



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Aplicación de la Ingeniería
Eléctrica en instalaciones
para equipo médico en el
sector salud**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Eléctrico-Electrónico

P R E S E N T A

César Rodrigo Morales Cruz

ASESORA DE INFORME

Dra. Lourdes Martínez López



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019

Índice

Introducción	1
Información general	4
Breve historia de la empresa	5
Descripción y funciones de mi puesto	6
Normas y lineamientos para instalaciones eléctricas en dependencias del sector salud	7
Instalación de equipo de Resonancia Magnética MAGNETOM Aera	8
Características de los equipos de Resonancia Magnética (RM).....	8
Medidas de seguridad para el uso de equipos de Resonancia Magnética	9
Análisis de características eléctricas del equipo de RM contenidas en su Guía Mecánica	11
Datos obtenidos de levantamiento en sitio	13
Cálculo del conductor para la alimentación del equipo de RM	15
Cálculo de la tubería para cableado eléctrico	19
Selección de protecciones.....	20
Diseño e implementación de sistema de Tierra Física para equipo de resonancia magnética	23
Características de conexión y distribución de la energía eléctrica para equipo de RM	29
Planeación de actividades y análisis de resultados	36
Conclusiones	39
Referencias	40

Introducción

La Ingeniería Eléctrica es una profesión enfocada a la utilización y administración de los recursos naturales y desarrollo de tecnología referente a:

- Equipo eléctrico.
- Redes eléctricas.
- Sistemas de control y generación de energía eléctrica.
- Sistemas de transmisión.
- Calidad de la energía.
- Optimización y uso eficiente de recursos económicos, naturales, materiales y humanos destinados a cualquier proyecto en dicha área.

Las aplicaciones que tiene la ingeniería eléctrica son diversas, por tal motivo, las habilidades y criterios con los que cuenta el ingeniero eléctrico se desarrollan por medio de su experiencia en campo y haciendo uso de sus conocimientos para dar solución a un problema o lograr satisfacer alguna necesidad permitiéndole profundizar en el desarrollo de la ingeniería eléctrica en áreas de su interés.

El objetivo del presente trabajo es mostrar las aplicaciones que tiene la ingeniería eléctrica para la instalación de equipos médicos en dependencias del sector salud, así mismo, se describen los métodos y criterios utilizados en cada una de las actividades que realicé de manera profesional durante mi periodo laboral.

El diseño e implementación de instalaciones eléctricas destinadas al suministro de energía para equipos con fines de aplicaciones médicas, como son resonancias magnéticas o equipos de diagnóstico por Rayos X, no difieren mucho de las instalaciones para uso industrial. Los criterios utilizados para el desarrollo de dichas instalaciones se complementan en aquellos puntos donde el fabricante del equipo requiera de una configuración y conexión específica del equipo eléctrico instalado en sala, así como la configuración del sistema de tierra física del cual hablaré más adelante.

Durante el desarrollo de cada proyecto, en los que estuve involucrado, los factores a cuidar fueron los recursos materiales y humanos con los que contaba, para esto, uno de mis objetivos como profesionista fue mejorar mis prácticas laborales y las de mi personal a cargo para tener un mejor uso y control de los recursos destinados a cada tarea asignada, de igual forma me enfoqué en mejorar los tiempos de respuesta y entrega de cada trabajo supervisando la ejecución de los mismos y, al finalizar cada trabajo, cerciorarme que se cumplieran las condiciones físicas y funcionales de la instalación eléctrica, los requerimientos técnicos y necesidades solicitadas por la institución médica, las especificaciones requeridas por el fabricante del equipo con respecto a normas existentes para el desarrollo y diseño de instalaciones eléctricas en México.

Cabe mencionar que cada proyecto, orden de trabajo o incidencia por atender, requiere de otras áreas para dar seguimiento y solución a la necesidad solicitada, por tal motivo, el área eléctrica dentro de la empresa trabaja en conjunto con otras áreas, logrando así que los trabajos solicitados se cumplan

satisfactoriamente. La empresa donde laboré se conforma por distintas gerencias las cuales juegan un papel importante en el desarrollo de cada proyecto, desde su gestión y autorización, hasta su implementación.

Cada gerencia cuenta con un organigrama que le permite definir las actividades de sus integrantes. La gerencia de **Adecuaciones**, a la que pertencí, cuenta con el organigrama mostrado en la Figura 1, aquí se muestra la cantidad de elementos que lo conforman y señala el puesto que tuve dentro de la misma.

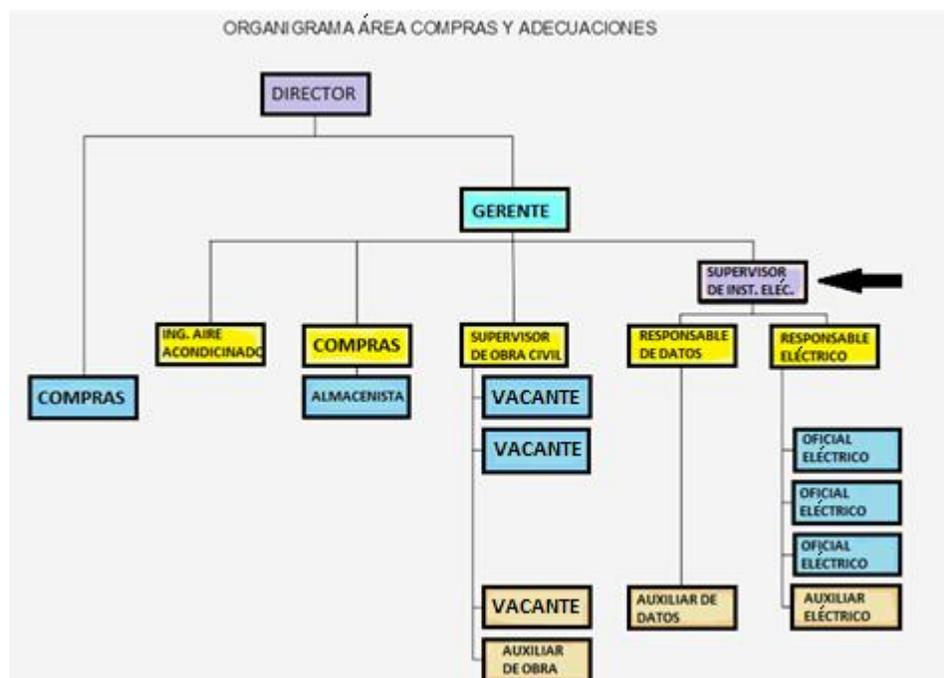


Figura 1. Organigrama de gerencia de Adecuaciones.

La función de cada uno de los elementos con los que trabajé para el cumplimiento de mis actividades fue la siguiente:

Director de compras: Es el encargado de autorizar toda compra ya sea de material, herramienta, equipo de seguridad o servicio externo a la empresa que se requiera para la ejecución de cada proyecto, incidencia u orden de trabajo.

Gerente de Adecuaciones: Su función es gestionar recursos materiales o humanos de acuerdo a las incidencias, ordenes de trabajo o proyectos de implementación asignadas por el área correspondiente, siguiendo la metodología de administración de proyecto, así mismo da seguimiento, con los supervisores de cada área, a las actividades asignadas, resuelve las necesidades internas de la gerencia y se encarga de planear las actividades de acuerdo a las necesidades de la empresa.

Supervisor de instalaciones eléctricas (puesto que desempeñé): En este puesto las tareas a realizar son diversas, ya que su trabajo no consiste en hacer únicamente supervisión, levantamientos o cálculos

referentes a instalaciones eléctricas. El supervisor maneja personal interno y, dentro de sus actividades se encuentra la organización del mismo, gestión de herramienta, recursos materiales y económicos para su equipo de trabajo, revisión y control de materiales solicitados, desarrollo de logística para la ejecución de las tareas asignadas, supervisión de avances, ya sea personalmente o con el apoyo de sus responsables de área eléctrica y de datos para generar análisis de resultados.

Responsable eléctrico: Además de su trabajo como instalador, también se encarga de supervisar en obra que las instalaciones se realicen de manera correcta, realiza, con el apoyo del supervisor de área eléctrica, el asesoramiento técnico a oficiales y auxiliares, apoya al supervisor verificando que las actividades se realicen de acuerdo a lo planeado, se encarga de proporcionar los diagnósticos técnicos conforme a las eventualidades que se presenten.

Responsable de datos: Sus actividades son similares a las del Responsable Eléctrico con la diferencia que su trabajo se canaliza a la parte técnica de cableado estructurado, datos e instalación eléctrica a baja escala.

Oficial eléctrico: Es el encargado de implementar en campo la instalación eléctrica o cableado estructurado con el apoyo de sus auxiliares.

Auxiliar (datos, eléctrico u obra civil): Apoya a los oficiales en realizar los trabajos asignados, también se encarga de ejecutar trabajos menores en el área eléctrica o de datos.

Como se puede observar en la Figura 1, también existen otras áreas que intervienen para el desarrollo de un proyecto. A continuación proporciono una breve explicación de cada una de ellas.

Supervisor de obra civil: realiza, con apoyo de proveedores y contratistas, las adecuaciones y acabados de las áreas asignadas para cada sala, realiza levantamientos arquitectónicos en sitio y se encarga de la supervisión y cierre de trabajos de obra civil en cada proyecto, incidencia u orden de trabajo asignada.

Compras: Gestiona materiales, equipo y/o servicios solicitados por proyecto, lleva a cabo control financiero por proyecto, realiza el pago de servicios brindados por proveedores a la empresa, se apoya con el encargado del almacén para la llegada de material y el suministro.

Ingeniero de Aire Acondicionado: Realiza la gestión y organización de proveedores para la instalación, mantenimiento correctivo o preventivo de equipos de aire acondicionado necesarios en áreas de servidores (SITE) o salas médicas para su correcto funcionamiento.

Antes de continuar, es preciso mencionar que la complejidad de todas las acciones realizadas para la gestión y aprobación de los proyectos es muy amplia, por tal motivo me limitaré en explicar de manera general el proceso para llegar a la aprobación de los mismos, entrando en detalles hasta el punto donde comenzó mi labor y me mantuve involucrado directamente en el proyecto.

Información general

Para concretar la implementación de un proyecto en alguna o varias dependencias de sector salud, si la necesidad nace de una licitación, se procede a la participación acorde a las bases en las cuales se indican las necesidades y requerimientos del equipo, de acuerdo con el servicio que pretenda ofrecer o mejorar la institución médica, por otro lado, si la adjudicación es directa y conforme a un contrato vigente que se tenga con el instituto, se procede a la entrega de la información y propuesta económica.

Para los proyectos contratados por la empresa dentro del sector salud se requiere conocer las necesidades de cada uno de ellos, por tal motivo, los administradores de clínicas u hospitales, en conjunto con los delegados de cada zona de la República Mexicana donde se requiera un equipo médico, para brindar un mejor servicio a los usuarios, determinan por medio de un proceso de licitación o de adjudicación directa quien o quienes estarán involucrados para realizar dicho proyecto.

Una vez adjudicado el proyecto a la empresa, un grupo de ingenieros, arquitectos, personal administrativo, entre otros, lo analizan y elaboran la planeación de los trabajos correspondientes.

La gerencia de Adecuaciones, realiza un estudio minucioso para conocer las condiciones actuales del hospital o clínica con el fin de conocer las adecuaciones a realizar de acuerdo a los requerimientos del equipo y necesidades de la institución médica. Una vez concluido el levantamiento del sitio donde se instalará el equipo, se proporciona la información al fabricante del equipo quien se encarga de generar los planos de proyecto y Guías Mecánicas conforme a los requerimientos de la instalación.

Todas las áreas que integran la gerencia de Adecuaciones, al igual que las áreas que integran a las gerencias involucradas en el proyecto, realizan su trabajo de acuerdo a la programación establecida. Como supervisor de instalaciones eléctricas, el primer paso, antes de comenzar con la implementación de la instalación eléctrica para el equipo, fue hacer una revisión minuciosa de la Guía Mecánica proporcionada por el fabricante, analizando detalladamente todas las características eléctricas del equipo, así como las configuraciones de conexión y distribución de la energía eléctrica dentro de la sala.

Con los datos proporcionados por la guía mecánica y fichas técnicas del equipo a instalar, el siguiente paso fue realizar una o varias visitas a la institución médica para recabar información que me permitió conocer los puntos de conexión, las características de la instalación eléctrica actual de la clínica u hospital, la trayectoria de la canalización del cableado eléctrico y las condiciones de las áreas aledañas a la sala destinada para el equipo, ya que nuestro trabajo podía interferir con los servicios ofrecidos por la institución médica en otras áreas o en ocasiones poner en riesgo la seguridad de personal y pacientes.

