancia-magnetica2>)

Capítulo 2. Helio y su uso en los Resonadores Magnéticos

Origen del helio

El helio como se menciona anteriormente juega un papel fundamental en la refrigeración de los resonadores magnéticos, es un gas noble que puede existir en estado líquido a temperaturas extremadamente bajas. Se utiliza para enfriar los resonadores magnéticos, permitiendo operar de manera efectiva y segura, asimismo proporciona las condiciones necesarias para obtener imágenes de alta calidad en sus distintas aplicaciones, (medicas, investigación, etc.).

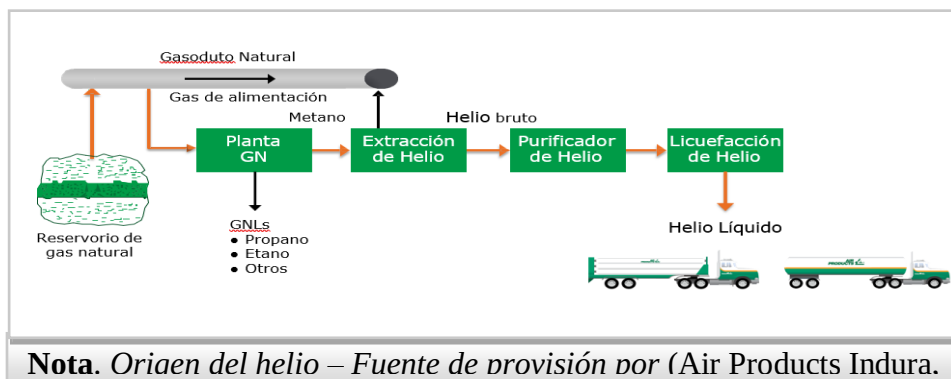
Es un elemento formado por la descomposición radiactiva de elementos pesados de la corteza terrestre (Uranio y Torio). El mayor volumen se disipa en la atmósfera donde la concentración de Helio es 0,001%; (La separación del aire no es comercialmente viable).

Se encuentra sólo en algunos campos de gas natural, donde los gases se formaron juntos y protegidos por roca impermeable.

Cabe mencionar que el gas natural que contiene 0,1% de Helio o más se considera "rico en helio". En cuanto a la extracción comercial de helio, el mismo proviene de Yacimientos de gas para valor energético (Helio como subproducto) Producción de Gas Natural Licuado. (Air Products Indura, 2023).

Figura 10

Imagen Circuito del helio



Fuentes de Extracción

Solo un pequeño porcentaje de países cuenta con las, lo que lo convierte en un mercado competitivo e inestable. Hoy día 51% USA, 30% Qatar, 10% Argelia, resto Rusia, Australia, Polonia. (Air Products Indura, 2023).

En los últimos 15 años ha habido diferentes crisis globales de abastecimiento por diferentes motivos los cuales se conocieron como Shortage Helium. Shortage Helium 1.0 en 2006-2007 explosión demanda industria electrónica, la demanda superó producción y se produjo la primera crisis de abastecimiento. Shortage Helium 2.0 en 2013 por disminución producción de (Bureau of Land Management (BLM), fallas paradas de equipos de refinerías y mantenimiento programado en varias de las refinerías de gas natural del mundo que interrumpieron el suministro. Estos factores, junto con una creciente demanda de helio de países China, significaron que la oferta se hizo escasa. Shortage Helium 3.0 en 2017-2019 el embargo de los países árabes a Qatar redujo la oferta del segundo productor mundial. Shortage Helium 4.0 en 2021 debido a la interrupción de mantenimiento de cuatro meses de la Unidad de Enriquecimiento de Helio (CHEU) de Crudo de la Oficina de Administración de Tierras de los Estados Unidos (BLM) se eliminó más del 10% de la capacidad mundial del mercado; luego se sumó la reducción de la producción de Argelia por guerra en Ucrania, y posterior incendio octubre 2021 y explosión enero 2022 en planta de AMUR Rusia más paradas de mantenimiento planificadas redujeron la producción de Qatar y el incendio en planta de procesamiento de gas natural en Haven–Kansas. (Air Products Indura, 2023, p.17).

Función del helio en equipo de RM

Según Santamaria (2021) para asegurar el funcionamiento adecuado e imágenes precisas, el imán en el corazón de una máquina de resonancia magnética debe mantenerse a una temperatura muy baja de 4 Kelvin, que es -270°C . Esto se logra utilizando helio líquido, que se enfría mediante un dispositivo compresor especial llamado crio-enfriador (Mini refrigerador (-150°C)). Así también utiliza otra serie de bobinas e intercambiadores de calor para enfriar el crio-enfriador lo cual es crucial debido a que la temperatura del helio sube y la máquina al no enfriarse, lo que produce es que, el helio se evapore en unas pocas horas y escape a través de las válvulas de seguridad, tras lo cual el imán queda irreversiblemente dañado. Las recargas de helio cuestan muchísimo dinero, por lo tanto, el deterioro del imán puede llevar la pérdida de capital a millones.

Cuando nos referimos al helio, debemos tener presente que es especialmente relevante en la tecnología de resonadores superconductores (ver figura 6), se requiere un suministro constante de productos criogénicos³, que se encuentran contenidos en el interior del imán, para mantener la temperatura a niveles muy bajos, permitiendo que funcione en un estado superconductor y generen campos intensos de forma continua.

Puesto que, se enfrían las bobinas magnéticas del escáner lo que contribuye a las bobinas, sus propiedades superconductoras. En consecuencia, la corriente eléctrica puede fluir a través de la bobina sin resistencia, lo que crea un campo magnético uniforme de alta intensidad.

³Los productos criogénicos son los **líquidos criogénicos**, gases que han sido enfriados intensamente, los cuales tienen un punto de ebullición próximo a -100° o inferior. Enfriar estos gases debe hacerse por debajo de la temperatura ambiente.

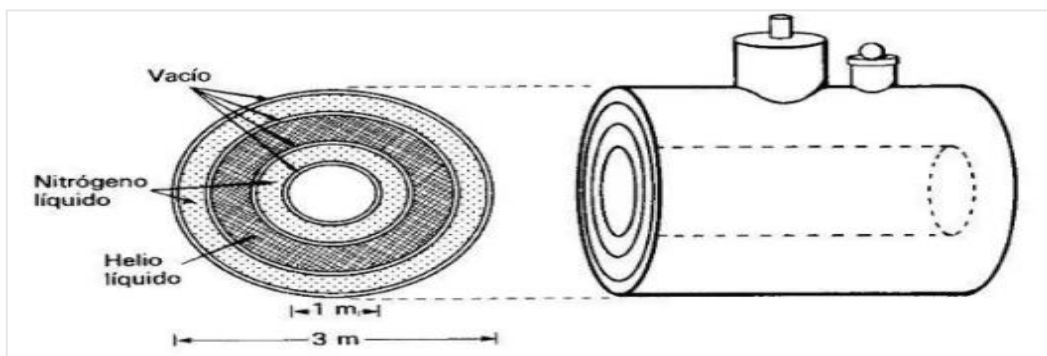
Transferencia de helio líquido hacia el electroimán

El período en que se realice la transferencia de helio en el equipo dependerá de la eficiencia del sistema de enfriamiento (cabeza de enfriamiento, compresor, etc.). El nivel de helio se mide en porcentajes desde la consola de operación. La capacidad en litros de cada magneto varía con cada fabricante. Los valores que se toman para realizar una transferencia de helio se advierten desde la consola cuando alcanzan el valor crítico. Cuando el valor llega al 50% se muestra el aviso de que el magneto debe ser llenado al 100%. El valor mínimo permisible de operación es del 35%; al bajar menos del 35% el equipo 95 se bloqueará automáticamente, no permitiendo realizar estudios hasta que se supere el nivel más arriba del 35%. Abajo del 30% se corre el riesgo de que se provoque un quench (protección que se activa para no permitir que siga fluyendo corriente eléctrica en el devanado superconductor a temperatura ambiente porque se destruiría inmediatamente. (Solares, 2013, p 94)

Sirva de ilustración la siguiente imagen (fig.8) en el cual dentro del Dewar se hallan dos cámaras, en el que la más externa llena de nitrógeno líquido y la otra llena de helio líquido a temperatura de 4.2 K ambas cámaras están separadas entre sí, así también del medio ambiente por cámaras de vacío. Estos líquidos criogénicos son sumamente delicados, así que solo deben ser manipulados por personal especializado y autorizado.

