

**PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(RCM II) PARA EL LABORATORIO DE GEOFISICA-UIS**

JUAN SEBASTIAN CALDERON

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

**PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD
(RCM II) PARA EL LABORATORIO DE GEOFISICA-UIS**

JUAN SEBASTIÁN CALDERÓN SÁNCHEZ

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de
ingeniero mecánico**

**Director de proyecto
CARLOS BORRAS PINILLA
Ing. Mecánico; Ph.D, M.sc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2019

DEDICATORIA

A mi papá, Carlos Calderón y a mi abuela Judith Calderón porque siempre han sido fuente de amor y de apoyo, los amo, son mi más grande tesoro.

A Edith Calderón, doña Marina, Lina Cárdenas, Julián Salguero, Leonardo Mateus, Laura Prieto, Jeny Acevedo y cada una de las personas que estuvieron presentes en mi proceso en la universidad, han dejado una huella en mí que siempre recordaré.

A los profesores que de alguna manera hicieron algo para la superación de sus estudiantes.

AGRADECIMIENTOS

A la fuerza creadora, por permitirme llegar hasta aquí dándome el tesón para no desfallecer, por brindarme la oportunidad de estar en la universidad y darme tantas bendiciones.

Al director del proyecto Carlos Borrás Pinilla quien puso a mi disposición sus conocimientos para sacar esto adelante.

Al profesor José David Sanabria y las personas pertenecientes al laboratorio de Geofísica por la ayuda brindada siempre.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	19
1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO	21
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	23
1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO	25
1.3.1 Objetivo General.	25
1.3.2 Objetivos específicos	25
2. MARCO REFERENCIAL.....	27
2.1. LABORATORIO DE GEOFÍSICA.....	27
2.2 ORGANIGRAMA.....	28
2.3 DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL LABORATORIO	28
2.3.1 Misión.....	28
2.3.2 Visión.	29
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	29
3.1 NORMATIVIDAD ASOCIADA AL PROYECTO.....	29
3.1.1 Normas SAE JA-1011 y SAE JA-1012.....	29
3.1.2 Norma SAE J1739.	30
3.1.3 Norma internacional ISO 14224.....	31
3.1.3.1 Estructura de la información.	32
3.2 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO.....	33
3.2.1 Mantenibilidad.....	33
3.2.2 Confiabilidad.	33
3.2.3 Disponibilidad.....	34
3.2.4 Historia del mantenimiento.....	34

3.2.5 Finalidad del mantenimiento.	38
3.2.6 Objetivos del mantenimiento.	40
3.2.7 Tipos de Mantenimiento.	41
3.2.7.1 Mantenimiento correctivo.	41
3.2.7.2 Mantenimiento preventivo.	41
3.2.7.3 Mantenimiento conductivo.	41
3.2.7.4 Mantenimiento predictivo.	42
3.2.7.5 Mantenimiento cero horas.	42
3.2.7.6 Mantenimiento modificativo.	42
3.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD	43
3.3.1 Las siete preguntas del proceso RCM.	44
4. LAY-OUT, INVENTARIO, CODIFICACIÓN Y CREACION DE DOCUMENTACION ASOCIADA A LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO	50
4.1 LAY-OUT LABORATORIO DE GEOFISICA	50
4.1.1 Salón 407.	50
4.1.2 Salón 317.	50
4.2 LISTADO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO	51
4.3 DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LAS MAQUINAS	52
4.3.1 Valor comercial de los equipos.	52
4.4 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	53
4.7 CREACIÓN ORDENES DE TRABAJO	57
5. AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO	59
5.1 BLOQUES DEL CUESTIONARIO	61
5.1.1 Organización general.	61
5.1.2 Métodos y sistemas de trabajos.	62
5.1.3 Control técnico de instalaciones y equipos.	62
5.1.4 Gestión de la carga de trabajo.	62
5.1.5 Compra y logística de repuestos y equipo.	63
5.1.6 Sobre los sistemas informáticos.	63
5.1.7 Organización del taller de mantenimiento.	63