Una vez analizada la información proporcionada por el fabricante y conociendo las configuraciones y necesidades eléctricas del equipo, realicé, por medio de la metodología que describiré más adelante, el proceso de dimensionamiento y determinación de materiales, recursos financieros y personal involucrado para llevar a cabo la implementación de la instalación eléctrica. Durante el desarrollo de este documento describiré las actividades y procesos realizados que me permitieron cumplir con el objetivo en cada instalación.

Breve historia de la empresa

Es una empresa con muchos años de experiencia en la venta, renta e implementación de soluciones integrales en el sector salud, que mejoran la eficiencia, calidad y seguridad en la atención de los pacientes a través de la sinergia de diagnóstico por imagen, conocimiento clínico y tecnología de la información.

SU MISIÓN:

Mejorar el acceso de la población mexicana a los sistemas de salud entendiendo la necesidad básica de cada hospital, clínica o centro de salud, ya sea público o privado, con el fin de ofrecerles acceso a tecnología de punta, soluciones, modalidades y servicios a través de esquemas financieros innovadores o esquemas de coinversión.

Esta empresa ha desarrollado a través de los años una evolución tecnológica en los institutos médicos donde se encuentra presente, logrando una mejora en los procesos de diagnóstico los cuales hace cada día más precisos por medio de la introducción de tecnología de punta a sus diversas modalidades, equipos médicos y capacitación de su personal operativo.

Descripción y funciones de mi puesto

La empresa donde laboré, se dedica al desarrollo de soluciones integrales e instalación de equipo médico en dependencias del sector salud en México, en la misma me desempeñé como Supervisor de Instalaciones Eléctricas, mis actividades fueron diversas y tuve la oportunidad de aplicar mis conocimientos a nivel teórico y práctico en el dimensionamiento y diseño de instalaciones eléctricas.

Pertencí al departamento de **Adecuaciones** que realiza los trabajos de instalaciones eléctricas, obra civil, instalación de sistemas de aire acondicionado, control y manejo de presupuestos y otras funciones necesarias para el desarrollo de estos trabajos.

En el área eléctrica, tuve la oportunidad de ser partícipe en la planeación, implementación y puesta en marcha de las instalaciones eléctricas para los equipos médicos instalados durante mi supervisión. Mis actividades se desarrollaron de la siguiente manera:

- Revisión de los requerimientos eléctricos del equipo médico a instalar por medio de sus fichas técnicas.
- Levantamiento eléctrico y arquitectónico en sitio.
- Análisis de las Guías Mecánicas proporcionadas por el fabricante del equipo.
- Revisión de las condiciones físicas y funcionales de la instalación eléctrica de la institución médica.
- Dimensionamiento de materiales, equipos, conductores, protecciones y todo lo necesario para realizar la instalación eléctrica del equipo de acuerdo a criterios establecidos en la **NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)** y, bajo lineamientos internos del sector salud.
- Planeación del proyecto y organización de personal para la implementación de la instalación eléctrica.
- Monitoreo y análisis de resultados.

En cada una de las actividades antes mencionadas, apliqué mis conocimientos como ingeniero eléctrico en los proyectos desarrollados durante mi periodo laboral, permitiéndome ampliar mi enfoque como profesionalista adquiriendo experiencia en la planeación y gestión de proyectos.

En las siguientes páginas describo, de manera detallada, cada una de mis actividades y la importancia que tuvieron todas ellas para la correcta ejecución de los proyectos asignados y la aplicación de la ingeniería eléctrica para el desarrollo de los mismos.

Como referencia tomo como ejemplo el proceso para la instalación eléctrica de un equipo de Resonancia Magnética, describiendo las características del equipo, la metodología para el desarrollo e implementación de la instalación eléctrica, así como los inconvenientes encontrados durante la ejecución de los trabajos y su solución.

Normas y lineamientos para instalaciones eléctricas en dependencias del sector salud

Las instituciones médicas tienen distintos criterios que intervienen con el desarrollo de instalaciones eléctricas dentro de sus unidades, la mayoría conforme a su normativa que establece las disposiciones generales de conservación del inmueble de acuerdo a la dependencia del sector salud a la que pertenezca, sea pública o privada.

Los ingenieros y encargados de conservación y mantenimiento en los diferentes hospitales y clínicas, se encargan de solicitar los requerimientos técnicos y de seguridad que debe cumplir la nueva instalación eléctrica para el funcionamiento de los distintos equipos médicos instalados en el instituto. Los cálculos, dimensionamiento, selección de materiales y demás componentes y recursos necesarios para la instalación, son responsabilidad del personal del área eléctrica encargada del desarrollo del proyecto.

Para una instalación eléctrica destinada al suministro de energía a equipos de resonancia magnética, no se cuenta con lineamientos específicos que establezcan estándares exclusivos para el desarrollo de la misma, el fabricante del equipo de RM¹ solicita que se realice conforme a los lineamientos para el desarrollo de instalaciones eléctricas en México y bajo requerimientos solicitados por la institución médica donde se instala el equipo.

En las instalaciones eléctricas destinadas para equipos en salas de diagnóstico médico, la mayoría de los institutos utilizan los estándares marcados en la Norma Oficial Mexicana **NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización)**.

Dentro de las salas, y en especial dentro del cuarto de máquinas donde se albergan los tableros de fuerza y los gabinetes de electrónica conectados al equipo de RM, el fabricante del equipo médico establece el tipo de conexión requerido, la ubicación de tableros, protecciones y tipos de canalización a utilizar dentro de las diversas áreas.

El resto de la instalación eléctrica para la alimentación de los equipos médicos se realiza acorde a los lineamientos establecidos en la **NOM-001-SEDE-2012** conforme a las necesidades de cada equipo. Durante el avance en este trabajo se marcan los diferentes artículos y el contenido en cada uno de ellos para el diseño e implementación de la instalación eléctrica para un equipo de resonancia magnética.

¹Siglas de Resonancia Magnética.

Instalación de equipo de Resonancia Magnética MAGNETOM Aera

Características de los equipos de Resonancia Magnética (RM)

El área de Resonancia Magnética es uno de los apoyos más importantes para brindar atención de la más alta calidad a pacientes de un instituto médico, por tratarse de un equipo que incluye la tecnología más avanzada desarrollada para estudios del corazón, además de contar con los dispositivos necesarios para realizar exploraciones de las estructuras internas de todo el cuerpo.

A pesar de las evidentes ventajas que brinda el disponer de este recurso, su utilización debe tener indicaciones médicas precisas y ordenadas por los altos costos que implica, tanto para los pacientes como para el instituto.

La resonancia magnética es el procedimiento de diagnóstico por imagen más avanzado y cuyas aportaciones han generado cambios substanciales en la precisión diagnóstica, mejorando las decisiones terapéuticas de manera precisa, aun en etapas iniciales de la patología.

Este método de estudio no utiliza radiación ionizante (rayos X), sino un campo electromagnético, indoloro y superconductor, mediante el cual pueden explorarse las diferentes partes del cuerpo humano y obtener imágenes de alta calidad. La exploración se realiza en un cuarto especial protegido de cualquier interferencia magnética o de radiofrecuencia provenientes del exterior.

La generación de imágenes, mediante resonancia magnética, se basa en la captación de ondas de radiofrecuencia procedentes de la estimulación de la materia que ha estado sometida previamente a la acción de un campo electromagnético, que en el caso para un imán de 1.5 Tesla, es equivalente a 15 mil veces el campo magnético de la tierra. Este campo alinea los protones contenidos en los átomos de hidrogeno de los tejidos. A su vez, se irradian pulsos de radiofrecuencia hacia el área del organismo que se está examinando por medio de una bobina cambiando su orientación, logrando una nueva alineación. Al interrumpir el pulso, los protones vuelven a su posición original de relajación liberando energía y emitiendo señales de radio que son captadas por un receptor y analizadas por un ordenador que las convierte en imágenes, las cuales son revisadas posteriormente por el médico especialista para su interpretación a detalle. Éste método permite ver el interior de un organismo sin necesidad de utilizar métodos invasivos.

La resonancia magnética se utiliza para examinar el interior de diversas partes del cuerpo, desde la cabeza hasta las extremidades. Sus aplicaciones con fines de diagnóstico son numerosas, en especial en neurología, cardiología, ortopedia, mama, abdomen, sistema vascular periférico, etcétera.

La resonancia magnética permite hacer la valoración y diagnóstico de diferentes padecimientos y alteraciones corporales:

- Del sistema nervioso central.
- En padecimientos de ojos, oídos, senos paranasales, boca y garganta.

- Para valoración de alguna alteración en áreas como son cara, cuello y cabeza.
- En enfermedades que involucren al abdomen o tórax, pulmones, hígado, páncreas, riñones útero, ovarios, etcétera.
- Para evaluación de tumores de cualquier tipo.
- Lesiones óseas y musculares.
- Alteración de venas y arterias.
- En el área del corazón es posible realizar un estudio dinámico que permite obtener una expresión gráfica adicional en video.

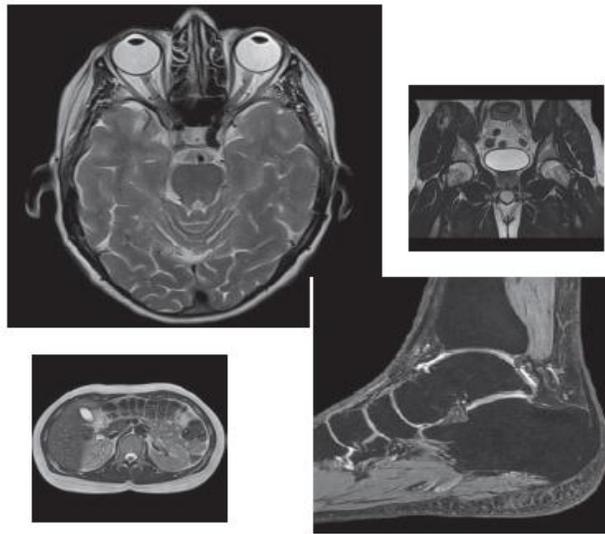


Figura 2. Imágenes de diferentes partes del cuerpo realizadas con equipo de Resonancia Magnética.

Los estudios por medio de resonancia magnética se pueden efectuar en pacientes de cualquier edad.

Medidas de seguridad para el uso de equipos de Resonancia Magnética

El utilizar un imán tan poderoso en los equipos de resonancia magnética conlleva tomar ciertas medidas de precaución:

- Dentro del área de procedimientos no se deberá llevar tarjetas con banda magnética, relojes mecánicos, lentes, pasadores, llaves, teléfonos celulares, aparatos auditivos y en general cualquier metal.
- Tampoco se podrá introducir camillas o sillas de ruedas ferromagnéticas, tanques de oxígeno, bombas de infusión, tripies, instrumental quirúrgico, clips de aneurisma cerebral y marcapasos.
- En pacientes que sufrieron alguna intervención por osteosíntesis se recomienda hacer una valoración previa antes de realizar cualquier estudio por resonancia magnética.

De acuerdo con la Guía Mecánica del equipo de resonancia magnética, existen varios niveles en la intensidad del campo magnético producido, tal como se muestra en la Figura 3, estos valores de campo magnético, que se propagan de acuerdo a la orientación que tenga el equipo dentro de la sala de exploración, permiten visualizar la distribución de las líneas de fuerza del campo dentro de la sala.

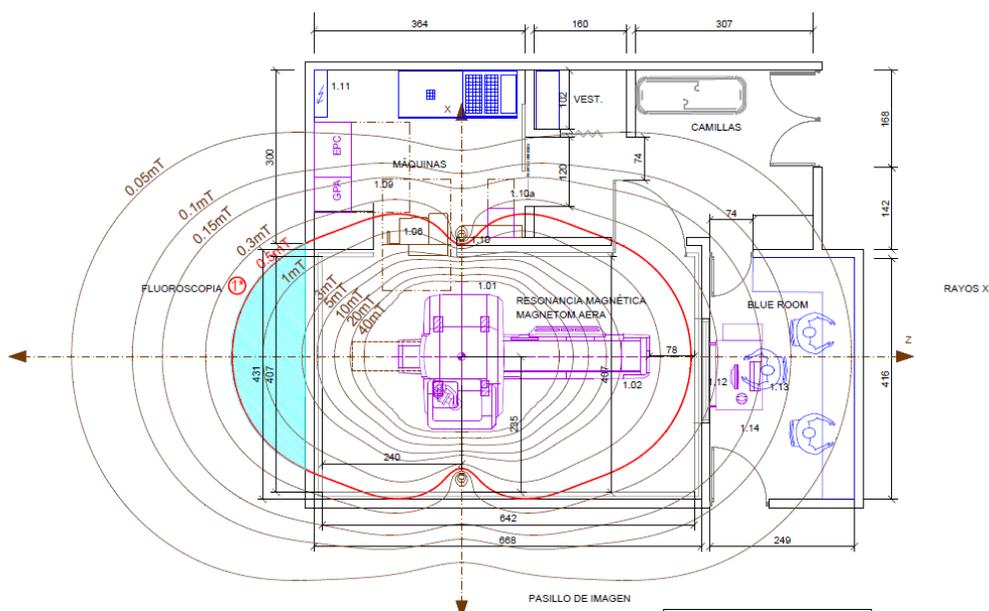


Figura 3. Niveles de intensidad del campo magnético dentro y fuera de la sala de exploración.