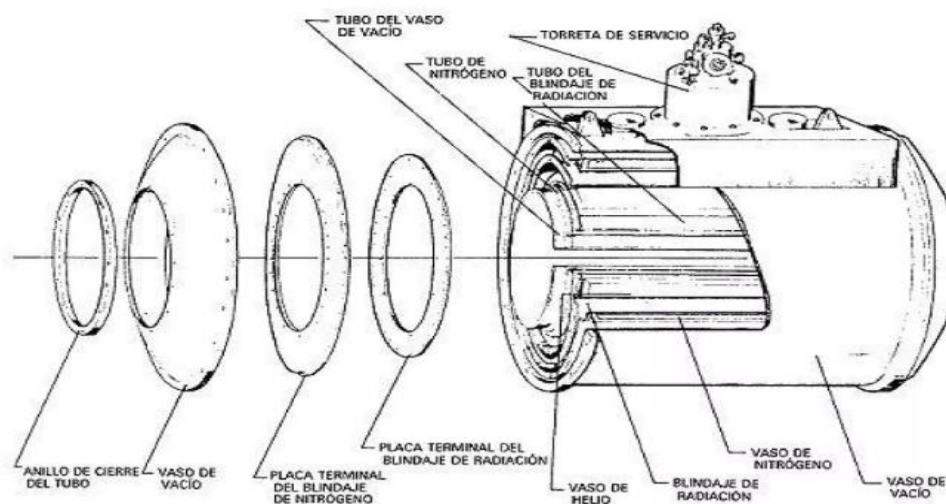
Cabe mencionar, que el volumen característico del helio líquido en un magneto es de 1700 litros. El de nitrógeno líquido es de (77.4 K) el cual actúa como buffer térmico entre la temperatura ambiente (293K) y el helio líquido. (Roater, 2022)

Figura 11
Imagen - Dewar



*Nota. Adaptado de Unidad 15 de Resonancia Magnética, Roater, 2022,
 (<https://filadd.com/doc/unidad-no-15-resonancia-magnetica-pdf-fisica-y>)*

Figura 12
Imagen Dewar



*Nota. Adaptado de Unidad 15 de Resonancia Magnética, Roater, 2022,
 (<https://filadd.com/doc/unidad-no-15-resonancia-magnetica-pdf-fisica-y>)*

Sistema de enfriamiento

Los enfriadores son importantes para el funcionamiento seguro y eficaz de los resonadores magnéticos, se utiliza para eliminar el exceso de calor, es decir; hacen circular agua fría o una mezcla de agua y glicol alrededor del sistema, absorbiendo el calor y luego disipándolo del equipo.

Como se menciona anteriormente, la cabeza de enfriamiento es una parte crucial de la resonancia magnética para el enfriamiento, convierte el helio gaseoso en líquido, por lo que no permite que se queme por completo.

Según Rinno (2014), la Cabeza de enfriamiento no es más que un expansor que con ayuda de un compresor de helio mantiene las capas que envuelven una bobina superconductora frías a temperaturas debajo de los 150.

Figura 13

Imagen - Cabeza de enfriamiento



Nota. Adaptado de Rinno – Respuesta Innovadora de servicios, S.A de C.V, 2014, (<https://www.rinno.com/portal/index.php/noticias>)

Componentes importantes en el sistema de criogenia

- Compresor de helio: situado en el cuarto técnico
- Expansor (cabeza de enfriamiento): situado en la parte superior del magneto

Chiller

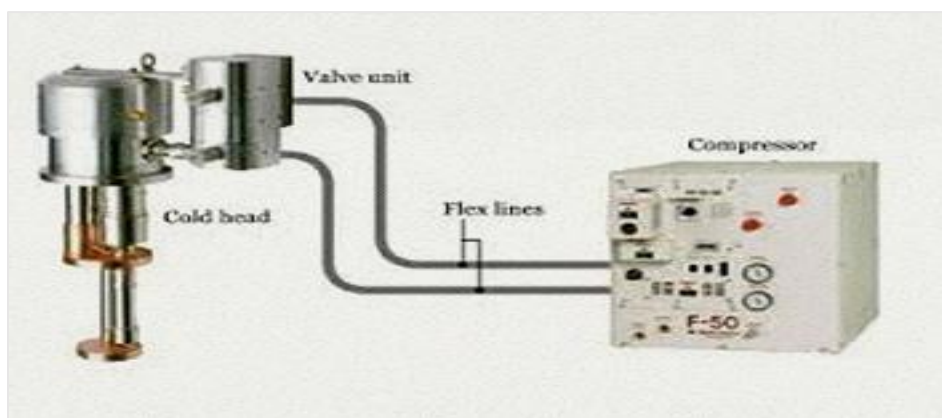
El chiller es un enfriador para ser usado en enfriamiento (criónica) de resonancia magnética y otros escáneres. Su función es el ahorro de energía y bajo nivel de ruido, su estructura acero inoxidable. (Santamaria, 2023)

El chiller/enfriador funciona haciendo circular un refrigerante a través de un sistema de circuito cerrado que incluye la máquina de resonancia magnética. El refrigerante absorbe el calor de la máquina y lo lleva al enfriador, donde se libera al entorno circundante. Luego, el refrigerante regresa a la máquina de resonancia magnética para repetir el proceso.

El chiller/enfriador generalmente consta de varios componentes, incluidos un compresor, un condensador, una válvula de expansión y un evaporador. El compresor es responsable de comprimir el refrigerante y hacerlo circular por el sistema.

El condensador libera el calor absorbido por el refrigerante al ambiente circundante. La válvula de expansión regula el flujo de refrigerante y el evaporador absorbe el calor de la máquina de resonancia magnética.

El enfriador es un componente importante en la sala de resonancia magnética porque ayuda a mantener una temperatura estable y evita el sobrecalentamiento de la máquina de resonancia magnética. El sobrecalentamiento puede dañar la máquina y afectar la calidad de las imágenes producidas. (Santamaria,2023 p 2)

Figura 14*Imagen – Sistema criogénico*

*Nota. Adaptado de Rinnos – Respuesta Innovadora de servicios, S.A de C.V
2014, (<https://www.rinnos.com/portal/index.php/noticias>)*

El continuo funcionamiento de todo el sistema es fundamental, debido a la evaporación del helio y del nitrógeno líquido, teniendo en cuenta que es una de las causas principales de incidentes en los servicios de Resonancia Magnética.

Zeroboiloff

El zeroboiloff es un dispositivo utilizado en criogenia, diseñados para mantener temperaturas de ciertos materiales superconductores muy cerca del cero absoluto. Esto se logra aplicando campos magnéticos intensos para suprimir los gradientes de temperatura. El helio por lo general se utiliza como refrigerante en este tipo de sistema, debido a su capacidad de alcanzar temperaturas extremadamente bajas .

En síntesis, es una tecnología con cabeza de enfriamiento directa a los contenedores de helio, la cual licua el helio y así evita que el mismo se escape. Se debe tener presente que si la

cabeza de enfriamiento se detiene el consumo de helio es mayor, se multiplicara por 10 veces, ya que los equipos zero-boilf son más riesgosos, porque el escape de helio se dispara por el hecho de estar la cabeza de enfriamiento directa en el recipiente de bobina. Chatgpt-3.(2024).

Capítulo 3. Bioseguridad

Precauciones para evitar accidentes

Existen riesgos potenciales en el entorno de los equipos de resonancia magnética, tanto para pacientes, trabajadores y otras personas que casualmente se encuentren cerca de estos. Es esencial que cada personal cuando desempeñe su función o tarea, lo haga de manera concentrada y segura, siempre con el debido conocimiento y autorización.