5.1.8 Herramientas y medios de prueba.	63
5.1.9 Documentación técnica.	64
5.1.10 Personal y formación.	64
5.1.11 Contratación externa.	64
5.1.12. Planificación y control de la actividad.	65
5.2 METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA	65
5.3 RESULTADO DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA.....	67
5.4 MATRIZ DOFA DEL LABORATORIO DE GEOFISICA	70
6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS EQUIPOS PERTENECIENTES AL LABORATORIO DE GEOFISICA.....	72
6.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD	72
6.2 MODELO AHP PARA ANÁLISIS DE EQUIPOS CRÍTICOS	73
6.2.1 Equipo de trabajo.....	74
6.2.2 Definición del Objetivo.	75
6.2.3 Criterios de Jerarquización.	75
6.2.3.1 Impacto ambiental (IA).	76
6.2.3.2 Nivel de severidad de falla (SF).	76
6.2.3.3 Tiempo de reparación (TR).	76
6.2.3.4 Impacto en la seguridad (IS).	77
6.2.3.5 Costos de mantenimiento.	77
6.2.3.6 Impacto en la producción (IP).	78
6.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP	81
6.4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA AHP EN LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GEOFÍSICA UIS.....	82
6.4.1 Árbol de jerarquías.....	82
6.4.2 Definición del peso de los criterios.....	83
6.4.3 Calculo de la consistencia.....	84
6.4.4 Evaluación de la criticidad.....	84
6.4.5 Resultado de criticidad.....	84

6.4.6 Organización de acuerdo al nivel de criticidad.....	86
6.4.7 Distribución normal.	86
7. APLICACIÓN RCM II EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) PARA LOS EQUIPOS ALTAMENTE CRÍTICOS.....	89
7.1 DESCRIPCIÓN DEL AMEF	89
7.2 NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO (NPR)	90
7.2.1 Severidad.....	91
7.2.2 Ocurrencia	93
7.2.2 Detección.....	94
7.3 REALIZACIÓN AMEF A EQUIPOS ALTAMENTE CRÍTICOS	95
7.3.1 Contexto operacional gravímetro	95
7.3.2 Hoja de información gravímetro	95
7.4 PROCESO DE DECISIÓN	96
7.4.1 Diagrama de decisión	96
7.4.2 Hoja de decisión	96
7.5 ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL LABORATORIO	98
7.6 INDICADORES GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO	101
8. ANÁLISIS DE COSTOS PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA	103
8.1 “TIR” TASA INTERNA DE RETORNO	103
8.3 COSTOS PREVISTOS DEBIDO AL MANTENIMIENTO BASADO EN RCM II EN EL LABORATORIO DE GEOFÍSICA	105
8.4 REPUESTOS.....	106
8.4.1 Elementos mantenibles de los equipos altamente críticos.....	106
9. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN	109
9.1 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR GMAO ...	109
9.2 REQUERIMIENTOS	111
9.3 PRESENTACIÓN GENERAL.....	112

9.3.1 Acceso al programa.....	112
9.3.2 Menú principal.....	114
9.3.3 Modulo “Maquinas”.....	114
9.3.4 Modulo “Inventario”.....	117
9.3.5 Modulo “Solicitudes de servicio”.....	118
9.3.5.1 Crear una solicitud de servicio.....	119
9.3.6 Módulo “Orden de trabajo”.....	119
9.3.7 Modulo “Prestamos”.....	122
9.3.8 Modulo “Tareas”.....	123
9.3.9 Módulo “Calendario”.....	124
10. SOCIALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	125
11. CONCLUSIONES.....	126
12. RECOMENDACIONES.....	129
BIBLIOGRAFÍA.....	130

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de los salones del laboratorio.....	27
Figura 2. Organigrama del laboratorio	28
Figura 3. Ejemplo estructura jerárquica según norma ISO 14224	32
Figura 4. Datos de los equipos	32
Figura 5. Estructura base de datos	33
Figura 6. Evolución del mantenimiento	38
Figura 7. Factores que influyen en la disponibilidad	39
Figura 8. Objetivos del mantenimiento.....	41
Figura 9. Diagrama de ishiwaka.....	46
Figura 10. Lay-Out Salon 407	50
Figura 11. Lay Out salón 317.....	51
Figura 12. Orden de trabajo.....	58
Figura 13. Ejemplo formato auditoria.....	60
Figura 14. Diagrama de araña sugerido	61
Figura 15. Metodología de auditoria	66
Figura 16. Diagrama araña resultado de la auditoria.....	68
Figura 17. Metodología AHP.....	74
Figura 18. Equipo para realizar AHP	75
Figura 19. Árbol de jerarquías.....	82
Figura 20. Diagrama circular peso de criterios	83
Figura 21. Representación de la distribución normal	87
Figura 22. Aplicación del AMEF.....	90
Figura 23. Formulación matemática NPR	91
Figura 24. Hoja de información Gravímetro	95