La protección que tiene cada área contra los efectos del campo magnético generado por el equipo de resonancia se establece de acuerdo con las indicaciones del fabricante del equipo, para el caso de la sala de exploración, la línea de campo marcada en color rojo de la Figura 3 delimita el área mínima con la que debe contar dicha área. En ocasiones el hospital o clínica no cuenta con el espacio suficiente para cumplir con este requisito, por tal motivo, en los casos en que la línea de 0.5 mT quede fuera de los límites de la cabina de exploración, se recomienda proteger con un blindaje que reduzca los niveles del campo magnético en las áreas donde se vea afectado equipo eléctrico y electrónico de uso especial o lugares donde pueda transitar personal y pacientes que cuenten con algún dispositivo de asistencia cardiaca. Además del área mínima delimitada por la línea de campo magnético de 0.5 mT, es recomendable contar con una distancia mayor a 2.5m alrededor del equipo con respecto al isocentro, esto implica que el lado menor de la sala de exploración no sea menor a 5m, el lado mayor depende directamente de la longitud de la camilla de exploración más la distancia mínima de seguridad recomendada por el fabricante del equipo a los pies de la camilla.

Fuera de la sala de resonancia magnética es indispensable que aquellas zonas donde el campo magnético de 0.05 mT, delimitado por la línea de campo exterior en la Figura 3, se coloquen señalizaciones que adviertan de la existencia de campo magnético para evitar que personas con dispositivos de asistencia cardiaca se encuentren por tiempos prolongados en estas zonas.

Otra característica de la sala de exploración es que se encuentra delimitada por una cabina metálica conocida como Jaula de Faraday construida de láminas de cobre o acero inoxidable, dicha jaula se debe conectar en un solo punto al sistema de tierra física diseñada y construida especialmente para el equipo de resonancia magnética. El principal propósito de la Jaula de Faraday es evitar que señales de radiofrecuencia del exterior pasen al interior de la sala de exploración generando un mal funcionamiento del equipo o distorsión en el estudio realizado al paciente por la intromisión de ruido eléctrico, también evita que señales generadas en la cabina de exploración se dispersen al exterior afectando algún otro sistema aledaño.

Debido a que la resonancia magnética requiere el uso de Helio en estado líquido como un medio refrigerante para que los superconductores del magneto funcionen correctamente, es indispensable contar con una ruta de escape controlada, en caso de presentarse una reacción de gasificación, ya que, al inhalar suficiente Helio de forma tal que remplace al oxígeno necesario para la respiración puede provocar asfixia, para esto se coloca como medida de seguridad un tubo de escape, conocido también como tubo de Quench, construido con un metal **no magnético** que canaliza al gas de Helio hasta una zona segura donde no afecte a pacientes o usuarios del equipo de resonancia, el punto de escape del tubo de Quench debe estar a una distancia suficientemente lejana de aquellos lugares o áreas comunes donde se encuentren personas, a una altura no menor a 5m y al aire libre.

En áreas como son el cuarto eléctrico, vestidor, área de camillas y sala de control se recomienda que los equipos electrónicos como ordenadores, monitores, sistemas de regulación y control de energía eléctrica entre otros, queden fuera de la línea de campo de 0.5 mT para evitar un mal funcionamiento o alguna alteración del campo magnético. En las puertas de acceso al cuarto de máquinas y sala de exploración se debe contar con la señalización correspondiente que advierta de la existencia de un campo magnético fuerte, además el acceso a estas áreas debe ser controlado permitiendo la entrada solo a personal autorizado.

Análisis de características eléctricas del equipo de RM contenidas en su Guía Mecánica

El equipo de RM instalado fue un MAGNETOM Aera de 1.5 Tesla, sus parámetros eléctricos contenidos en la Guía Mecánica del proyecto son los mostrados en la Figura 4.

MAGNETOM AERA					
Alimentación:	3/N/TE AC 50/60 Hz ± 1 Hz	Connection value:	Sistema XJ Gradientes	Chiller	480 V
Voltaje:	480 V ± 10 %		85 kVA	48 kVA	
Interruptor en tableros:	150 A	Power consumption:			
Desbalanceo entre Fases:	max. 2 %	for time up to <3 s: 75 kVA	Stand-by: 8.2 kVA		

Figura 4. Parámetros eléctricos del equipo de resonancia magnética.

Estos valores son importantes para el diseño de la instalación eléctrica del equipo. De acuerdo con los valores de conexión marcados en la tabla de la Figura 4, existen dos sistemas los cuales definen el valor de conexión solicitado para el equipo, el primero de ellos es el sistema de gradientes magnéticos el cual se encarga de generar campos magnéticos de diferentes valores y direcciones (X, Y, Z) en cada elemento de volumen, el segundo sistema es el equipo de refrigeración y control de temperatura Chiller.

Los valores de conexión de cada sistema son los siguientes:

Sistema XJ Gradientes = 85 KVA

Sistema de enfriamiento Chiller= 48 KVA

Dando un valor final 133 KVA como demanda máxima inicial.

Otro dato importante es la tensión de operación, el equipo de resonancia magnética requiere una tensión de 480 Vca con un margen de variación del 10% por encima del valor nominal y un 10% por debajo del valor nominal, dando como resultado los siguientes valores:

Tensión máxima de operación = $480 * 1.1 = 528$ V

Tensión nominal de operación 480 V

Tensión mínima de operación = $480 * 0.9 = 432$ V

Los valores máximo y mínimo de la tensión de operación determinan el margen en que puede trabajar el equipo sin sufrir alguna interrupción del servicio, de acuerdo con su ficha técnica. Por cuestiones de seguridad y garantía del equipo, el fabricante solicita que la alimentación se encuentre muy cercana a los 480 V y solo en condiciones extraordinarias trabajar dentro de los márgenes máximos y mínimos permitidos.

El siguiente dato que se puede obtener de la tabla es el tipo de conexión que requiere el equipo, si observamos en la parte superior izquierda de la Figura 4, encontramos la siguiente información:

3/N/TE 50/60 Hz ± 1 Hz.

Esto nos dice que el equipo requiere una conexión en estrella, 3 fases más neutro y tierra física electrónica (tierra aislada). La frecuencia de la señal de alimentación en México es de 60 Hz.

Revisando ahora la sección para la instalación eléctrica del sistema de enfriamiento Chiller se encuentran los valores mostrados en la Figura 5.

Water ECO-chiller KKT Krauss	
<p>El chiller podrá fijarse sobre una base de concreto pulido, nivelada y libre de imperfecciones. En su sitio de instalación deberá preverse una área perimetral libre de 1 metro para servicio.</p>	
Requerimientos eléctricos - KKT chiller	
Valor de conexión:	21 kW (27kVA)
Voltage:	440 V a 480 V; 60 Hz
Fusibles:	63 A
Consumo:	58.5 A (60 Hz)

Figura 5. Valores de conexión y tensión de operación para CHILLER KKT 120L Krauss.

Para el Chiller modelo KKT 120L Krauss recomendado en la Guía Mecánica, el cual sería instalado con la resonancia magnética, corresponde un valor de conexión de 27 KVA, a 480 Vca, el valor de conexión inicial de 48 KVA marcado en la tabla de la Figura 4 corresponde al modelo KKT 215L Krauss. Conociendo lo anterior pude determinar de manera más precisa la demanda máxima requerida por el equipo de resonancia dando como resultado:

$$KVA_{\max} = 85 \text{ KVA (Sistema XJ Gradientes)} + 27 \text{ KVA (Chiller)} = 112 \text{ KVA}$$

En la sección de respaldo de energía eléctrica para el equipo de RM, se dimensionó por parte del fabricante un sistema UPS de 160 KVA a 480 Vca que, en caso de interrupción del servicio eléctrico, mantendría funcionando los sistemas críticos de la resonancia magnética.

Datos obtenidos de levantamiento en sitio

Durante el levantamiento que realicé en la institución médica pude detectar algunas anomalías en su instalación eléctrica, la primera de ellas fue que lamentablemente ya no se contaba con el diagrama unifilar y cuadros de cargas de su instalación, por tal motivo se desconocía la distribución de cargas en sus tableros y la demanda energética en cada uno de ellos.

No contaban con bitácoras de mantenimiento a tableros, transformadores y sistemas de tierra física, tampoco se tenían planos de las instalaciones originales y mucho menos de las remodelaciones realizadas, no se contaba con un estudio de la calidad de la energía y no se conocía su demanda energética total, por estas razones, el personal de mantenimiento y conservación de la institución médica asignó un lugar disponible y seguro para hacer la conexión del alimentador eléctrico para el equipo de resonancia.

En el sitio asignado se cuenta con un transformador de 300 KVA con tensión de operación de 13 800-380/220 Vca conectado a una subestación compacta la cual se alimenta desde la subestación central ubicada en el sótano del hospital y que trabaja con un nivel de media tensión.

El transformador de 300 KVA suministra energía eléctrica a una sala de tomografía por medio de un transformador conectado en su terminal de baja tensión a una potencia de 112.5 KVA.

La distancia desde el transformador de 300 KVA hasta la sala es de 75 metros y la trayectoria para la tubería de alimentación eléctrica para la sala de RM tiene una longitud expuesta a intemperie de 50 metros aproximadamente. Para la tierra física requerida por el equipo, el jardín más cercano para la instalación de la misma se encuentra a 20 metros de distancia.

Conociendo las condiciones físicas de la instalación eléctrica del hospital y la potencia disponible pude hacer las siguientes estimaciones para saber, a grandes rasgos, lo que requería para entregar la energía eléctrica al equipo en las condiciones adecuadas sin que sufriera alguna alteración relevante la instalación eléctrica existente.

Haciendo uso de los valores obtenidos del análisis de la guía mecánica y de la información obtenida del levantamiento en la institución médica, realicé lo siguiente:

Se tiene un transformador de 300 KVA con una carga conectada de 112.5 KVA, dando como resultado una potencia disponible de 187.5 KVA que supera a la potencia requerida por el equipo de resonancia aun con su primer valor de conexión de 133 KVA.

Tomando en cuenta que nuestro equipo en condiciones de carga máxima demandaría una potencia de 133 KVA y ésta sumada a los 112.5 KVA existentes, da como resultado una demanda de potencia de 245.5 KVA.

La primera estimación para saber el porcentaje de la potencia utilizada en el transformador de 300 KVA la determiné de la siguiente manera:

$$\% DTA = \frac{245.5 \text{ KVA}}{300 \text{ KVA}} \times 100 = 81.83\%$$

Donde, %DTA= Demanda al transformador de alimentación.

La tensión de operación del equipo es de 480 V y la tensión proporcionada por el transformador de 300 KVA, en su devanado secundario, es de 380 V, por tal motivo se requiere un transformador de acoplamiento que permita elevar la tensión de 380 V a 480 V.

Para hacer una primera estimación del transformador de acoplamiento tuve que recurrir a lo siguiente.

Si consideramos 133 KVA como el 80% de la potencia nominal del transformador de acoplamiento, resulta:

$$PTa = \frac{133 \text{ KVA}}{0.8} = 166.5 \text{ KVA}$$

Calculando nuevamente la potencia que demandaríamos al transformador de 300 KVA.

$$PMR = 166.5 \text{ KVA} + 112.5 \text{ KVA} = 279 \text{ KVA}$$

Donde:

PTa = potencia del transformador de acoplamiento.

PMR = potencia máxima requerida.

Con el resultado anterior obtuve el porcentaje del uso al transformador de 300 KVA.

$$\%DTA = \frac{279 \text{ KVA}}{300 \text{ KVA}} \times 100 = 93\%$$

Se puede observar que aun conectando un transformador de acoplamiento, el transformador de 300 KVA se mantiene en un margen de operación cercano a su potencia nominal sin saturarse y conservando su carga actual de 112.5 KVA.