Es igual de importante, que tanto el médico, técnico radiólogo y todo aquel personal que interactúe con el equipo, conozca adecuadamente su funcionamiento y tenga presente el procedimiento y las normas de bioseguridad, manteniendo una zona segura de trabajo para así evitar cualquier tipo de incidentes.

Riesgos

- Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se clasifica en forma general algunos de los riesgos:
- **CAMPO MAGNÉTICO**
- **GRADIENTES**
- **RADIOFRECUENCIA**
- **FUGA DE HELIO: QUENCH**
- **ELEMENTOS METÁLICOS EXTERNOS AL PACIENTE**

➤ **ELEMENTOS METÁLICOS INTERNOS AL PACIENTE**

Para empezar, es necesario mencionar lo que ocurre al momento de generar las imágenes, se necesita de la aplicación de tres tipos de campos magnéticos que tienen un efecto distinto en el cuerpo humano y los objetos circundantes y afectan a la seguridad de las exploraciones.

- **El campo magnético estático (B_0):** es el campo magnético del equipo, siempre está encendido y su intensidad se mide en teslas (T); los equipos más empleados los de 1,5 y 3 T. La interacción con los objetos ferromagnéticos puede hacer que se muevan, se desplacen o se aceleren hacia el imán. No obstante, es el riesgo en muchos casos donde no se aplica a dispositivos médicos implantados por su composición mayoritaria de materiales no ferromagnéticos.
- **Campos magnéticos de radiofrecuencia:** es el campo pulsado que se puede activar y apagar durante el examen de resonancia magnética con el fin de excitar los giros corporales de una región de interés en particular. La radiofrecuencia puede causar lesiones por calentamiento.
- **Gradientes** dinámicos que causan cambios en el campo magnético a lo largo del tiempo (dB/dt). Son los gradientes que se activan y desactivan durante los estudios de RM. Estos pueden inducir corrientes eléctricas en dispositivos específicos en forma de calentamiento, vibración, estimulación neuromuscular y ruido acústico.

De manera similar, muchos de los accidentes se dan en el sistema criogénico, cuando se realiza la transferencia del helio, el mismo es un líquido altamente frío y puede causar quemaduras en el cuerpo, por esto es necesario que se utilice guantes, lentes de protección, careta, pistola de calor y gabacha.

Antes que nada, al trabajar con helio se debe tener en cuenta que el lugar cuente con la suficiente ventilación (mantener la puerta abierta o conectar un extractor de aire en algunos casos), asimismo debe verificarse que el equipo tenga instalado un tubo de escape que dé al techo de edificio donde se encuentre instalado el equipo, en caso de que haya una pérdida abrupta de helio. La ventilación es muy importante ya que el helio tiende a expandir el oxígeno, por lo que la persona sin darse cuenta perderá el conocimiento, se desplomará y podrá perder la vida si no se auxilia a tiempo. La presión interna del magneto debe ser revisado regularmente para evitar que alcance el valor de rompimiento liberando todo el helio en forma de gas.

Vale decir, que existen causas diversas por las que se puede generar un accidente, en tanto no se tomen las medidas de seguridad correspondientes. A continuación, se detallan de manera específica algunos de ellos, incorporando ejemplos:

- Fuerza traslacional – Efecto misil
- Fuerzas de torsión
- Quemaduras térmicas
- Quenching

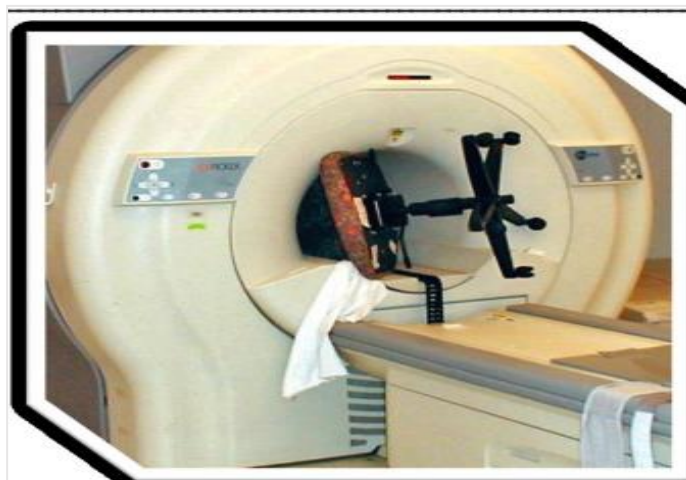
Fuerza traslacional – Efecto misil

Este efecto está relacionado con materiales metálicos y el campo estático generado por el sistema de resonancia magnética, por lo general se da junto con el efecto de misil, puede atraer objetos como; camillas de transporte, sillas de ruedas, archivadores, equipos eléctricos y herramientas de mano con y sin motor, estetoscopios, carros de equipos médicos (bombas IV, oxímetros de pulso

etc.), dispositivos de comunicaciones, beepers médicos y a veces objetos olvidados por los pacientes o visitantes, tales como clips de papel y bolígrafos, horquillas.

Figura 15

Imagen silla succionada por potente campo magnético de 1.5 Tesla



Nota. Adaptado del Baúl Radiológico (2021),

(<http://www.elbauradiologico.com/2012/05/extincion-del-campo-magnetico-de-un.html>)

Fuerzas de torsión

Este efecto son las que están paralelas a la fuerza de traslación. Las dos están ligadas a los materiales metálicos y al campo estático generado por el equipo de RM. Los objetos atraídos reaccionan mediante la alineación paralela a las líneas de fuerza magnética que se generan por el equipo. El centro del campo generado tiene la fuerza de torsión más alto, lo que genera una gran exposición para todos los elementos contraindicados en RM-condicionales. Y muchos casos puede llegar amenazar la vida de pacientes con algunos implantes médicos.

Calentamiento térmico

Esto consiste, en el que el campo magnético estático tenderá a corrientes inducidas en cualquier material conductor, incluido los que pueden ser no metálicos. Pero, el cuerpo humano es eléctricamente conductor por naturaleza y los campos de RF pequeños generarán una corriente que absorbe el cuerpo en forma de calor. La tasa de absorción específica (SAR) para el paciente dependerá del peso corporal y el radio. El calentamiento será más prominente en la periferia del cuerpo que en su núcleo. Este efecto también variará con el tipo de IRM que se está haciendo (ángulo, frecuencia de pulso, centrifugado rápido, eco, etc.). La exposición más grave se encuentra en los puntos del eje, ya que poseen las fuerzas potenciales de torsión más altas. El uso de bobinas en las extremidades podría agravar el riesgo, pero puede ser evitado mediante el uso de relleno de espuma polimérica. Además, el seguimiento de la posición del paciente en la máquina de resonancia magnética y la proximidad a su pared interior debe incluirse en el protocolo de atención al paciente-

Seguidamente se menciona algunas recomendaciones respecto materiales compatibles o no, en resonancia magnética:

- Dispositivos seguros: no presentan riesgos para la realización de RM. Estos son de materiales no conductores, no metálicos y no ferromagnéticos y no sensible para la radiofrecuencia.
- Dispositivos Condicionales: a veces pueden contener componentes magnéticos, conductores o sensibles a la radiofrecuencia. No tienen riesgo para la realización de RM dentro de determinadas circunstancias, condicionadas por el campo magnético,

localización, configuraciones específicas del dispositivo y tiempo desde el implante.

Dispositivos inseguros: son aquellos que no pueden ser sometidos a ninguna RM, ponen en riesgo al paciente y al equipamiento en la sala de exploración.

Según Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2015), riesgos relacionados con fluidos criogénicos:

- **Rotura del tanque o fuga:** son los accidentes más graves que pueden ocurrir en la sala RM, esto se debe a que pueden producir un incendio o explosión.
- **Fuga de criogenos riesgos de:**
 - Asfixia y congelación: ni el helio ni el nitrógeno son tóxicos, pero si pueden llevar a la muerte por asfixia, debido al desplazamiento del oxígeno. Al ser, el helio menos denso que el aire, en caso de fuga asciende, reemplaza al aire, y, si es respirado, provoca asfixia y congelación. El nitrógeno es más pesado que el aire por tanto permanece en el suelo.
 - Quemaduras: provocada por contacto con gas a muy baja temperatura.
 - Explosión: el cambio que se produce del helio en estado líquido a estado gaseoso supone el aumento de 760 veces su volumen. Los cristales que separan la sala del imán de la sala del operador pueden romperse en este caso.
 - Imposibilidad de evacuación de personas: Una deficiente evacuación del helio da lugar al aumento de la presión del interior de la sala que impide abrir las puertas de acceso. Por este hecho, en la actualidad, todas las puertas de las instalaciones nuevas se abren hacia el exterior de la sala.