Figura 25. Hoja de decisión	97
Figura 26. Reporte de mantenimiento.....	100
Figura 27. Gráfico deducción indicadores.....	102
Figura 28. Acceso al programa	113
Figura 29. Usuario y password	113
Figura 30. Menú principal	114
Figura 31. Módulo maquinas	115
Figura 32. “Ver” en el módulo de prestamos.....	116
Figura 33. Módulo inventarios.....	117
Figura 34. Módulo solicitudes de servicio	118
Figura 35. “Ver” en módulo solicitudes de servicio	118
Figura 36. Creación solicitud de servicio	119
Figura 37. Orden de trabajo.....	120
Figura 38. Botón “ver” en el menú de órdenes de trabajo.....	121
Figura 39. Módulo “prestamos”	122
Figura 40. Módulo de tareas	123
Figura 41. Detalle de una tarea.....	123
Figura 42. Módulo “calendario”	124

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Listado de los equipos del laboratorio	51
Tabla 2. Valor económico de los equipos del laboratorio.....	52
Tabla 3. Formato de codificación	53
Tabla 4. Codificación equipos del laboratorio	54
Tabla 5. Hoja de vida	56
Tabla 6. Resultados auditoria	67
Tabla 7. Matriz DOFA	71
Tabla 8. Impacto ambiental.....	76
Tabla 9. Nivel de severidad de falla	76
Tabla 10. Tiempo de reparación	77
Tabla 11. Impacto en seguridad.....	77
Tabla 12. Costos de mantenimiento	78
Tabla 13. Impacto en la producción	78
Tabla 14. Valor alquiler equipos de geofísica	80
Tabla 15. Valor de Criticidad.....	85
Tabla 16. Tabla con valores de criticidad en orden descendente	86
Tabla 17. Intervalos de criticidad	87
Tabla 18. Severidad (S):	92
Tabla 19. Ocurrencia (O)	93
Tabla 20. Índice de detección (D)	94
Tabla 21. Consecuencias de los modos de fallo.....	98
Tabla 22. Agrupación de las tareas en rutas de acuerdo al tiempo de ejecución ..	99
Tabla 23. Ejemplo tabla de ruta	100
Tabla 24. Valor de los costos de mantenimiento correctivo.....	104

Tabla 25. Costo total proyecto	105
Tabla 26. Costos asociados al plan de mantenimiento.....	106
Tabla 27. Elementos mantenibles o de recambio para el Terraloc pro (407-TER-01).....	107
Tabla 28. Elementos mantenibles de recambio para el Stratagem Magnetotelurica (317-SMA-01)....	107
Tabla 29. Elementos mantenibles o de recambio para los gravímetros (407-GRA-01, 407-GRA-02).....	107
Tabla 30. Elementos mantenibles o de recambio para los magnetómetros (407-MAG-01, 407-MAG-02).....	108
Tabla 31. Elementos mantenibles o de recambio para el equipo walkTEM (407-WAL-01).....	108

LISTA DE ANEXOS

(Ver anexos adjuntos en el CD y pueden visualizarlos en la Base de datos de la biblioteca UIS)

ANEXO A. DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LOS EQUIPOS
PERTENECIENTES AL LABORATORIO DE GEOFISICA UIS

ANEXO B. CREACION DE FICHAS TECNICAS

ANEXO C. AUDITORIA DE MANTENIMIENTO

ANEXO D. AMEF EQUIPOS ALTAMENTE CRITICOS DEL LABORATORIO

ANEXO E. HOJAS DE DECISIÓN EQUIPOS ALTAMENTE CRITICOS DEL
LABORATORIO

ANEXO F. FORMATOS DE RUTAS PARA 317 Y 407

ANEXO G. MANUAL DEL SISTEMA DE INFORMACION

ANEXO H. CAPACITACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO Y SISTEMA DE
INFORMACION

RESUMEN

TITULO: PLAN MAESTRO DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD (RCM II) PARA EL LABORATORIO DE GEOFISICA-UIS*