Posteriormente me dediqué a realizar un recorrido por la ruta que tentativamente seguiría la tubería eléctrica para alimentar al equipo de resonancia magnética, busqué la mejor trayectoria para facilitar los trabajos de instalación sin afectar alguna otra área, afortunadamente la mayoría de la trayectoria pasaba por lozas, jardín y pasillos dentro del hospital.

Al finalizar mi levantamiento solo pude hacer recomendaciones al personal de conservación del hospital sobre el mantenimiento a la subestación central, ya que ese trabajo quedaba fuera de los alcances establecidos por el proyecto y por la empresa donde laboré, en cuanto al punto de conexión asignado, era urgente realizar un mantenimiento correctivo-preventivo al transformador de 300 KVA y a la subestación compacta en la cual se encontraba conectado, debido a que el transformador presentaba una ligera fuga de aceite y a la subestación compacta no se le había dado el mantenimiento correspondiente, estos trabajos los programaríamos más adelante con la ayuda de un proveedor.

Cálculo del conductor para la alimentación del equipo de RM

Antes de comenzar con los cálculos para determinar el calibre del alimentador eléctrico del equipo de resonancia magnética, es preciso mencionar algunas de las consideraciones que tomé, de acuerdo con las especificaciones plasmadas en la guía mecánica.

La primera consideración fue que el alimentador eléctrico sería exclusivamente para el equipo de RM y su carga sería fija, por tal motivo no requiere algún dimensionamiento extra por aumento de carga a futuro.

La segunda consideración se basa en que los estudios realizados por medio de RM son programados y su índice de frecuencia no es tan alto como para considerar al equipo de resonancia una carga constante.

La tercera consideración la tomé de acuerdo a la ampacidad de las protecciones solicitadas en la guía mecánica del equipo de RM, observando nuevamente la Figura 4, el fabricante del equipo solicita protecciones en tableros con valor de corriente de 150 A.

Tomando como base los puntos anteriores y los puntos establecidos en la NOM-001-SEDE-2012, para el diseño de alimentadores eléctricos, procedí a calcular el calibre del conductor para el alimentador eléctrico del equipo de resonancia magnética.

Por otro lado, todo proyecto ya sea eléctrico, de obra civil, o de alguna otra área se maneja dentro de un margen de presupuesto específico, ya que algunas de las estimaciones o cálculos realizados para llegar a una instalación ideal o que por lo menos cumpla con los mayores estándares de funcionalidad, confiabilidad y seguridad pueden quedar fuera de un margen de presupuesto asignado que podrían afectar de forma directa la rentabilidad de un proyecto, por esta razón me vi obligado a estimar un alimentador eléctrico, confiable, seguro y de bajo costo.

Como consecuencia de la experiencia obtenida en otras instalaciones, el calibre de conductor mínimo permitido para alimentadores de equipos de RX y resonancias magnéticas es 1/0 AWG, y partiendo de esta consideración, procedí a realizar los siguientes cálculos:

La ampacidad permisible para un conductor calibre 1/0 AWG según la tabla 310-15(b) (16)-en conductores aislados para tensiones hasta 2000 volts y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, basados en una temperatura ambiente de 30 °C*, de la NOM-001-SEDE-2012 muestra los siguientes valores:

calibre	60°	75°	90°
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A

Tabla 1. Ampacidad para conductor 1/0 AWG a 60°,75° y 90°

Los valores de la tabla 1 corresponden a un aislamiento del tipo THHW-LS.

La corriente eléctrica para el equipo de resonancia tomando como valor de conexión 133 KVA da como resultado:

$$I_a = \frac{KVA}{VLL \cdot \sqrt{3}} = \frac{133\,000\,VA}{480 \cdot 1.73} = 159\,A$$

Se puede observar de la Tabla 1 que para un conductor de calibre 1/0 AWG a 75° conduce una corriente de 150 Amperes y a 90° conduce 170 Amperes. El valor de conexión real del equipo de RM es de 112 KVA sin tomar en cuenta la UPS de 160 KVA determinado por el fabricante del equipo.

Los criterios de conexión para una UPS son distintos según el proveedor o instaladores con experiencia en el área.

El criterio que tomé para determinar el calibre del conductor fue tomar como referencia el calibre recomendado para las conexiones de la UPS con los demás gabinetes y tableros de potencia ubicados en cuarto de máquinas de la sala de resonancia. Verificando este dato, la guía mecánica recomienda conductores calibre 1/0 AWG tanto en las terminales de entrada y salida de la UPS, este dato me permitió continuar con los cálculos, tomando de referencia el calibre de conductor recomendado. Otra consideración que se puede tomar en cuenta en los casos que se pretenda instalar un determinado calibre de conductor es verificar con la corriente calculada cuanto se aleja del margen de temperatura adecuado. Tomando como referencia los datos eléctricos de la Figura 4, la temperatura de operación para aislamientos del tipo THHW-LS sería a 75°.

Haciendo la siguiente extrapolación podemos obtener una aproximación de la temperatura de operación para la corriente calculada con el valor de conexión máximo.

$$(a) = (75^\circ, 150 A)$$

$$(b) = (90^\circ, 170 A)$$

$$(c) = (N^\circ, 159 A)$$

$$N^\circ = \frac{(90^\circ - 75^\circ)}{(170 A - 150 A)} (159 A - 150 A) + 75^\circ = 81.75^\circ$$

La diferencia es de 6.75° por encima de la temperatura de operación de 75°, de acuerdo con los datos y recomendaciones proporcionados en la guía mecánica, el valor de conexión del sistema de enfriamiento Chiller de la resonancia magnética a instalar, es menor al valor inicial solicitado y podríamos asumir que aún nos mantenemos dentro del margen de operación adecuado.

Las características de conexión para el equipo de RM son las que se muestran en la siguiente figura.

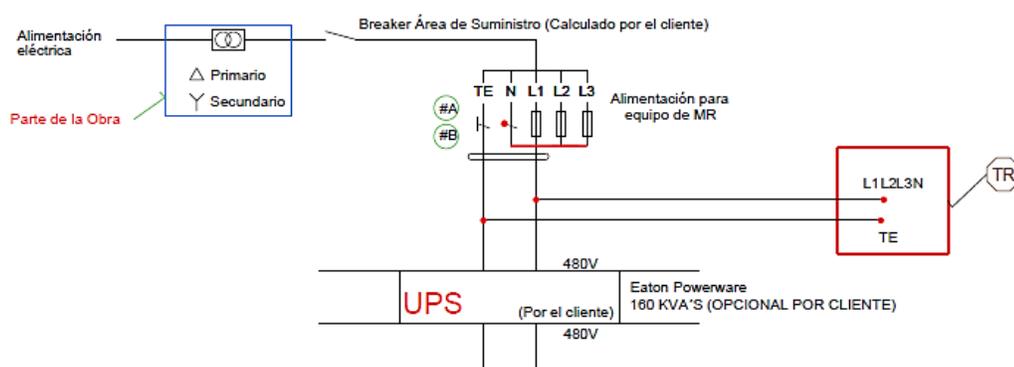


Figura 6. Diagrama de conexiones.

Se puede observar en la Figura 6 que el equipo de resonancia cuenta con un sistema de respaldo de energía UPS (Uninterruptible Power System) de 160 KVA, el cual le permite seguir funcionando en caso de presentarse alguna falla en el suministro de energía eléctrica, ya que el sistema de enfriamiento del

magneto trabaja con helio el cual debe mantenerse por encima del 50% en estado líquido para evitar una reacción en cadena de gasificación que obligue a la pérdida parcial o total del gas y que, a su vez, no permita el funcionamiento de la resonancia magnética.

Para mantener al helio en estado líquido, el equipo de resonancia incluye un compresor de alta eficiencia más un sistema de control de temperatura Chiller, que también regula la temperatura del magneto durante su funcionamiento.

La UPS, además de ser un sistema de respaldo de energía, también es un sistema de regulación de tensión y corrección de factor de potencia, por esta razón el equipo de resonancia no se encuentra 100% cargado a la línea de alimentación, ya que se requiere de la UPS para regular la tensión de operación de 480 Vca dentro de un margen más estrecho y, que en ocasiones, no se puede obtener de la línea principal, además el sistema de respaldo direcciona la energía eléctrica conforme a la demanda energética del equipo de RM manteniendo un servicio constante aun si se presentara alguna discontinuidad del servicio eléctrico en la línea principal, en consecuencia, podemos hasta el momento, considerar que la temperatura de operación del alimentador eléctrico de 75° sigue siendo el adecuado.

Continuando con el cálculo del alimentador para el equipo, otro factor a considerar es la caída de tensión en el mismo, por regla y recomendación el fabricante solicita que en la línea de alimentación del equipo no exista más del 2% de caída de tensión entre sus terminales, para comprobar esto recurrí a lo siguiente:

Según la Tabla 9.- Resistencia y reactancia en corriente alterna para los cables a 600 volts, 3 fases a 60 Hz y 75 °C. Tres conductores individuales en un tubo conduit. De la NOM-001-SEDE-2012.

Para un conductor calibre 1/0 AWG.

$$X_L = 0.18 \frac{\Omega}{Km}$$

$$R = 0.39 \frac{\Omega}{Km}$$

Por lo tanto su impedancia es:

$$Z = \sqrt{X_L^2 + R^2} = \sqrt{\left(0.18 \frac{\Omega}{Km}\right)^2 + \left(0.39 \frac{\Omega}{Km}\right)^2} = 0.43 \frac{\Omega}{Km}$$

A partir del valor de impedancia obtenido para un conductor calibre 1/0 AWG y recordando que la distancia desde el transformador hasta la sala es de 75 metros aproximadamente, podemos calcular la caída de tensión para un alimentador trifásico de la siguiente manera:

$$\%V = \frac{L * Z * I * 1.73}{V_{LL}} * 100 = \frac{0.075 Km * 0.43 \frac{\Omega}{Km} * 159 A * 1.73}{480 V_{LL}} * 100 = 1.84\%$$

Se observa que a pesar de no superar el 2% de caída de tensión en la línea de alimentación el valor es muy cercano pero aceptable.

Basado en los cálculos anteriores, se autorizó el uso de conductor calibre 1/0 AWG para la alimentación de la resonancia magnética ya que solo alimenta a un equipo y no se pretende hacer ajustes a futuro por aumento de carga como suele hacerse para instalaciones ordinarias del tipo industrial.

En los cálculos anteriores tomé como base el valor de conexión de 133 KVA, aun conociendo el valor real de 112 KVA, la finalidad de esta consideración fue que de esta manera la potencia del transformador de acoplamiento no quedaría muy por debajo del valor de potencia de la UPS, permitiéndome determinar un transformador adecuado, de acuerdo con las recomendaciones realizadas por ingenieros con experiencia en conexión de UPS.

Cálculo de la tubería para cableado eléctrico

De acuerdo con el catálogo de conductores eléctricos de VIAKON, el área transversal de un conductor calibre 1/0 AWG con aislamiento tipo THHW-LS es de 53.5 mm^2 .

La cantidad de conductores introducidos en la misma tubería son:

3 fases + neutro = 4 conductores 1/0 AWG.

Dando como resultado un área de;

$$A = 4 * 53.5 \text{ mm}^2 = 214 \text{ mm}^2$$

De acuerdo con la Tabla 1, de la NOM-001-SEDE-2012, mostrada en la Figura 7, para más de 2 conductores en la misma canalización, la suma total del área transversal de todos los conductores introducidos en una misma tubería debe ser equivalente al 40% del total del área transversal de la tubería para la canalización.

Tabla 1.- Porcentaje de la sección transversal en tubo conduit y en tubería para los conductores

Número de conductores	Todos los tipos de conductores
1	53
2	31
Más de 2	40

Figura 7. Tabla 1, NOM-001-SEDE-2012.