Dentro de este marco, el uso del helio es un factor muy significativo en los equipos de RM, debido que el uso de helio inadecuado en el equipo puede llevar a quechings no controlados, lo que resulta la liberación repentina de grandes cantidades de helio a alta presión. Esto representa riesgos significativos para la seguridad del personal y del equipo.

Extinción del campo magnético (Quench)

Toda institución que cuente, con el servicio de resonancia que contenga equipo superconductor, debe estar regido por unas normas de funcionamiento tanto para la entrada, operación y emergencia en caso de desactivación del imán. En estas instalaciones existen dos pulsadores a este fin, claramente señalizados y protegidos para que no sean accionados involuntariamente. Para detener el funcionamiento del imán y así bajar el campo se realiza la maniobra conocida como quench.

Quench

Según Artasona (2012), la palabra **QUENCH** tiene una gran variedad de significados como son: **apagar**, **extinguir**, apaciguar, calmar, sosegar, templar un metal, enfriar, etc. Es así como la misma se utiliza para describir un procedimiento físico que hace referencia a la extinción del campo magnético de un electroimán superconductor.

Como su propio nombre indica el "quenching" provoca, de una manera u otra, la extinción del campo magnético del imán, y sólo es posible en los equipos que tienen un electroimán superconductor cuya bobina está enfriada por helio líquido. El "quench" o apagado del campo magnético, puede darse de dos formas distintas (Artasona, 2012).

➤ El quench se podrá dar de las siguientes formas;

- **Quench brusco e inesperado**
- **Quench voluntario y controlado**

1. Quench brusco e inesperado: puede producirse, porque el técnico no ha comprobado los indicadores de seguridad, como el nivel de helio o la presión del compresor.

Este tipo de accidente (quench brusco e inesperado), se da cuando el tanque de helio líquido explota, lo utilizado como criogeno, ocurre la extinción brusca del magnético y la destrucción de la bobina del imán. Dejando destruido el equipo y si fuera el caso que se encontrase un paciente dentro, el corre gran peligro.

2. Quench voluntario y controlado: estos pueden llegar a estar provocados por el técnico "quench" voluntario (extinción) del campo magnético del equipo, si se da una situación límite en la que debe tomar esa decisión, en muchos de los casos se ve obligado a hacerlo por el incumplimiento de las medidas de seguridad o por alguna negligencia.

Los únicos casos en los que se debe provocar el quench son:

- a) Cuando la integridad física de una persona corre peligro, debido a un atrapamiento por un objeto ferromagnético muy pesado. Por ejemplo, que se está introduciendo al paciente dentro del túnel y la puerta de la sala abierta se encuentra abierta, y se acerca alguien con un objeto metálico de grandes dimensiones, como una camilla metálica o una bombona de oxígeno. Los dos pueden ser atraídas con fuerza por el campo magnético del imán, lo que significa que galoparan al paciente y evitara sacar a la persona de allí, se debe tener

presente que frente a un campo magnético un equipo 1.5 Tesla, no existe forma de retirar estos objetos metálicos de grandes dimensiones.

- b) Cuando hay un incendio en la sala del imán y se requiere la acción inmediata y el acceso a la sala por parte del servicio de emergencias.

Figura 16

Imagen Resonador magnético simulando gases de helio



Nota. Adaptado del Baúl Radiológico (2021),
(<http://www.elbauradiologico.com/2012/05/extincion-del-campo-magnetico-de-un.html>)

Figura 17

Imagen Resonador magnético – tubo de enfriamiento

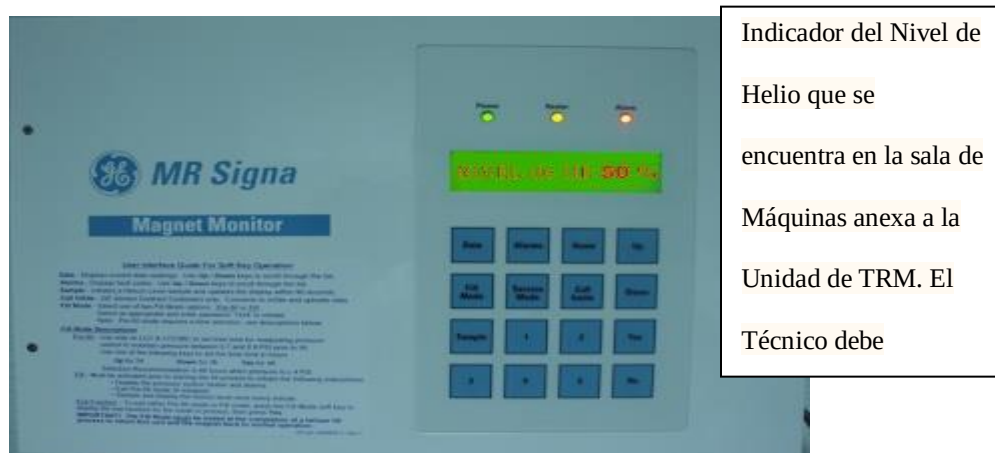


El tubo de enfriamiento del escáner (flecha azul) se prepara para conectarse al respiradero del techo (flecha verde)

Nota. Adaptada de AD Elster, ELSTER LLC, 2024, (<https://mriquestions.com/what-is-a-quench.html>)

Figura 18

Imagen -Indicador de helio



Indicador del Nivel de Helio que se encuentra en la sala de Máquinas anexa a la Unidad de TRM. El Técnico debe

Nota. Adaptado del Baúl Radiológico (2021),

(<http://www.elbaulradiologico.com/2012/05/extincion-del-campo-magnetico-de-un.html>)

En pocas palabras, es así como ante situaciones de suma urgencia se recurre al apagado del campo magnético del imán, es decir un quech controlado. Y esto, se llevará a cabo mediante el pulsador de emergencia que por lo general se encuentra en la pared lateral de la sala. Una vez oprimido el botón rojo, en menos de dos minutos el helio se evapora por la chimenea de evacuación y sale hacia el exterior formando nube blanca espesa que se alza hacia el cielo, como humareda. Fuera de estos supuestos, para realizar una reducción de intensidad del campo magnético de forma controlada, se contacta con el servicio técnico.

Figura 19

Imagen - Pulsador de emergencia (Flecha roja) para expulsar el Helio del tanque



Nota. Adaptado del Baúl Radiológico (2021),

(<http://www.elbaulradiologico.com/2012/05/extincion-del-campo-magnetico-de-un.html>)

Figura 20

Imagen del proceso de queching



Proceso de queching
que se llevó a cabo en
el New Ulm Medical
center (NUMC) debido
a que se iba a
reemplazar una
máquina de RM

Nota. Adaptado del Baúl Radiológico (2021),

(<http://www.elbaulradiologico.com/2012/05/extincion-del-campo-magnetico-de-un.html>)

El Quenching, además de ser peligroso, es increíblemente costoso. Al sufrir el resonador magnéticos daños graves durante un enfriamiento rápido, como consecuencia tiene un tiempo de inactividad prolongado y reparaciones costosas. Es así, que el equipo de RM necesitará que se recarguen sus niveles de helio, ya que una cantidad sustancial de helio habrá sido perdida y expulsada.

Capítulo 4. Resonadores magnéticos convencionales vs Resonadores magnéticos superconductores

Características generales

Los resonadores magnéticos convencionales, es el enfoque tradicional para la resonancia magnética, su principal característica es su tamaño, al ser más grande tienen un mayor consumo de energía y menos potencia en el campo magnético generado.