AUTOR: JUAN SEBASTIÁN CALDERÓN SANCHEZ**

PALABRAS CLAVE: RCM, CONFIABILIDAD, GEOFISICA, MANTENIMIENTO, CRITICIDAD, AUDITORIA, GMAO.

DESCRIPCION:

El laboratorio de geofísica de la universidad industrial de Santander UIS, cuenta con equipos utilizados en la exploración geofísica del subsuelo a través de diversos métodos tales como: geoelectrónicos, sísmicos, gravimétricos, magnetométricos, entre otros. La gestión del mantenimiento para estos dispositivos ha sido correctiva, es decir, a medida que se presentan averías se van reparando. En el presente documento se desarrolla un plan de mantenimiento basado en RCM II para los equipos altamente críticos.

La creación del plan comenzó realizando un inventario de los sistemas y subsistemas que componen la instalación. Se codificaron los equipos de acuerdo a la norma ISO 14224 y se crearon las fichas técnicas.

Mediante un análisis AHP se clasificaron los equipos de acuerdo a su impacto en la instalación y en tres grupos: altamente críticos, medianamente críticos y no críticos. A los ocho equipos altamente críticos se les aplicó la metodología RCM II propuesta por Moubray, cuyo fin es encontrar tareas de mantenimiento que eviten o mitiguen las consecuencias de las fallas. Se realizó un análisis de costos mediante la evaluación de la TIR, se consultó con el fabricante el valor de los principales repuestos. Por último, se desarrolló un software de mantenimiento basado en PHP con siete módulos principales.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-mecánicas. Escuela de ingeniería Mecánica. Director: Carlos Borrás Pinilla

ABSTRACT

TITLE: MASTER PLAN BASED IN MAINTENANCE CENTERED ON RELIABILITY (RCM II) FOR THE LABORATORY OF GEOPHYSICS –UIS*

AUTHOR: JUAN SEBASTIÁN CALDERÓN SANCHEZ**

KEY WORDS: RCM, RELIABILITY, GEOPHYSICS, MAINTENANCE, CRITICITY, AUDIT, CMMS

DESCRIPTION:

The geophysics laboratory of the industrial university of Santander UIS, has equipment used in the geophysical exploration of the subsoil through various methods such as: geoelectric, seismic, gravimetric, magnetometric, among others. The management of maintenance for these devices has been corrective, that is to say, as breakdowns occur, they are repaired. In this document, a maintenance plan based on RCM II is developed for highly critical equipment.

The creation of the plan began by making an inventory of the systems and subsystems that make up the installation. The equipment was coded according to the ISO 14224 standard and the technical data sheets were created.

Through an AHP analysis, the teams were classified according to their impact on the installation and in three groups: highly critical, moderately critical and non-critical. The RCM II methodology proposed by Moubray was applied to the eight highly critical teams, whose purpose is to find maintenance tasks that avoid or mitigate the consequences of failures. A cost analysis was carried out through the evaluation of the IRR, the value of the main spare parts was consulted with the manufacturer. Finally, PHP-based maintenance software was developed with seven main modules.

* Bachelor Degree Project

** Physico-Mechanical Engineering Faculty, School of Mechanical Engineering. Director: Carlos Borrás Pinilla

INTRODUCCIÓN

El propósito de este trabajo es la creación de un plan de mantenimiento preventivo basado en RCM II para los equipos críticos que conforman el laboratorio de Geofísica de la universidad industrial de Santander, la elaboración de un software y un análisis de costos para el mantenimiento de estos.

La realización de esta obra se hizo en varias etapas, desde la adquisición de datos y organización pertinente de los mismos, auditoria interna de mantenimiento, análisis de criticidad, aplicación de la metodología RCM, creación de indicadores, análisis económico, hasta la entrega del software de mantenimiento y un plan de trabajo final para los equipos.