Para el conductor desnudo de la tierra física que también iría dentro de la canalización, consideré un conductor calibre 6 AWG, de acuerdo con la Tabla 250-122 de la NOM-001-SEDE-2012, es el tamaño mínimo de los conductores de puesta a tierra para canalizaciones y equipos. Cuando se conocen los valores de resistencia a tierra, del sistema ubicado en la subestación en el punto de conexión para alimentar al equipo de RM, se permite homologarlo con la puesta a tierra electrónica siempre y cuando ésta conexión sea necesaria para reducir la resistencia a tierra y no produzca intromisión de ruido eléctrico al equipo, permitiendo que todos los componentes que conforman la RM, desde el punto de conexión hasta la sala, se mantengan conectados al mismo sistema de TF con un mismo calibre de conductor. Ésta condición no se cumplió para la instalación y fue necesario aterrizar la tubería del cableado de alimentación con el conductor o bus de tierra física de la subestación, en consecuencia de los siguientes factores:

- La puesta a tierra de la tubería, que parte desde el punto de conexión hasta el cuarto de máquinas ubicado en la sala de RM, debe ser independiente de la puesta a tierra solicitada para todos los componentes que conforman al equipo.
- La tierra física de la subestación no contaba con mantenimiento por más de 10 años, por tal motivo se desconocía las condiciones de impedancia de la misma.
- No se conocía el punto de conexión con la malla o red de tierra para la subestación.
- No se tenían a la vista los registros de la malla de tierra física, factor que impidió hacer un monitoreo y/o mantenimiento.
- El equipo de resonancia cuenta con un sistema de tierra independiente, el cual no puede interferir directamente con la tierra física del sistema eléctrico de la institución médica, razón que obligó a separar la conexión de la tierra física de la subestación, ya que al no conocer su valor de resistencia y, de presentarse una falla en cualquier otro punto cercano a la tierra física del equipo de resonancia, corríamos el riesgo que se filtrara ruido eléctrico al equipo pudiendo generar un diagnóstico erróneo, o en el peor de los casos, lo dejara fuera de servicio.

Continuando con el cálculo de la tubería, el área transversal para un conductor calibre 6 AWG desnudo es de 13.3 mm^2 , de acuerdo con el catálogo de VIAKON.

La suma total de del área transversal de todos los conductores introducidos en la tubería es:

$$A_{TC} = 214 \text{ mm}^2 + 13.3 \text{ mm}^2 = 227.3 \text{ mm}^2$$

Y tomando un factor de relleno del 40%,

$$A_{TT} = \frac{227.3 \text{ mm}^2}{0.4} = 568.25 \text{ mm}^2$$

Donde A_{TC} = Suma total del área transversal de los conductores.

A_{TT} = Área transversal de la tubería.

Sabiendo el área transversal mínima de la tubería para cumplir con un factor de relleno del 40%, podemos observar de la Tabla 4.- Dimensiones y porcentaje disponible para los conductores del área del tubo conduit, de la NOM-001-SEDE-2012, que una tubería de 2" es suficiente para albergar de forma segura a los conductores. Para mejorar y facilitar las maniobras de cableado seleccioné una canalización con tubo conduit 2 ½" pared gruesa para una mejor protección de los conductores ya que más del 70% de la tubería queda expuesta a la intemperie.

Selección de protecciones

Antes de realizar la selección de las protecciones para el transformador de acoplamiento y para los equipos instalados en la sala de resonancia magnética, es importante determinar cuál será la potencia del transformador de acoplamiento.

Como mencioné en páginas anteriores, la estimación aproximada para saber la potencia del transformador de acoplamiento fue de 166.25 KVA considerando que los 133 KVA son el 80% de la potencia que demandaría el equipo en el caso de que todos sus componentes se mantuvieran con un valor de conexión máximo. Otra forma de estimar la potencia necesaria que debe tener un transformador para alimentar una carga fija es calcularlo en función de un factor de potencia (FP) adecuado. En este caso, el fabricante del equipo nos proporciona los valores de conexión independientes de los dos sistemas

principales, pero no indica el FP o algún otro parámetro del sistema de gradientes magnéticos que permita conocer más a detalle las características eléctricas del equipo y determinar de manera segura un transformador que cumpla con las necesidades solicitadas, tampoco hace la recomendación del valor de conexión **total** necesario como lo hace con los equipos de tomografía o mesas de RX en los cuales proporciona la potencia del transformador y el tipo de conexión requerido. Por cuestiones de seguridad y garantía de la instalación eléctrica, decidí considerar los 133KVA como potencia activa o real (133 KW) y estimar el transformador de acoplamiento conforme a un factor de potencia adecuado.

La ventaja que brinda estimar un transformador en función de un factor de potencia adecuado es que se tienen valores de potencia más reducidos permitiendo realizar la conexión del equipo con conductores de menor área transversal y con protecciones más adecuadas reduciendo el costo de la instalación, además en condiciones de carga máxima el transformador no sobrepasa sus valores nominales trabajando en una zona segura.

Otra ventaja es que en condiciones de bajo nivel de carga no se afecta de forma severa el factor de potencia del sistema eléctrico ya que un transformador trabajando con bajos niveles de carga o en vacío se comporta como una carga inductiva modificando o afectando el factor de potencia de la red eléctrica de la cual se alimenta.

Por ésta razón consideré un factor de potencia de 0.9 suponiendo que la suma de los valores de conexión era de 133 KW y, haciendo nuevamente la estimación del tamaño del transformador en función del FP establecido resulta lo siguiente:

$$PTa = \frac{133 \text{ KW}}{0.9} = 147.7 \text{ KVA}$$

Tomando como referencia los valores de potencia estandarizados para transformadores de baja tensión, el transformador adecuado fue:

1 transformador tipo seco de 150 KVA. Clase H, temperatura de aislamiento 150° C.

- Tensión del primario 380 Vca, configuración delta.
- Tensión del secundario 480/277 Vca, configuración estrella.
- Gabinete Nema 1, para contener en caseta o subestación.

Tomando como valor de potencia la primera estimación al 80%, el valor de potencia estandarizado del transformador sería de 170 KVA y el costo de éste transformador se encuentra entre un 13 y 15% por encima del costo de un transformador de 150 KVA, dependiendo del fabricante o proveedor.

Hacer la estimación del transformador por factor de potencia nos brinda una muy buena relación costo-beneficio en cuanto a material eléctrico, como mencioné en páginas anteriores, un proyecto no solo está limitado por cuestiones de confiabilidad y seguridad sino también por cuestiones de presupuesto y rentabilidad del proyecto.

Con un transformador de 150 KVA se cuida el factor de potencia de la instalación en condiciones de bajo nivel de carga, también nos permite ajustar la ampacidad de las protecciones tanto del devanado primario como del secundario y, recordando que en este proyecto se aceptó hacer la alimentación de la sala con conductores de calibre 1/0 AWG, por tal razón nuestra protección del secundario debe estar limitada a un valor que garantice la integridad física de nuestro conductor.

Para estimar la ampacidad de las protecciones realicé lo siguiente:

Datos del primario del transformador.

- Tensión de operación 380 Vca.
- Potencia 150 KVA.

$$I_p = \frac{150 \text{ KVA}}{380 * \sqrt{3}} = 227.9 \text{ A} \approx 228 \text{ A}$$

En este caso una protección de 3X225 A, dejaría muy limitado el devanado primario del transformador ocasionando que alguna variación de corriente pueda accionar el mecanismo de apertura sin que se presente una falla eléctrica real, como regla en campo es conveniente que la protección del primario del transformador(en el caso de transformadores de baja tensión) se mantenga ligeramente por encima de la corriente nominal, esto permite accionar las protecciones del devanado secundario que alimenta la carga y al presentarse una falla en esta zona o en la trayectoria del alimentador tiene más probabilidad de interrumpirla en la primera zona de protección sin sacar de servicio al transformador.

Una protección tipo KAL36250 (3X250 Amperes), es suficiente para sacar de servicio al transformador de forma segura en caso de falla o por cuestiones de mantenimiento.

Para la protección del devanado secundario podemos tomar como valor de corriente el calculado en secciones anteriores, donde la corriente máxima en caso de tener el máximo valor de conexión es de 159 Amperes.

Observando nuevamente los datos en la tabla de la Figura 4, el fabricante del equipo solicita que las protecciones en tableros colocados en cuarto de máquinas designado para la potencia eléctrica y conexiones del equipo de resonancia magnética sean de 150 Amperes, así que una protección del secundario tipo FAL36150 (3X150 Amperes), será suficiente para proteger al equipo en caso de presentarse una falla en la instalación eléctrica de la resonancia.

Para el sistema de enfriamiento Chiller solicitado en guía mecánica con un valor de conexión de 27 KVA @ 480Vca, el valor de corriente es;

$$I_{\text{Chiller}} = \frac{27 \text{ KVA}}{480 * \sqrt{3}} = 32.4 \text{ A}$$

Revisando los valores de ampacidad estandarizados para interruptores, un interruptor de tres polos @ 30 amperes queda por debajo del valor mínimo de conducción, un interruptor de tres polos @ 40 amperes sería el adecuado para realizar la conexión, por cuestiones de disponibilidad de interruptores con los proveedores de material eléctrico y los existentes en almacén se colocó un interruptor tipo FAL36050 (3 polos @ 50 amperes) conectado a la salida de la UPS y un seccionador de cuchillas 3X60 amperes instalado a un costado del Chiller.

El conductor instalado para el alimentador del sistema de enfriamiento Chiller fue de calibre 8 AWG el cual permite una conducción de 50 amperes a 75°C. Tomando como longitud del alimentador del Chiller la distancia máxima permisible del sistema de enfriamiento con respecto al equipo de resonancia magnética que es de 25 metros, la caída de tensión en el conductor es de 0.72 %.

Diseño e implementación de sistema de Tierra Física para equipo de resonancia magnética

La conexión a tierra en los sistemas eléctricos es de suma importancia. Su principal objetivo es garantizar la seguridad de las personas y los equipos ante una descarga ocasionada por falla eléctrica, descargas atmosféricas, ruido eléctrico o alguna corriente de fuga. En la actualidad, con los avances tecnológicos y la implementación de la electrónica de control en equipos con propósito de diagnóstico médico, hace del sistema de tierra una de las partes más importantes, ya que por medio de ella se evita que señales no deseadas interfieran con la electrónica del equipo pudiendo generar errores que pongan en riesgo su funcionamiento.

En un equipo de resonancia magnética el sistema de tierra le permite suprimir ruido eléctrico que pueda interferir con el resultado del estudio realizado en algún paciente, además de su propósito como medida de seguridad, la conexión a tierra física favorece las cualidades del blindaje de la jaula de Faraday en la que se encuentra la sala de exploración, impidiendo el paso de ondas de radiofrecuencia del exterior hacia la sala así como la salida de ondas de radiofrecuencia de la sala hacia el exterior. Todos los componentes desde el gabinete de potencia, sistema de respaldo de energía UPS, sistema de control de temperatura Chiller, gabinete de electrónica hasta el cuarto de control deberá conectarse al sistema de tierra.

De acuerdo a la guía mecánica del equipo, las características para la instalación de la tierra física y la conexión de componentes son las siguientes.

- La tierra de los equipos deberá ser de tipo aislado para la reducción de ruido eléctrico.
- El sistema de tierras deberá ser diseñado de acuerdo con las especificaciones de las normativas vigentes.
- Para mantener la integridad de la protección de RF en la sala de exploración, la conexión a tierra deberá originarse en el Bus de tierras dentro del gabinete de electrónica conectando todos y cada uno de los elementos del equipo.
- Cualquier tipo de equipo que sea instalado en las cercanías del magneto deberá ser aterrizado al sistema de tierra principal.
- Por ningún motivo deberá de conectarse el Neutro al sistema de Tierras.
- La línea de tierra del sistema de resonancia magnética deberá tener el mínimo de vueltas a fin de prevenir ruido o interferencias de flujo al sistema.

Además del sistema de tierras, el equipo de resonancia magnética cuenta con filtros de RF adicionales que son instalados a través del sistema de tierra en el panel de distribución del gabinete de potencia, esto con el fin de reducir las condiciones de riesgo creadas por el campo magnético en equipos instalados en las inmediaciones del magneto que contengan material magnetizable, a reserva que sean equipos diseñados para resistir la afectación del campo.

Para la alimentación eléctrica deberá conectarse un sistema TRANSECTOR supresor de picos y armónicos. Este equipo se conecta en paralelo a la línea de alimentación a 480 V y su terminal de tierra también será conectada al sistema de tierra física para garantizar su correcto funcionamiento, ya que éste equipo suprime el ruido eléctrico proveniente de la línea de alimentación principal.

En la Figura 8, se muestra el diagrama de conexiones a tierra de a todos los componentes, de acuerdo con las especificaciones del fabricante, por ningún motivo debe omitirse alguna de estas conexiones por cuestiones de seguridad y funcionalidad del equipo.

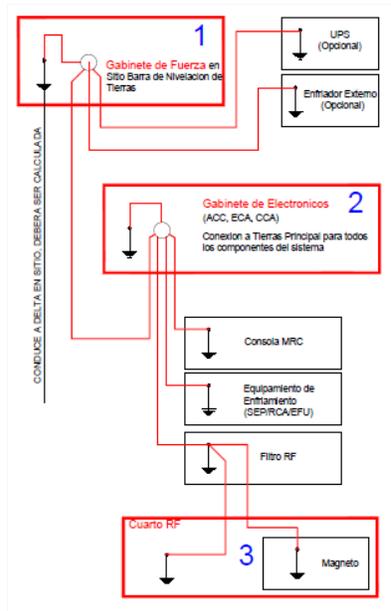


Figura 8. Diagrama de conexión a tierra para los elementos del equipo de resonancia magnética.