Los equipos convencionales pueden tener ciertas desventajas, si bien es más económico inicialmente, puede requerir más energía para funcionar y puede tener imágenes de menor calidad en comparación con las tecnologías avanzadas.

Por otro lado, los resonadores superconductores son tecnologías más avanzadas que ofrecen ventajas significativas. Es importante tener en cuenta que tanto en tamaño por lo general son equipos más compactos, más eficientes energéticamente y pueden producir campos magnéticos potentes y estables. En cuanto a su costo pueden variar según el modelo y la aplicación específica del resonador. Además, los costos pueden verse afectados por la disponibilidad de los materiales y la tecnología disponible en un determinado momento.

Diferencias y ventajas

Resonadores convencionales

- **Tamaño:** estos equipos suelen ser más grandes en tamaño debido a su diseño y a la necesidad de utilizar componentes adicionales para mantener la temperatura requerida. Estos componentes pueden ocupar más espacio físico.
- **Costo:** generalmente tienen un costo inicial más bajo en comparación con los resonadores superconductores. Esto se debe a la falta de tecnología de superconductividad y a una menor exigencia en los materiales utilizados en su fabricación. Sin embargo, a lo largo de su vida útil, los costos operativos, como el consumo de helio, pueden ser más altos debido a su mayor necesidad de enfriamiento.

Resonadores superconductores

- **Tamaño:** Estos equipos tienden a tener un tamaño más compacto en comparación con los resonadores convencionales. Esto se debe a la utilización de la tecnología de superconductividad, que permite reducir el tamaño de los componentes necesarios para su funcionamiento eficiente.
- **Costo:** suelen tener un costo inicial más elevado en comparación con los resonadores convencionales. Esto se debe a la tecnología de superconductividad utilizada y a los materiales especiales necesarios para su fabricación. Sin embargo, a largo plazo pueden resultar más económicos debido a su eficiencia energética y reducción en el consumo de helio.

Ventajas Imanes superconductivos sobre los Imanes permanentes

De Laboratorio, A. (2022), Los imanes superconductores ofrecen varias ventajas **en** espectroscopia de RMN:

Bajo consumo de energía

La creación de un campo no requiere de grandes suministros de energía de kilovatios o megavatios. Una vez que se logra el campo, la fuente de alimentación se puede apagar, ya que el mismo (campo) se vuelve auto generador en condiciones superconductoras. Esto reduce significativamente los costos de uso de electricidad.

Campos muy estables

Son posibles en intensidades de campo elevadas de 20-30 Tesla, que pueden mantenerse con desviaciones muy pequeñas. Estos campos homogéneos de alta intensidad son invaluable en espectroscopia de RMN de moléculas grandes y complejas (con pesos moleculares de hasta varios miles de daltons).

Requiere poco espacio

En comparación con los imanes permanentes y los electroimanes, los imanes superconductores ocupan un espacio más pequeño y grande.

Amplia gama de aplicaciones

Los campos estables con alta intensidad y homogeneidad permiten el estudio de algunas especies moleculares complejas, como moléculas biológicas, moléculas de descubrimiento de fármacos y estudios de resonancia magnética.

Imán sellado

Por esto, y todo lo mencionado anteriormente, las empresas comerciales con ayuda de la tecnología se encuentran en constante avances e innovaciones.

En este caso Philips (2022), ha desarrollado un Imán sellado BlueSeal, el cual permite simplificar la instalación, contar con un alto rendimiento y fiabilidad y olvidarse de probables complicaciones relacionadas con el helio. Asimismo, promover un servicio de RM ininterrumpido y eliminar su dependencia del escaso suministro de helio.

Características

Según Philips (2022), un imán sellado Philips BlueSeal;

- Imán completamente sellado diseñado para simplificar la instalación en un servicio de RM, en el cual se reduce las interrupciones prolongadas y costosas.
- Funciona con sólo siete litros de helio líquido y está completamente sellado, evitando posibles complicaciones del helio.
- Contiene menos del 0,5% de helio, en comparación con los imanes RM convencionales.

Funcionamiento

Philips (2022), utiliza una nueva tecnología de microenfriamiento altamente eficiente que requiere solo 7 litros de helio líquido para enfriar, en lugar de los 1.500 litros que usan los imanes convencionales. Esta pequeña cantidad de helio líquido se coloca en el imán y se sella completamente durante la fabricación, encerrando el precioso gas por el resto de su vida. El helio líquido no puede escapar. Esto reduce las posibles interrupciones prolongadas de los servicios de

RM debido a problemas de helio y elimina los costes de recarga de helio durante la vida útil del imán.

Figura 21

Imagen imán clásico



Nota. Adaptado de *Philips N.V2002-2002-2021(brochure-blueseal-new.pdf (philips.com))*

Figura 22

Imán sellado BlueSeal



Nota. Adaptado de *Philips N.V2004 -2024,(https://www.philips.es/healthcare/resources/landing)*

Según Philips (2004 -2024) Ubicación

Ubicación de imán clásico

En un imán clásico, se deben instalar tuberías de ventilación largas para cumplir con los requisitos de seguridad y dirigir el helio a una ventilación exterior en caso de que el imán se apague. Debido a que no puede escapar helio líquido¹, el imán Philips BlueSeal no necesita un tubo de ventilación, lo que reduce significativamente los costes de construcción en nuevas instalaciones.

Ubicación de imán BlueSeal

Con un requisito de instalación mínimo de 3.700 kg, el sistema BlueSeal es 900 kg más ligero que su predecesor.² Esto puede permitir una ubicación más fácil, reducir las adaptaciones del suelo y con ello los costes de construcción

Figura 23
Imagen - Ubicación imán clásico



Figura 24
Imagen - Ubicación imán sellado



Marco Metodológico

Tipo de investigación: cuantitativa

Universo: Hospitales de CABA

Población: Servicio de Resonancia Magnética, en Hospitales, Sanatorios, Centros De Salud, Centros de Diagnóstico por imagen.

Muestra: quince (15) resonadores magnéticos

Variabilidad

Instrumento de recolección de datos: los datos fueron obtenidos del Dpto. comercial de la de negocios de Resonancia Magnética de Philips Argentina y Siemens.

En las siguientes paginas se muestra los resultados obtenidos del análisis de gráficos y tablas de esta investigación (cualitativo), en base una muestra de quince (15) equipos, de distintas instituciones de salud que cuentan con Servicio de Resonancia Magnética en el cual se toman como indicadores: marca, magneto, incidentes, tiempo de resolución, carga de helio, costo de helio.

Gráficos y Tablas

Tabla 1**Valores base su tipo de imán, incidente y helio**

N°	Institución	Equipo	Magneto	Inc.	Tipo Inc.	Plazo	C/R en L.	Vol. en L.	Carg Inic	Carg L. 4 años	Carga Quench	Total	Costo x L. en dólares (\$35,00)
1	Swiss Medical	Philips Achieva	S	-	-	-	7	-	7	-	-	7	\$245,00
2	Clínica del Parque Cent.	Philips Ambition S	S	1	Quench	3 días	7	-	7	-	-	7	\$ 245,00
3	Hospital PAMI Hurlingham	Philips Ambition S	S	-	-	-	7	-	7	-	-	7	\$ 245,00
4	Dim Centros de Salud	Siemens Spree	S	-	-	-	7	-	7	-	-	7	\$ 245,00
5	Imágenes MDQ	Philips MR5300	S	-	-	-	7	-	7	-	-	7	\$ 245,00
6	Imágenes MDQ	Philips Achieva	Conv.	2	Objeto atraído	7 meses	1800	-	1800	2000	-	3800	\$ 133.000,00
7	Sanatorio Las Lomas	Siemens MagnetomEsse	Z	1	Quench	3 meses	2000	-	2000	2000	2000	6000	\$ 210.000,00

Nota. Esta tabla (ver tabla 1), muestra los datos tomados de las distintas instituciones (año 2023), en cual muestra la cantidad de incidentes producido en cada institución, el tiempo de resolución, la carga de helio que se realiza y el costo de este. Por consiguiente, se aclara abreviaturas utilizadas en la tabla.