Como lo indica un boletín del ministerio de educación¹, hacia mediados de febrero del año 2014 la universidad crea la segunda maestría en geofísica del país. Dicha situación conlleva a la creación de un espacio físico, dotado de equipos de alta tecnología tales gravímetros, magnetómetros, entre otros., para llevar a cabo las diferentes investigaciones correspondientes a dicha especialidad. Desde ese momento hasta la fecha, no se había hecho esfuerzo alguno por lograr que los equipos tuvieran un control adecuado con respecto a su mantenimiento. La dirigencia del laboratorio en aras de prestar un mejor servicio a sus consultores, decide tomar acciones y concluye que es necesario realizar labores de mantenimiento a los dispositivos.

¹ MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. UIS ofrece segunda maestría en geofísica del país. [En línea]. (Recuperado en 10 de diciembre de 2018.) Disponible en <https://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-338115.html>

El presente documento establece una metodología de mantenimiento, crea esquemas de programación con base en asignación de recursos para garantizar la mejora en los procesos operativos de cada sistema y tomar las decisiones adecuadas encaminadas a alcanzar resultados óptimos en los requerimientos de los equipos pertenecientes a la instalación.

Gracias a la creación de acciones de mantenimiento se contribuye al mejoramiento en el servicio de investigación que presta el lugar, porque los equipos tendrán una tasa más alta de confiabilidad y disponibilidad. La implantación de la metodología RCM es favorable en cuanto se organiza la carga del mantenimiento, mejora la confiabilidad en la operación y asegura la preservación de las funciones del activo.

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La escuela de física perteneciente a la universidad industrial de Santander, establece dentro de los pilares de su misión incentivar la investigación científica, para llevar a cabo este propósito, cuenta con varios laboratorios tales como espectroscopia Atómica y molecular, plasma y corrosión, geofísica, entre otros. Los laboratorios mencionados anteriormente están ubicados en su mayoría en el edificio de ciencias de la universidad y cada uno de acuerdo a su especialidad, cuenta con equipos específicos afines al área de estudio.

El laboratorio de Geofísica, ubicado en los salones 407 de laboratorios livianos y 317 de la escuela de Geología, está conformado por los dispositivos que se listan en la tabla 1. Es necesario que los equipos estén disponibles, sean confiables y cada vez que los usuarios los requieran, poder garantizar el buen desempeño de estos obteniendo lecturas apropiadas de acuerdo con la capacidad de cada uno. A la fecha, no se cuenta con un conjunto de técnicas encaminadas, a conservar los dispositivos durante el mayor tiempo posible, con el máximo rendimiento y con alguna garantía en el resultado esperado al usar cada estación. En otras palabras, se encontró que en la instalación, no se usa ningún tipo de método o estadística que permita inferir que los equipos estarán en disposición de producir ciertas horas mínimas de trabajo en las actividades de investigación, lo cual equivale a tener una cuantiosa inversión subutilizada y con la posibilidad de incurrir en costos elevados si el fallo de los equipos obliga a contratar este servicio a terceros, ralentizar las adquisiciones de datos mientras se subsana la falla, o lo que es peor aún, la reposición prematura de un equipo de por si costoso.

En las visitas realizadas se encontró que no hay una manera de medir la capacidad del laboratorio a la hora de cumplir con los planes de trabajo previstos.

El departamento de mantenimiento tecnológico de la universidad, no tiene incluido dentro de sus actividades de mantenimiento los equipos del laboratorio, como consecuencia se reduce significativamente el ciclo de vida útil de cada uno de ellos al no ser monitoreados y controlados. Dicha falta de control por parte del departamento sobre la depreciación de los equipos, no permite asegurar una larga vida útil para estos. La inexistencia de una planificación al respecto, afecta notoriamente los diferentes objetivos que se hayan fijado los encargados del lugar referentes a disponibilidad, fiabilidad y costes asociados.

El departamento no tiene conocimiento del costo asociado a la operación del laboratorio, lo cual impide visualizar los presupuestos de inversión, reposición y mantenimiento de los equipos del laboratorio, generando emergencias que en algunos casos no podrán ser arregladas ya que no están incluidas dentro de los presupuestos asignados.