Por recomendación del fabricante, se solicitó que la configuración del sistema de tierras para la conexión del equipo fuera a través de un sistema en delta, para la cual sus características debían ser determinadas por los instaladores conforme a las especificaciones solicitadas.

La configuración y dimensiones sugeridas para la construcción de sistema de tierra es la que se muestra en la Figura 9.

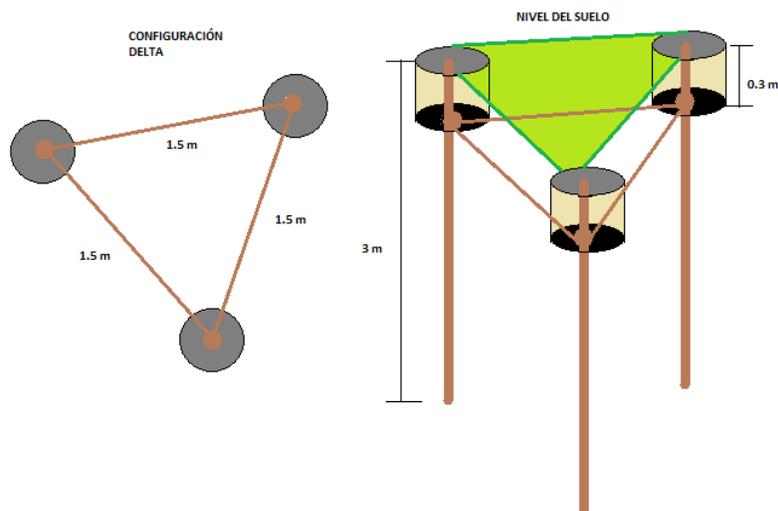


Figura 9. Configuración y características del sistema de tierra física para equipo de resonancia magnética.

El artículo 921-12 inciso (c) de la NOM-001-SEDE-2012, menciona que al utilizar electrodos independientes para sistemas independientes, se emplean conductores de puesta a tierra separados.

Si se utilizan electrodos múltiples, estos se pueden unir entre sí para reducir la resistencia a tierra y conectarse en un solo conductor.

La delta de tierra implementada para el equipo de RM fue un sistema independiente del sistema de tierra general, por esta razón tiene su propio conductor de puesta a tierra, desde el cuarto de máquinas hasta el sistema de tierra física.

El artículo 250-96 (b) de la NOM, sugiere que la envolvente del equipo alimentado por un circuito derivado este aislada de la canalización que contiene a los circuitos que alimentan al equipo mediante accesorios no metálicos para canalizaciones, esto con el fin de reducir el ruido eléctrico en el circuito de puesta a tierra. Los circuitos de puesta a tierra aislados no comparten conexión alguna con la canalización o algún otro medio metálico que no corresponda al sistema o equipo a conectar, por tal razón se tiene que cuidar que las conexiones se realicen conforme a lo sugerido en la Figura 8 sin que éstas interactúen eléctricamente con otros sistemas que puedan generar ruido eléctrico.

De acuerdo a la NOM-001 en el artículo 921-18, para un sistema de tierras conformado por uno o más electrodos conectados entre sí, se considera aceptable un valor de 10 ohms y en terrenos de alta resistividad este valor puede llegar a ser hasta de 25 ohms.

En la Guía Mecánica del equipo de resonancia magnética solicita que dicho sistema sea diseñado de acuerdo a los lineamientos vigentes para el diseño e implementación de sistemas de tierra física en México, por esta razón el diseño de la tierra física lo realicé conforme a los puntos establecidos en los artículos mencionados en párrafos anteriores y que se encuentran en la NOM-001-SEDE-2012, Instalaciones Eléctricas (utilización).

Algunos de los inconvenientes que tuve para realizar el diseño del sistema de tierras fue que no se pudo realizar un levantamiento completo para conocer a detalle las características del terreno asignado, su resistividad y las capas de materiales que la conforman. Antes de la construcción del sistema de tierras, tomé muestras del terreno a poco más de 1m de profundidad con el fin de conocer los materiales que conformaban el suelo y poder compararlo con los tipos de suelo conocidos y utilizar sus valores de resistividad. La configuración y dimensiones del sistema de tierras ya se encontraba estandarizado así que solo tenía que ver si el sistema recomendado por el fabricante del equipo permitía conseguir valores de resistencia a tierra lo suficientemente bajos por medio de valores de resistividad del terreno de suelos conocidos.

La mezcla del terreno era una composición de arena fina, tepetate y tierra negra, con poca presencia de rocas y con un índice de humedad regular. Comparando estas características con las de suelos conocidos su consistencia y características son muy similares a un suelo conformado por arcilla no saturada. Consultando los valores de resistividad para un terreno conformado por arcilla no saturada su valor de resistividad se encuentra entre 20 a 40 ohm-metro.

El método utilizado para calcular la resistencia del sistema de tierra física bajo las condiciones de configuración recomendadas fue el método de SCHWARZ, este método relaciona la resistencia de los

conductores horizontales con la resistencia de las varillas verticales y la profundidad de enterramiento del sistema.

$$R_T = \frac{R_1 R_2 - R_m^2}{R_1 + R_2 - 2R_m}$$

Donde:

R_T = resistencia del sistema de tierra.

R_1 = resistencia equivalente de los conductores horizontales.

R_2 = resistencia equivalente de las varillas verticales.

R_m = resistencia mutua entre conductores horizontales y varillas verticales.

Para calcular R_1 .

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \frac{2L_c}{a'} + \frac{K_1 * L_c}{\sqrt{A}} - K_2 \right]$$

Para calcular R_2 .

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi * N_r L_r} \left[\ln \frac{4L_r}{b} - 1 + \frac{2K_1 * L_r}{\sqrt{A}} (\sqrt{N_r} - 1)^2 \right]$$

Para calcular R_m .

$$R_m = R_1 - \frac{\rho}{\pi L_c} \left[\ln \frac{L_r}{\sqrt{hXb}} - 1 \right]$$

Donde:

ρ = resistividad del terreno

L_c = longitud total de los conductores horizontales.

A = área de la malla de tierra.

$a' = \sqrt{aX2h}$; a = radio del conductor; h = profundidad de enterramiento de la malla

N_r = número de varillas.

L_r = longitud de las varillas.

K_1 y K_2 son constantes relacionadas con las dimensiones del sistema de tierra, para el caso de la configuración delta mostrada en la figura 9, la constante;

$$K_1 = 0.7$$

$$K_2 = 2.82$$

Para los conductores horizontales se utilizó conductor calibre 1/0 AWG el cual tiene un radio aproximado de 0.008 m, las varillas verticales son del tipo copperweld de 5/8" con un radio equivalente a 0.008 m.

Utilizando las diferentes ecuaciones para determinar los valores de resistencia, conforme a las características físicas del sistema de tierra recomendado por el fabricante del equipo para determinar la resistencia equivalente, resultan los valores que se muestran a continuación.

Para un valor de resistividad del terreno de 40 Ω -m;

$$R_1 = 15.024 \Omega$$

$$R_2 = 5.94 \Omega$$

$$R_m = 6.21 \Omega$$

Sustituyendo valores en la fórmula para determinar la resistencia equivalente del sistema de tierra;

$$R_T = 5.93 \Omega$$

Se puede observar que el valor teórico del sistema de tierra es menor que el valor máximo solicitado en el artículo 921-18 de la NOM-001-SEDE-2012, de 10 Ω .

En los sistemas de tierra física, se emplean enriquecedores de suelo para hacerlo mejor conductor eléctrico, en el sistema de tierra física implementado para el equipo de resonancia magnética se utilizó un compuesto denominado GEM, el cual es una mezcla no corrosiva de cemento y carbón que se mezcla con agua para cubrir los conductores y varillas del sistema de tierra. Una vez endurecido el GEM, genera un electrodo equivalente con un área de contacto más grande que le permite reducir su resistencia a tierra y mejorar sus características conductivas, además los componentes conductores de la mezcla no se pierden fácilmente en terrenos con exceso de agua como suele pasar con algunas soluciones salinas.

Para unir las varillas y conductores del sistema de tierra se empleó soldadura con cargas tipo cadweeld 90 que permitieron hacer conexiones más confiables que las generadas con opresores mecánicos. Desde el sistema de tierra hasta el cuarto de máquinas de la sala de resonancia se utilizó conductor calibre 1/0 AWG aislado y canalizado de manera independiente en tubería rígida de 1 ½”.

En las siguientes imágenes se muestra físicamente el sistema de tierra implementado para el equipo de resonancia magnética.



Figura 10. Construcción de sistema de tierra física para equipo de Resonancia Magnética.



Figura 11. Punto de conexión del sistema de tierra física con el conductor aislado.



Figura 12. Uso de compuesto GEM para mejorar la conducción del sistema de tierra física.

Características de conexión y distribución de la energía eléctrica para equipo de RM

El fabricante del equipo de resonancia magnética en su guía mecánica proporciona todas las características de conexión y configuración para los componentes que conforman al equipo, las características físicas y funcionales que debe tener cada área, los servicios eléctricos con los que se debe contar y en especial las conexiones y el diagrama de distribución de la energía eléctrica.

En la siguiente figura se muestra un diagrama representativo de las áreas que componen al equipo de resonancia magnética.

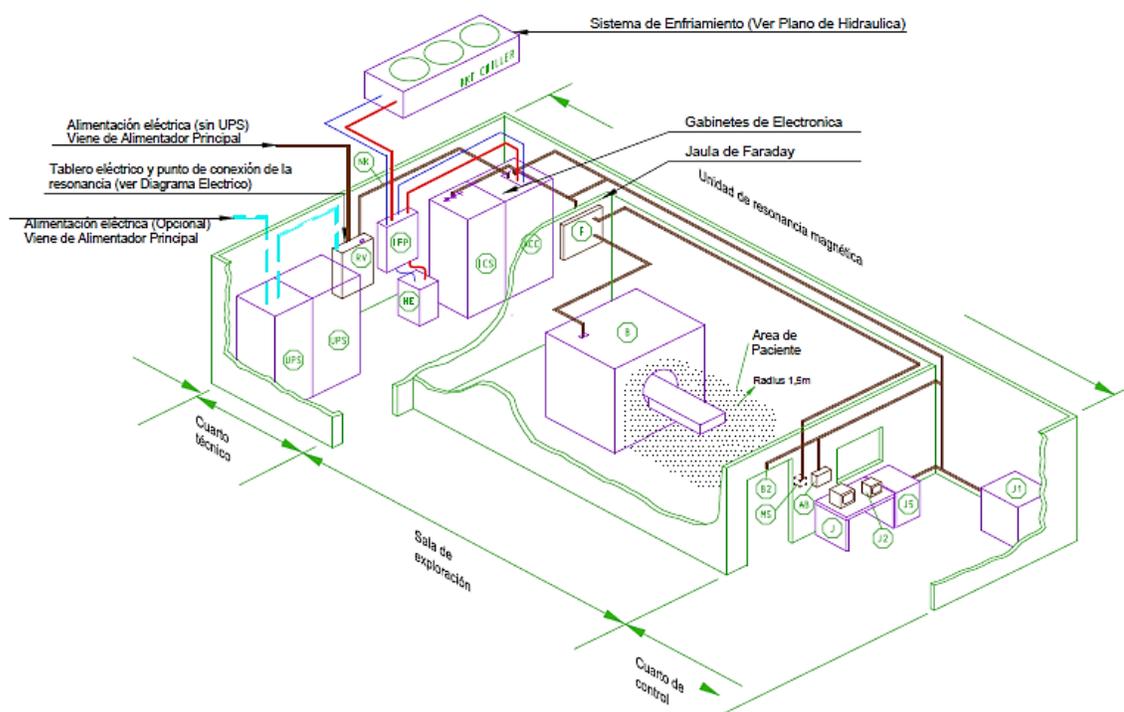


Figura 13. Distribución en sala de Resonancia Magnética.

Como se puede ver en la Figura 13, la sala de resonancia cuenta con varias secciones en las cuales la distribución eléctrica y los servicios con los que se cuenta dependen de su uso.

Cuarto técnico (cuarto de máquinas): En esta sección llega la alimentación eléctrica para el equipo de resonancia magnética, ésta área cuenta con los equipos de conexión y potencia como son interruptores, la UPS que es un sistema de respaldo y regulación de energía eléctrica, el gabinete de electrónica de la resonancia magnética encargada del control y acondicionamiento de los niveles de tensión, corriente y frecuencia necesarios para el funcionamiento del equipo, el tablero de potencia RV (nomenclatura asignada por el fabricante en guía mecánica del equipo de RM), el compresor para helio y el cuadro de válvulas del Chiller.