Tabla 2

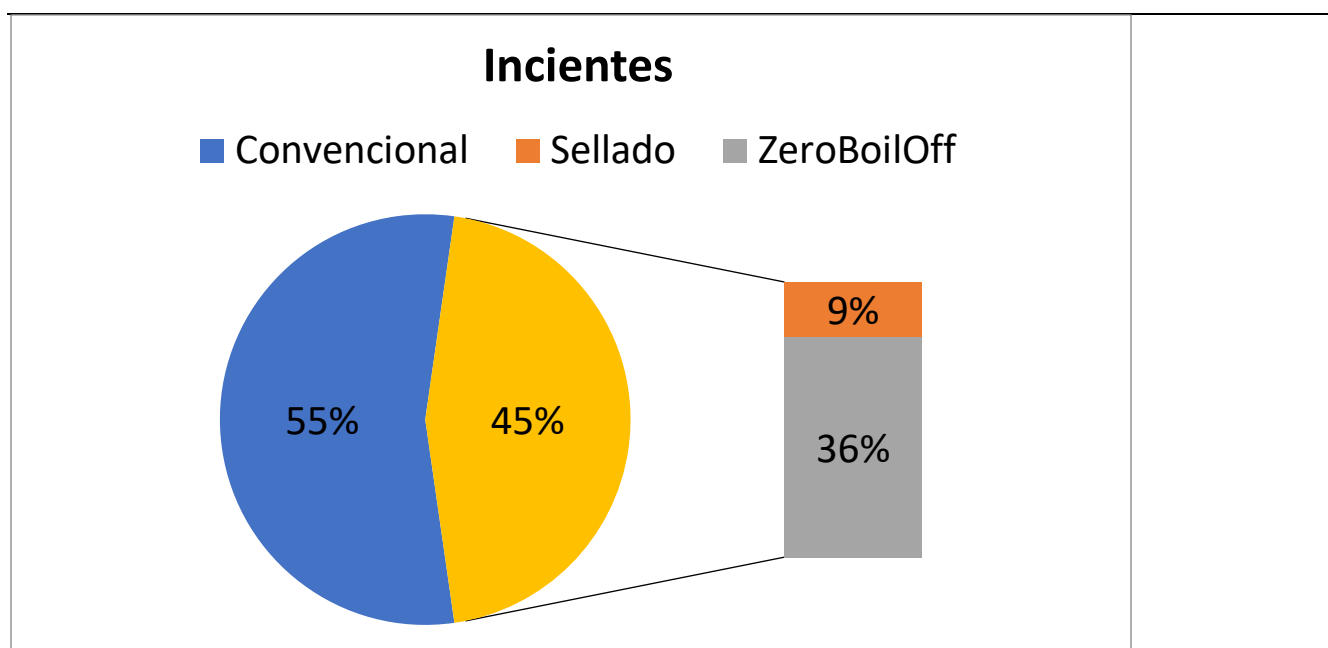
<u>Abreviaturas</u>	<u>Significado</u>
S	Sellados
Conv.	Convencional
Z	Zeroboiloff
-	Ninguno, cero (0)
C	Carga
R	Recarga
L	Litro

Nota. En esta tabla se muestra las abreviaturas y significados aplicados en la tabla anterior (ver tabla1)

Tabla 3*Imanes e incidentes*

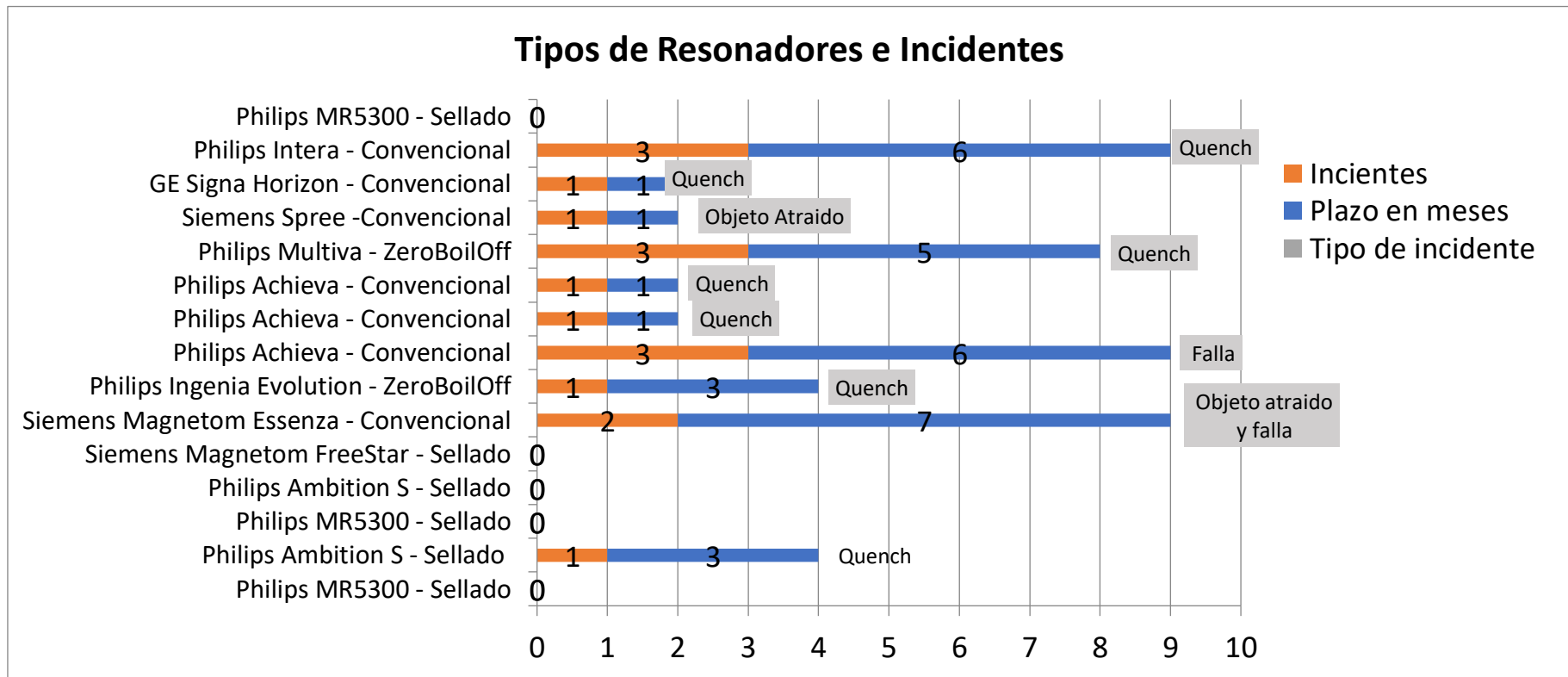
Tipo de imán	Incidentes
Convencional	6
Sellado	1
ZeroBoilOff	4

Nota. Se tomo la cantidad de incidentes acorde tipo de Imán

Gráfico 1*Incidentes acorde tipo de imán*

Nota. Gráfico 1. Se tomo valor de los imanes con mayores incidentes, en el cual del 100% el 55% de los imanes convencionales ocurren incidentes. El 36% de los resonadores con sistema ZeroBoiloff un 36%, y en los imanes sellados el 9 % de incidentes.