Dentro de los hallazgos encontrados en la auditoría realizada al laboratorio, se puede resaltar los siguientes:

- No existe hoja de vida, codificación, ni fichas técnicas de los equipos del laboratorio. El profesor titular del laboratorio de geofísica es quien por medio de anotaciones propias y experiencia conoce la información técnica pertinente.
- No se ha gestionado un software de mantenimiento, donde se pueda alimentar la información referente a fallas, cambios de piezas, préstamo o costos asociados al estado físico del activo.
- Debido a que no se ha generado una lista de chequeo, no se realiza ningún tipo de inspección antes de la operación de cada uno de ellos.

- No se realiza ningún tipo de capacitación a los encargados de los dispositivos, por tanto, existe una probabilidad alta de que se dé un mal manejo de los elementos.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

El laboratorio de geofísica se crea para atender necesidades de docencia e investigación de los estudiantes de la maestría en esta rama. Provee servicios a estudiantes, profesores y consultores externos que soliciten adquisiciones geofísicas, por esta razón, se hizo una inversión cuantiosa por parte de la universidad para dotarlo con equipos de alta tecnología que cumplan con estándares de calidad internacional.

Los encargados del laboratorio en búsqueda de mejorar la disponibilidad y operación de los activos, vieron la obligación de establecer protocolos de uso y acciones de mantenimiento, por esta razón en el presente trabajo se busca establecer un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM II), que minimice los tiempos de indisponibilidad y establezca métodos para actuar preventivamente frente a las potenciales fallas que puedan presentarse en los equipos, de esta manera se permitirá lograr que el laboratorio pueda ofrecer un servicio efectivo, siendo así más productivo y competitivo.

No se tiene evidencia alguna, sobre el control del tiempo que lleva en uso cada equipo, ni documentación técnica que sirva como soporte a los técnicos, laboratoristas o encargados del mantenimiento y operación. Una consecuencia de la situación expuesta anteriormente es que no se tenga claridad sobre el estado actual de los equipos y, por ende, se desconozcan por completo los posibles fallos que se puedan presentar por condiciones internas en el manejo del laboratorio, por ejemplo, situaciones tales como una carga excesiva de trabajo (demasiadas horas

en uso) u operación incorrecta del dispositivo (manejo en condiciones para las cuales no fue diseñado); con la implementación de esta herramienta se podrá resarcir cada uno de los inconvenientes mencionados anteriormente y se logrará un nivel de satisfacción más alto con los clientes internos y externos del laboratorio, posicionándolo a un nivel competitivo deseado.

Por medio de un mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II), se busca asegurar que los activos hagan lo que sus usuarios desean en el contexto operacional, para esto se realiza un proceso que determina sistemática y científicamente que acciones deben programarse por parte de los encargados del mantenimiento para lograr tal fin. Con este plan de mantenimiento el laboratorio podrá tener información sobre el estado de sus equipos, conocimiento de los costos asociados al mantenimiento además de una disminución en la probabilidad de fallas lo que redunda en una mayor disponibilidad de los dispositivos.

La elaboración del presente proyecto permitirá el conocimiento exacto del costo de mantenimiento de los equipos, le puede permitir al área de física generar tarifas de uso y suministro de los mismos, gracias a esto llegar a generar una unidad de ingresos al ofrecer servicios de laboratorio a las empresas sentadas en la región dedicadas a la minería y exploración geológica. Los encargados de la instalación estarán más próximos a buscar una certificación internacional ya que se tendrá un mejor manejo de los activos implementado normas como la ISO 14224, SAE JA 1011 y 1012.

Con la elaboración de esta investigación, se desea consolidar los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera, mejorar el rendimiento de los activos de la universidad específicamente los equipos pertenecientes al laboratorio de geofísica, apropiar e involucrar al personal relacionado con el laboratorio con el mantenimiento, documentar las operaciones, las fallas y las diferentes

eventualidades que se presenten. En consecuencia, se pretende que haya una toma de decisiones más eficiente encaminadas a mantener y proteger los activos.

El presente trabajo generará impactos positivos en el desarrollo de las actividades diarias de la instalación, gracias a que se obtendrá un plan de mantenimiento óptimo y bien documentado, se habrá adquirido documentación y bases de datos de mantenimiento que actualmente no existen; dicha documentación quedará como una guía de diagnóstico para futuras mejoras a dicho plan.