Dentro del cuarto técnico, el tablero de potencia RV es uno de los más importantes para el área eléctrica a la que pertenece, ya que a través de éste gabinete y de los dispositivos de control y protección exteriores

e interiores, se proporciona energía eléctrica al resto de los sistemas que alimentan al equipo de resonancia magnética. La configuración interna del tablero RV y los componentes que lo integran fueron recomendados y algunos de ellos proporcionados por el fabricante del equipo, razón por la cual mi trabajo se vio limitado únicamente al armado y puesta en marcha de dicho gabinete. Las características de conexión y configuración del tablero de potencia RV se describen a continuación.

El tablero RV se conforma de dos sistemas de control, uno que contiene la configuración básica de un arrancador para motor tal como se muestra en la Figura 14.

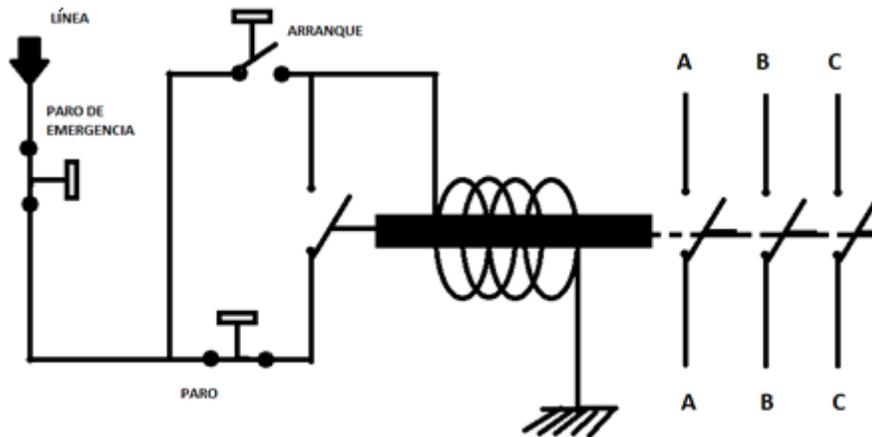


Figura 14. Diagrama para arrancador de motor.

El segundo sistema, es un control electrónico el cual se configura por medio de sus terminales de conexión y una regleta dip-switch que permite activar los diferentes modos de operación. El fabricante nos proporcionó una configuración fija y nuestro trabajo se limitó en hacer las conexiones indicadas y la configuración establecida.

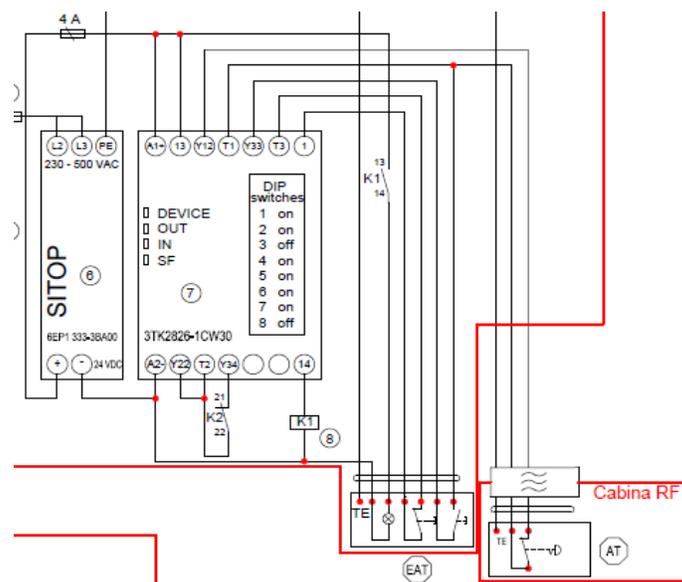


Figura 15. Control electrónico.

El uso combinado de los dos sistemas de control permite un grado de seguridad y funcionalidad más amplio, ya que el sistema de la Figura 14 proporciona un control manual por medio de una botonera colocada al frente del tablero de potencia RV con el cual se puede deshabilitar al equipo, en caso de emergencia o por cuestiones de mantenimiento.

El sistema de la Figura 15 proporciona un control que se encuentra sincronizado a la electrónica del equipo de resonancia permitiendo la manipulación remota del gabinete de potencia.

Una ventaja que tiene el control electrónico sobre el control manual es su memoria de configuración, si en algún momento se interrumpe completamente la energía eléctrica por un periodo de tiempo que supere al tiempo de respaldo proporcionado por la UPS, el equipo se apaga completamente liberando el enclavamiento del contactor de potencia contenido en el tablero RV, una vez restablecido el servicio eléctrico el control electrónico puede generar un cierre automático sin asistencia manual que pone en marcha los componentes críticos de la resonancia magnética, como son el compresor de helio y el sistema de enfriamiento CHILLER.

En el sistema analógico (arrancador manual), para el mismo caso de falla que el sistema electrónico, al presentarse una interrupción total de la energía eléctrica se libera el enclavamiento del contactor de potencia, pero, una vez restablecido el servicio de suministro eléctrico, el mecanismo no tiene la capacidad de generar un re-cierre de forma automática, a pesar de contar con energía eléctrica, dejando fuera de funcionamiento a los componentes críticos y ocasionando pérdida de helio en el magneto. De presentarse el caso de falla para el sistema analógico y al no detectarse alguna falla en el resto de los componentes subsiguientes al tablero RV, el control electrónico se encarga de hacer el cierre automático. Los elementos de protección colocados dentro del tablero RV se muestran en la Figura 16, de acuerdo con la recomendación de conexión proporcionada por el fabricante del equipo de resonancia magnética.

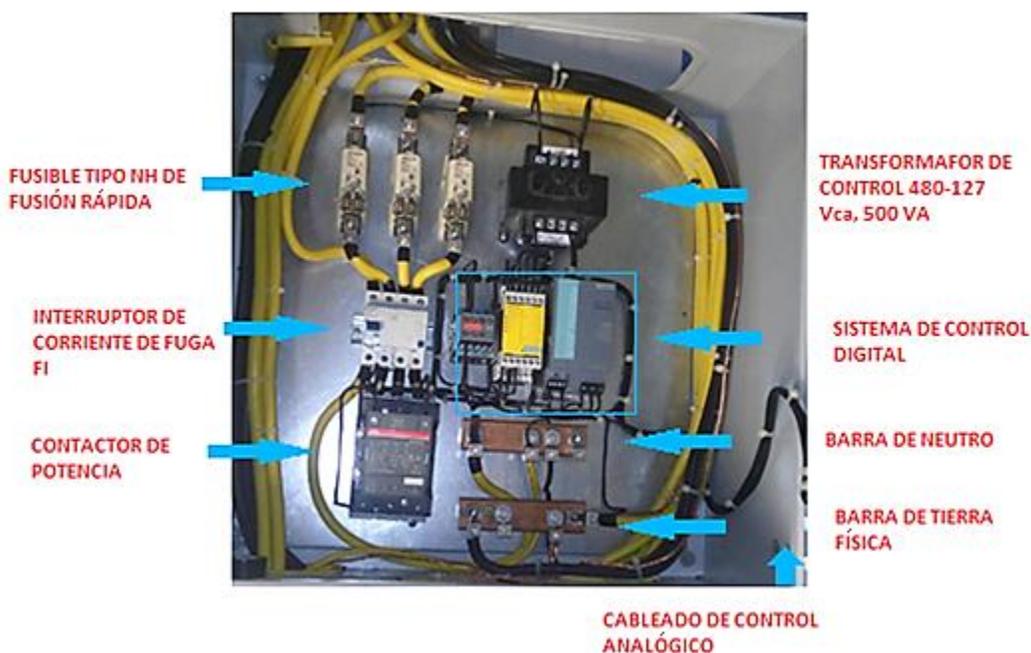


Figura 16. Componentes internos de tablero RV.

Para realizar la alimentación del tablero RV fue necesario el uso de dos interruptores termo magnéticos tipo FAL36150 (3X150 A), de acuerdo con la recomendación del fabricante del equipo en su guía mecánica (visto también en la sección de dimensionamiento de protecciones en este documento), el primer interruptor conecta al cableado proveniente del transformador de 150 KVA @ 480 Vca con la terminal de entrada de la UPS, el segundo interruptor conecta la terminal de salida de la UPS con los fusibles tipo NH del tablero RV en la parte superior, ambas conexiones se realizaron con cable tipo porta electrodo calibre 1/0 AWG, conforme a las indicaciones también plasmadas en la guía mecánica del equipo.

La canalización del cableado de potencia tipo porta electrodo se realizó con charola de aluminio tipo escalera de 9" X 9" X 4", respetando las recomendaciones del fabricante del equipo en relación con la canalización eléctrica permitida dentro del cuarto eléctrico para facilitar el cableado y conexión de los elementos de potencia. Las conexiones en las terminales de entrada y salida de la UPS, así como su programación y puesta en marcha, fueron realizadas por personal proveniente de la empresa proveedora de la UPS, de igual manera, la conexión del tablero de potencia RV al gabinete de electrónica del equipo de resonancia magnética fue realizado por técnicos provenientes de la empresa que fabricó la resonancia magnética.

La conexión del gabinete de potencia con el resto de los componentes contenidos en el cuarto eléctrico se realizó tal como se muestra en la Figura 17.

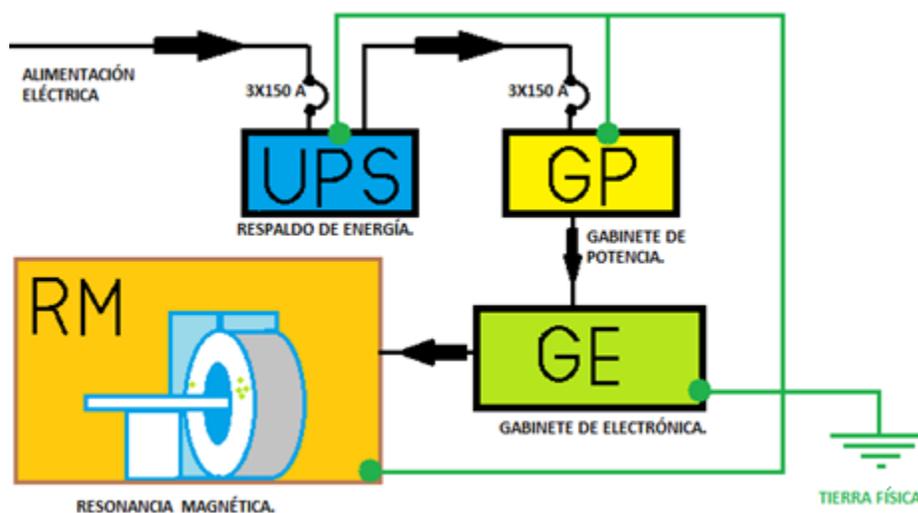


Figura 17. Diagrama de conexión y flujo de la energía eléctrica en sala de resonancia magnética.

La conexión para el Chiller se realizó desde la salida de la UPS por medio de una línea independiente conectada a una protección termo magnética tipo FAL36050 (3X50 A), para garantizar que en caso de alguna interrupción en el servicio eléctrico el sistema se mantenga funcionando para evitar el calentamiento del magneto de la resonancia e impedir la pérdida de helio.

Los servicios eléctricos de iluminación y contactos solicitados dentro del cuarto técnico se limitaron a la colocación de 2 contactos dúplex alimentados de la instalación existente en la sala los cuales solo tienen fines de mantenimiento para conectar aspiradoras o algún otro equipo necesario para dar servicio a la UPS, gabinete de electrónica y/o reparaciones menores dentro del área.

La iluminación se implementó con lámparas led de luz fría, la guía mecánica establece los estándares de iluminación, pero el cumplimiento de ellos no fue tan riguroso debido a la cantidad de componentes existentes en el cuarto técnico que impedían instalar un sistema de iluminación uniforme, por tal motivo se solicitó que se cubrieran los puntos de mayor importancia por cuestiones de seguridad y mantenimiento.

Sala de exploración: Aquí se realizan los estudios a los pacientes y es una zona que se encuentra encerrada en un blindaje de cobre que impide la entrada y salida de señales de radiofrecuencia. La instalación eléctrica dentro de esta área se construye con materiales no magnéticos como tubería de PVC y charolas de aluminio, el suministro de energía eléctrica para servicios de iluminación y contactos se realiza desde un tablero de baja tensión a 220/127 Vca, ubicado al exterior de la sala y conectado a través de filtros de RF que impiden el paso de ruido eléctrico desde el exterior a través de la línea de alimentación. La cantidad de contactos instalados en el interior de la sala de exploración depende del diseño de la Jaula de Faraday y de la cantidad de equipos a conectar en su interior, el fabricante del equipo de resonancia magnética proporciona una propuesta de la ubicación de contactos y luminarias dentro del área, enfatizando en **no** utilizar componentes metálicos magnéticos de gran escala ni luminarias con balastro electrónico que no cuenten con el blindaje adecuado contra los efectos del campo magnético o que generen ruido eléctrico en el interior de la sala. En la siguiente figura se muestra parte de las instalaciones realizadas dentro de la sala de exploración antes de su recubrimiento y acabados interiores.