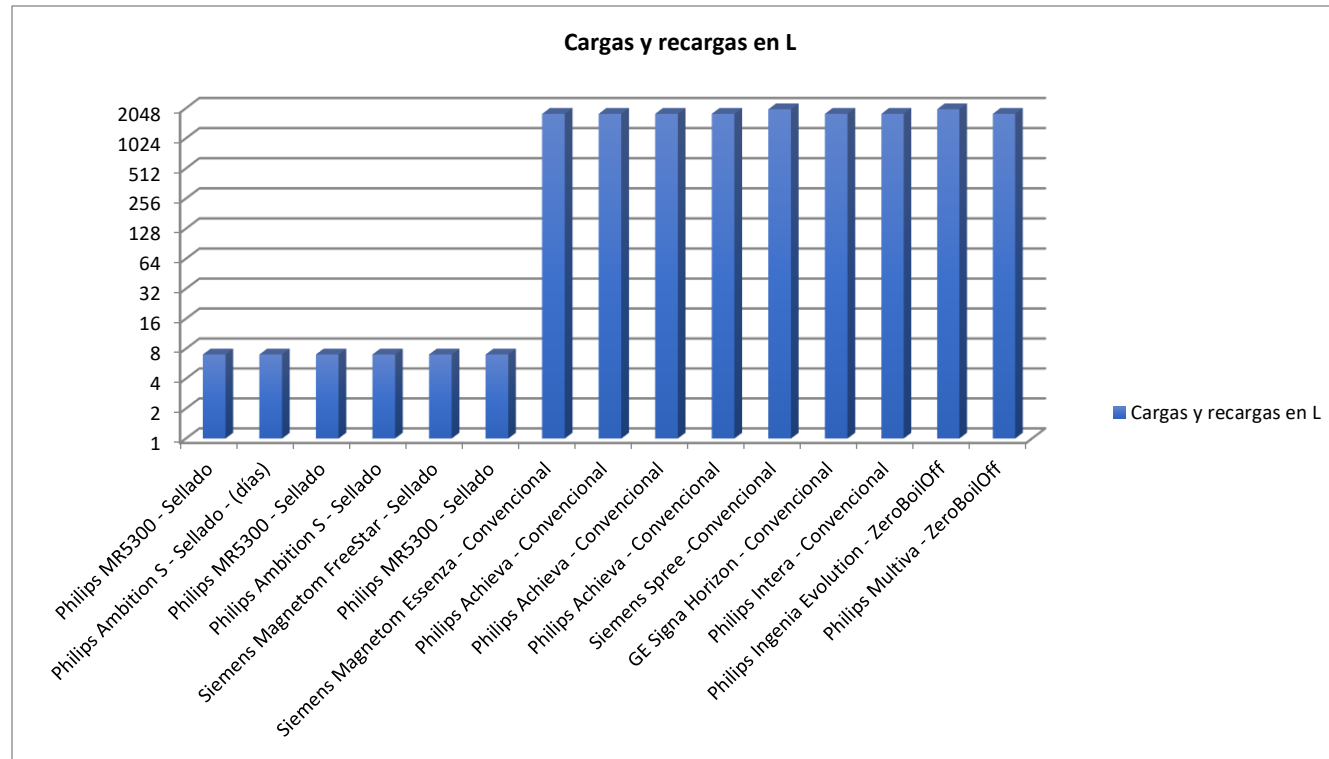
Gráfico 2



Nota. En el gráfico 2 se observan las diferentes marcas de equipos, pueden producir distintos tipos de incidentes, cuál es su tiempo de resolución. Asimismo, muestra que el mayor número de incidentes se dan en los equipos de tipo convencional, siendo así, cero números de incidentes para los equipos con magnetos sellados.

Gráfico 3

Cargas y recargas de helio en litros

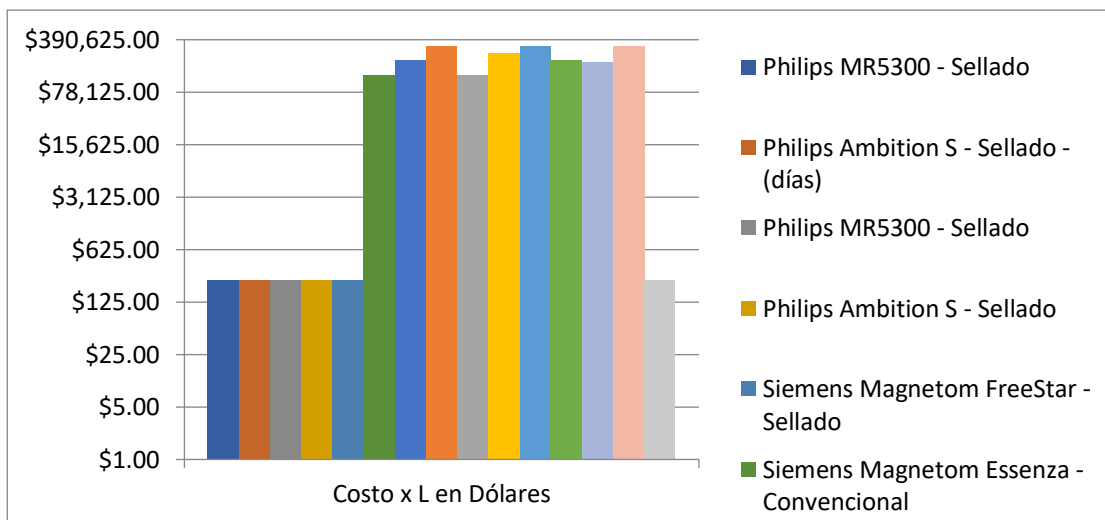


Nota. El grafico representa la carga y recarga en litros, teniendo en cuenta marca y tipo de imán. En el cual cabe mencionar acorde tabla 1, que la carga mínima es de 7 litros para los equipos con magnetos sellados, y los convencionales con 1800 y 2000 litros.

Tabla 4**Coste de helio en equipos convencionales y con imanes sellados****Tabla**

Valor máximo y mínimo del helio

VALOR MAX	\$322.000,00	CONVENCIONAL
VALOR MIN	\$245,00	SELLADO



Nota. El grafico 4 muestra un estimativo de gasto en pesos, que se realiza para los distintos equipos, el cual el gasto mayor corresponde a los equipos convencionales, teniendo el menor costo los equipos con imanes sellados

Conclusión

De acuerdo con los objetivos planteados, en esta investigación se ha podido establecer una concordancia entre la bibliográfica consultada y la muestra. En el cual se los distintos tipos de resonadores magnéticos, características propias y a su vez la importancia del helio líquido en ellos.

En este contexto, el helio se utiliza de distintas formas dependiendo del tipo de resonador. En los resonadores convencionales se requiere una cantidad significativa de helio líquido para mantener la temperatura adecuada y garantizar un funcionamiento óptimo, lo que puede resultar costoso y propenso a incidentes. Por otro lado, los resonadores superconductores utilizan helio líquido para mantener temperaturas extremadamente bajas de los imanes superconductores, lo que los hace más eficiente en términos de consumo de helio y tamaño en comparación con los resonadores convencionales.

Por lo tanto, los resonadores magnéticos superconductores con imanes sellados serán los preferidos para la resonancia magnética, debido a su eficiencia en el uso del helio y su menor propensión a incidentes. Estas características lo convierten en una opción más sostenible y rentable. Su diseño sellado reduce la necesidad de recargas frecuentes de helio y minimiza las interrupciones de proceso de resonancia magnética por fugas.

Anexo

Tabla de dimensiones Dewar

	DIMENSIONES DE DEWARS DE AIR PRODUCTS			
163 442	CMSH 250 CRYOFAB 0.81mts x 0.81 mts Base X 1.66 mts de altura SERIE 1232, 1233, 1241, 1268	altura mínima puerta porstinger corto 60" 1,90 mts altura mínima puerta por stinger largo 65" 1,95 mts	grossca pacity	275 litros
163 442	CMSH 250 CRYOFAB 0.81 mts x 0.86 mts Base X 1.73 mts de altura SERIE 94J107	altura mínima puerta por stinger corto 60" 1,95 mts altura mínima puerta por stinger largo 65" 2,00 mts	grossca pacity	275 litros
163 442	250 CHART 0.813mts x 0.83 mts Base X 1.78 mts de altura SERIE 72500	altura mínima puerta por stinger corto 60" 2,00 mts altura mínima puerta por stinger largo 65" 2,05 mts	grossca pacity	275 litros
163 541	CMSH 350 CRYOFAB 0.81 mts x 0.81 mts Base X 1.82 mts de altura SERIE 507, 508, 509 Y 510.	altura mínima puerta por stinger largo 65" 2,10 mts altura mínima puerta por stinger corto 60" 2,05 mts	grossca pacity grossca pacity	370 litros 370 litros

163	CMSH 500 CRYOFAB 1.05 mts x	altura mínima puerta por	grossca	538
552	1.05 mts Base X 1.85 mts de altura	stinger corto 60 " 2,05 mts	pacity	litros
	SERIE 715	altura mínima puerta por		
		stinger largo 65 " 2,15 mts		
163	500 CHART 1.07mts x 1.07 mts Base X	altura mínima puerta por	grossca	540
552	1.73 mts de altura	stinger corto 60" 2,00 mts	pacity	litros
	SERIE 314 RUEDAS BAJAS			
163	500 CHART 1.04 mts x 1.04 mts Base	altura mínima puerta por	grossca	540
552	X 1.78 mts de altura	stinger corto 60 " 2,00 mts	pacity	litros
	SERIE 311178	altura mínima puerta por		
		stinger largo 65" 2,10 mts		
163	500 CHART 1.20mts x 1.05 mts Base X	altura mínima puerta por	grossca	540
552	1.82 mts de altura	stinger largo 65" 2,10 mts	pacity	litros
	SERIE 7500			

Es muy importante asegurar que el envase a enviar pasará todos los pasillos y puertas en cuanto a anchos y alto desde la calle hasta el interior de la sala de Resonancia

Modelo de pedido suministro helio liquido



Garín, 19 de octubre de 2023

SMART DIAGNOSTICO SA
Entrega en Bilder Diagnostico - Quilmes
Estimado Marcelo Ladeda

ANEXO A LA OFERTA 19102023

De nuestra consideración,

Nos dirigimos a Uds. en referencia a su solicitud de suministro de Helio Liquido para proceder a cargar RESONADOR PHILIPS ACHIEVA 3 Tesla con nivel de helio ----- % al 19/10/2023 con CAMPO BAJO es decir Aproximadamente..... litros de helio liquido
En este sentido le hacemos saber que se han implementado nuevas medidas a los fines de mejorar el servicio carga de helio liquido en los resonadores de todos nuestros clientes.

Como medidas preliminares al servicio de carga del resonador un ingeniero debidamente capacitado de Indura Argentina S.A. se podrá en contacto con Uds. a los fines de requerir la siguiente información en referencia al resonador sobre el cual se prestará el servicio de carga:
Resonador:

- a) Marca, modelo y numero de serie del resonador
- b) Fecha de instalación del Resonador
- c) Empresa que realiza los servicios técnicos
- d) Fecha del ultimo servicio técnico realizado
- e) Informe del ultimo servicio técnico realizado
- f) Ultima carga de Helio Liquido realizadas
- g) Empresa que realizo la carga
- h) Curva de nivel de Helio del Resonador durante los últimos 12 meses.
- i) presión de Helio del Resonador
- j) Mantenimiento realizado, y empresa que lo realizó.

La información requerida tiene por objeto evaluar el estado general del resonador y su mantenimiento a los fines de minimizar un Evento Quench.

Sin otro particular los saludamos muy atentamente

Farm.Héctor Longo Violante
Ejecutivo de cuentas | Helio Liquido & Servicio Refill KeepCOLD Argentina
| Celular: +54 (0341) 155 486471
Ovidio Lagos 6741 - Rosario S2011 MZD | Argentina
longoh@airproducts.com
[tell me more](#)



Bibliografía

- Ad Elster, Elster Llc. (2024). *Enfriamiento Magnetico*. Obtenido de <https://Mriquestions.Com/What-Is-A-Quench.Html>
- Air Products Indura. (2023). Origen y Uso del Helio. *Fuentes Diversas del Helio del Mundo*.
- Artasona, L. M. (5 De Mayo De 2012). *El Baul del Radiologico*. Obtenido de <http://Www.Elbaulradiologico.Com/2012/05/Extincion-Del-Campo-Magnetico-De-Un.Html>
- Chatgpt-3. (2023). Adquisicion de Helio.
- Chatgpt-3.(2024), Resonadores Zeroboilloff
- Club, R. (25 De Agosto De 2017). *Radiologia Club*. Obtenido de https://Web.Facebook.Com/Radiologiaclub/Photos/A.976807339048704/1535549356507830/?Type=3&_Rdc=1&_Rdr
- Cork, A. (4 De Junio De 2013). *Capitulo IX Resonancia Magnetica*. Obtenido de <https://Es.Slideshare.Net/Alexray2/Resonancia-Magnetica-22469153>
- El Centro de Tesis, Documentos, Publicaciones y Recursos Educativos Más Amplio de la Red. (S.F.). *Resonancia Magnetica*. Obtenido de <https://Www.Monografias.Com/Trabajos106/Resonancia-Magnetica/Resonancia-Magnetica2>
- Juárez, Tabón (2019). Importancia de la Seguridad en Resonancia Magnética: https://Inis.Iaea.Org/Collection/Nclcollectionstore/_Public/51/105/51105601.Pdf

Ortega Sánchez, Mora, Sánchez,(2022), Plan de Seguridad en el Área de Resonancia Magnética:

<https://Www.Piper.Espacio-Seram.Com/Index.Php/Seram/Article/View/8401/6867>

Philips. (2024). *Imán Blueseal - La Nueva realidad de un Servicio de Rm sin Helio*. Obtenido de

<https://Www.Philips.Es/Healthcare/Resources/Landing/The-Next-Mr-Wave/Sealed-Mr-Technology#:~:Text=Philips%20ha%20desarrollado%20el%20im%C3%A1n,M%C3%A1s%20productivos%20y%20sin%20helio.&Text=Este%20revolucionario%20im%C3%A1n%20completamente%20sellado,Con%2>

Philips. (2021), brochure-blueseal-new.(philips.com)

Rinnos - Respuesta Innovadora de Servicios, S. D. (2014). *Cabeza de Enfriamiento (Cold Head)*

Parte 1. Obtenido De <https://Www.Rinnos.Com/Portal/Index.Php/Noticias>

Roater, E. (2022). *Unidad 15: Resonancia Magnética*. Recuperado El 20 De Febrero De 2024, De

<https://Filadd.Com/Doc/Unidad-No-15-Resonancia-Magnetica-Pdf-Fisica-Y>

Santamaria, L. E. (Nov De 202). *Linkedin.Com*. Obtenido De <https://Www.Linkedin.Com>

Santamaria, L. E. (24 De Febrero de 2021). *Linkedin.Com*. Obtenido De

<https://Www.Linkedin.Com/Pulse/Por-Que-La-Resonancia-Magnetica-Mri-Es-Critica-Para-Y-Santamar%C3%Ada-M/?Originalsubdomain=Es>

Santamaria, L. E. (Noviembre De 2023). *Chillers/Enfriadores para Hospitales Iha*. Obtenido de

[Linkedin.Com: https://Www.Linkedin.Com/Posts/Luis-Ed-Santamar%C3%Ada-A24567186_Chiller-Enfriador-Medicina-Activity-7055233890159849472-Cv7y/](https://Www.Linkedin.Com/Posts/Luis-Ed-Santamar%C3%Ada-A24567186_Chiller-Enfriador-Medicina-Activity-7055233890159849472-Cv7y/)

Solares, W. R. (Junio De 2013). *Diseño e Implementación de Técnicas de Mantenimiento*.

Obtenido de [Http://Biblioteca.Usac.Edu.Gt/Tesis/08/08_0836_Ea.Pdf](http://Biblioteca.Usac.Edu.Gt/Tesis/08/08_0836_Ea.Pdf)

The Round Table Foundation. (Junio De 2017). *Resonancia Magnetica*. Obtenido de

[Http://Www.Resonancia-Magnetica.Org/Ch/03-02.Html](http://Www.Resonancia-Magnetica.Org/Ch/03-02.Html)

The Round Table Foundation. (Junio De 2017). *Resonancia Magnetica "Una Introduccion Critica*

y Revisada por Pares". Obtenido de Resonancia Magnetica: [Http://Www.Resonancia-](http://Www.Resonancia-Magnetica.Org/Ch/03-02.Html)

[Magnetica.Org/Ch/03-02.Html](http://Www.Resonancia-Magnetica.Org/Ch/03-02.Html)

Zacatecas,(2019.)[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/105/51105601.p](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/51/105/51105601.pdf)

df