Figura 18. Instalaciones en el interior de la sala de exploración.

La iluminación dentro de la sala de exploración juega un papel muy importante, ya que no solo se requiere cumplir con los índices de iluminación adecuados, también tiene que cumplir con ciertos criterios de ambientación que combinados con los acabados dentro de la sala generen un espacio confortable para los pacientes, ya que muchos de ellos pueden tener alguna crisis por claustrofobia o alguna otra alteración emocional que pueda interferir con la correcta ejecución del estudio realizado.



Figura 19. Ejemplo de iluminación y ambientación dentro de sala de exploración.

Todos los trabajos de iluminación, contactos y otras instalaciones dentro de la sala de exploración fueron realizados por el fabricante de la Jaula de Faraday, mi trabajo solo consistió en proporcionar la alimentación eléctrica desde un tablero de uso general hasta la entrada de los filtros de RF colocados a un costado de la Jaula de Faraday. La conexión del equipo de resonancia magnética al gabinete de electrónica ubicado en el cuarto eléctrico, fue realizada por técnicos provenientes de la empresa fabricante del equipo.

Cuarto de control: Es el área donde se puede manipular vía remota al equipo de resonancia magnética, en esta sección solo fue indispensable instalar servicio de iluminación por medio de lámparas led de luz fría ubicadas en puntos donde no se pudiera generar reflexión en monitores y cristales de ventanillas ubicadas al frente de la sala de exploración. El fabricante del equipo de resonancia proporciona a sus instaladores sistemas de respaldo de energía para mantener el control activo en caso de presentarse una falla eléctrica, por esta razón fue suficiente colocar contactos en la mesa del equipo de interpretación y mesa de control de acuerdo a las recomendaciones plasmadas en el plano de proyecto de la guía mecánica.

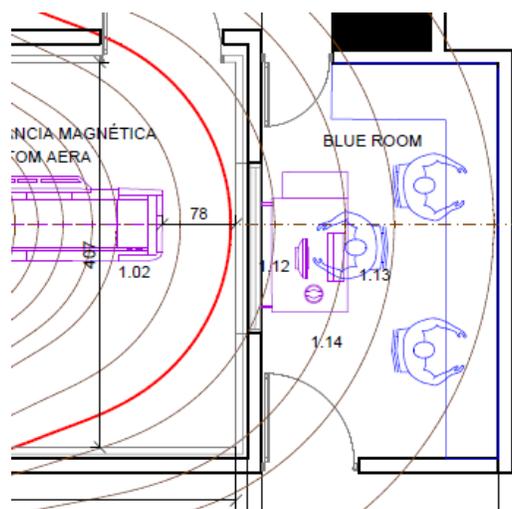


Figura 20. Distribución del área de control (BLUE ROOM).

En el resto de las áreas que conforman la sala de resonancia como pasillos, vestidores y área de camillas fue necesario colocar servicios básicos como contactos y luminarias led de luz fría conforme a recomendación descrita en la guía mecánica.

Para mantener una buena ventilación y temperatura adecuada dentro del cuarto técnico, sala de exploración y cuarto de control, fue indispensable la instalación de equipos de aire acondicionado (AA) bajo indicaciones plasmadas en guía mecánica del equipo. La instalación eléctrica para la alimentación de un equipo de AA de 2 toneladas en cuarto eléctrico y un equipo de AA de 5 toneladas para cuarto de control y sala de exploración se realizó desde un tablero de usos generales conforme a las especificaciones eléctricas de cada equipo.

Planeación de actividades y análisis de resultados

Para lograr una buena planeación de las actividades a realizar, primero tuve que ver cuáles eran las etapas en las que se ejecutaría el proyecto, el tiempo asignado a cada una de estas etapas y los alcances que tendría mi trabajo en todas ellas. De acuerdo a la programación establecida, las etapas de mi interés fueron:

- La remodelación y acondicionamiento de áreas asignadas para la sala de RM.
- Fecha de llegada del equipo.
- Tiempo de instalación del equipo.
- Fecha para la puesta en marcha de la resonancia y primeras pruebas.

De acuerdo al levantamiento realizado en el hospital y conforme a los cálculos y selección de materiales para la instalación eléctrica, realicé las listas de materiales y equipo a utilizar. El área de compras y almacén se encargó de suministrar en la primera semana, después de la solicitud del material, todo lo indispensable para la canalización del cableado conforme a las prioridades y planeación realizada. El resto de los materiales y equipos serían suministrados de acuerdo a los avances realizados en la instalación para un mejor resguardo y seguridad de los mismos.

A partir del día en que se dio el fallo para la realización del proyecto, contábamos con 30 días hábiles para la implementación de la instalación eléctrica. Debido a que la instalación se realizaría en un hospital ubicado en Ciudad Madero Tamaulipas, los materiales a utilizar se tenían que adquirir en la Ciudad de México y trasladarlos hasta el lugar de la instalación.

En paralelo a nuestro trabajo, se encontraría personal de obra civil realizando las remodelaciones correspondientes en las diferentes áreas que conforman la sala de resonancia, por tal motivo, la organización de las actividades al igual que los avances generados en determinado tiempo, jugaron un papel muy importante en el desarrollo del proyecto.

La preparación de la instalación eléctrica para el sistema de enfriamiento Chiller y los equipos de AA, estuvieron en función de los avances obtenidos por los instaladores de dichos sistemas, así mismo, la programación de algunas de mis actividades estaban en función de los avances en los trabajos realizados por las diferentes áreas involucradas en cada etapa.

La ejecución de las actividades para la instalación eléctrica se realizó como se muestra en la Tabla 2.

ACTIVIDAD	Días para su ejecución
Implementación del sistema de TF ²	2
Instalación de tubería para alimentador eléctrico de la RM.	7
Instalación de tubería para cable de TF	1
Colocación de gabinetes, charolas y accesorios para instalación eléctrica dentro de cuarto de máquinas.	7
Instalación de gabinetes y tuberías en SE ³ .	3
Cableado del alimentador eléctrico.	1
Cableado de sistema de tierra.	1
Instalación y conexión de transformador eléctrico de 150 KVA.	2
Instalación de tubería para alimentador de Chiller.	1
Instalación de protecciones y cableado del alimentador eléctrico del Chiller.	2
Construcción de tablero RV.	4
Colocación de protecciones y cableado en cuarto eléctrico.	4
Instalación eléctrica para equipos de AA.	3
Instalación de contactos y luminarias en diferentes áreas.	4
TOTAL	42 días

Tabla 2.

La llegada del equipo de resonancia magnética al hospital marcaba la fecha límite para que la instalación eléctrica tuviera un avance mínimo del 90%, por esta razón fue indispensable concluir a tiempo los avances solicitados. Los materiales y equipos para la instalación eléctrica fueron suministrados conforme a los avances obtenidos.

Un Project Manager proveniente de la empresa fabricante del equipo, determinó el porcentaje de avance y autorizó la instalación eléctrica para dar inicio a la siguiente etapa de implementación del proyecto en la cual se realizaría la instalación del magneto, instalación del gabinete de electrónica y sistema de control. Estas actividades nos proporcionaron una semana más para concluir detalles en la instalación eléctrica y hacer algunas modificaciones dentro del cuarto eléctrico bajo solicitud del Project Manager e instaladores del equipo de resonancia magnética.

La importancia que tuvo la instalación eléctrica a la llegada de la resonancia magnética fue que la conexión de los gabinetes y tableros que conforman al equipo, se pudieron realizar dentro del tiempo estimado, y la puesta en marcha de los componentes críticos como son el compresor de helio y el sistema de enfriamiento Chiller impidieron la pérdida de helio que es el medio refrigerante del magneto.

Observando nuevamente la Tabla 2, se puede ver que el tiempo estimado para la implementación de la instalación eléctrica completa del equipo supera los 30 días estimados, este tiempo fue compensado con jornadas nocturnas y fines de semana teniendo en cuenta que otro factor en contra sería el tiempo de

² Tierra física

³ Subestación eléctrica.

traslado desde la Ciudad de México hasta Ciudad Madero Tamaulipas y viceversa, teníamos que disponer de 1 día por viaje, limitando la cantidad de tiempo de ejecución del trabajo en campo y teniendo que compensar estos avances con jornadas extra.

El personal que tentativamente estaría involucrado en la implementación de la instalación eléctrica para cumplir en tiempo con los trabajos estaría conformado por:

- Supervisor de instalaciones eléctricas.
- 1 Oficial eléctrico.
- 2 Auxiliares eléctricos.

Desafortunadamente no se pudo contar con el personal que solicité para realizar la instalación eléctrica, convirtiéndose en otro factor en contra.

A pesar de los inconvenientes presentados durante el periodo de ejecución de mi trabajo, pude cumplir en tiempo con los requerimientos solicitados en el proyecto, durante la puesta en marcha de la instalación eléctrica no se presentó ninguna incidencia logrando poner en marcha los componentes críticos del equipo de resonancia magnética. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- Se realizó una instalación eléctrica confiable, segura y de bajo costo.
- Se fomentó el mantenimiento a tableros y equipo eléctrico en instalaciones eléctricas del hospital.
- Se logró un sistema de tierras sencillo y con baja resistencia.
- Al finalizar con mi trabajo, la instalación eléctrica funcionó correctamente en todas las áreas que conforman la sala de RM.
- No se presentaron incidencias durante la puesta en marcha de la instalación.
- Se cumplió en tiempo con todos los trabajos realizados por mi área y las demás áreas involucradas en el proyecto.
- El hospital donde se instaló el equipo de resonancia magnética se convirtió en el segundo hospital a nivel estatal en tener esta nueva especialidad.

Conclusiones

A través de mi experiencia laboral, he tenido la oportunidad de conocer muchas aplicaciones que tiene la ingeniería eléctrica, sus alcances son muy amplios y el uso de los conceptos y habilidades que la conforman dependen del nivel de comprensión y desarrollo por parte del ingeniero eléctrico.

Cumplir los requerimientos plasmados en los planos de proyecto y Guía Mecánica del equipo, en conjunto con las normas existentes para el diseño de instalaciones eléctricas en México, me permitieron desarrollar satisfactoriamente una instalación eléctrica confiable, segura y de bajo costo para un equipo de resonancia magnética, mostrando, con este proyecto, la importancia que tiene la ingeniería eléctrica en el desarrollo de instalaciones dentro del sector salud. La experiencia adquirida durante la implementación del proyecto me permitió visualizar algunos de los alcances en el desarrollo de instalaciones eléctricas, que van desde su diseño y solicitud de materiales, hasta la gestión de recursos humanos y económicos.

La planeación y organización de las actividades a realizar, al igual que el cumplimiento de las mismas dentro de las fechas establecidas, fueron de suma importancia para concretar el proyecto. Los resultados obtenidos durante la puesta en marcha de la instalación eléctrica para el arranque de los componentes críticos de la resonancia magnética fueron los esperados, permitiendo dar inicio a las siguientes etapas del proyecto.

Al fomentar el mantenimiento a instalaciones eléctricas en el hospital se pudo garantizar una mayor calidad en el servicio eléctrico dentro de la institución, gracias al resultado obtenido del levantamiento que realicé pude determinar cuáles eran los puntos de riesgo y con base en ellos proponer alguna solución.

La ingeniería eléctrica tiene un gran impacto en todos los proyectos en los que se vea involucrada, ya que es una parte fundamental para el desarrollo de bienes y servicios para el bienestar de la humanidad.

Referencias

- INSTITUTO NACIONAL DE CARDIOLOGÍA IGNACIO SANCHEZ. Manual de procedimientos de Resonancia Magnética.
 - Final Planning M.AERA 1.5T SIEMENS. Mechanical Guide.
 - Data sheet MAGNETOM Aera, SIEMENS.
 - NOM-001-SEDE-2012. Instalaciones Eléctricas(utilización)
 - RV-CHILLER SIRIUS, SIEMENS. Technical Features.
 - Espacios Asistenciales-Resonancia Magnética
-
- www.amedl.com.mx/single-post/2017/03/22/¿Qué-es-la-COFEPRIIS-y-cuáles-son-sus-funciones