El proceso que se lleva a cabo con la elaboración del RCM ayudará a mejorar la vida útil de los componentes costosos. Se podrá preservar las funciones de seguridad y producción investigativa de los equipos, por medio de la identificación de los modos y causas de fallas, seleccionando tareas de mantenimiento y mejora que contribuyan a preservar dichas funciones.

1.3 OBJETIVOS DEL PROYECTO DE GRADO

1.3.1 Objetivo General. Fortalecer la generación y adecuación de conocimientos que establece la misión de la universidad, a través de la creación de un plan maestro de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM II), que permita aumentar la confiabilidad, disponibilidad y el buen estado de los equipos que componen el laboratorio de geofísica, adscrito a la escuela de física de la universidad industrial de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

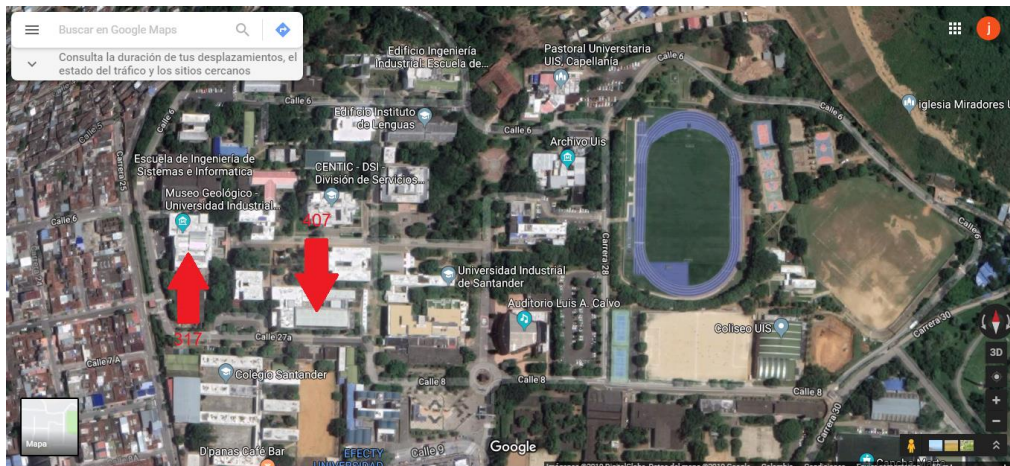
- Realizar una auditoria interna de la gestión del mantenimiento que se lleva a cabo en el laboratorio de geofísica de la universidad.

- Elaborar una clasificación y codificación de los equipos que hacen parte del laboratorio, a través de fichas técnicas, hojas de vida e inspección de los equipos, siguiendo la metodología contemplada en la norma ISO 14224.
- Identificación y análisis de los equipos críticos a través de una matriz de criticidad basada en criterios ponderados.
- Generar la hoja de información del AMEF para los diferentes equipos pertenecientes al laboratorio de geofísica de la universidad.
- Desarrollar un sistema de información por medio de PHP y/o Ruby que permita un mejor manejo de los activos, a través de módulos donde se permita visualizar información referente a cada equipo.
- Implementar la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) a los equipos, por medio de los estándares internacionales SAE JA 1011 y 1012, con el fin de desarrollar el plan maestro de mantenimiento.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. LABORATORIO DE GEOFÍSICA

Figura 1. Ubicación de los salones del laboratorio



Fuente. GOOGLE. Mapa de la universidad industrial de Santander. [En línea]. (Recuperado en 07 enero de 2019.) Disponible en <https://www.google.com.co/maps/dir/Uis,+Cl.+9+%2327,+Bucaramanga,+Santander,+Colombia/7.7716786,-73.3968984/@7.1397501,-73.120793,92m/data=!3m1!1e3!4m14!4m13!1m10!1m1!1s0x8e68156cdc612933:0x132a903398974d51!2m2!1d-73.120729!2d7.14033!3m4!1m2!1d-73.1409536!2d7.1581375!3s0x8e6815abfec23319:0xcb5cc436aba5042c!1m0!3e0?hl=es-419>

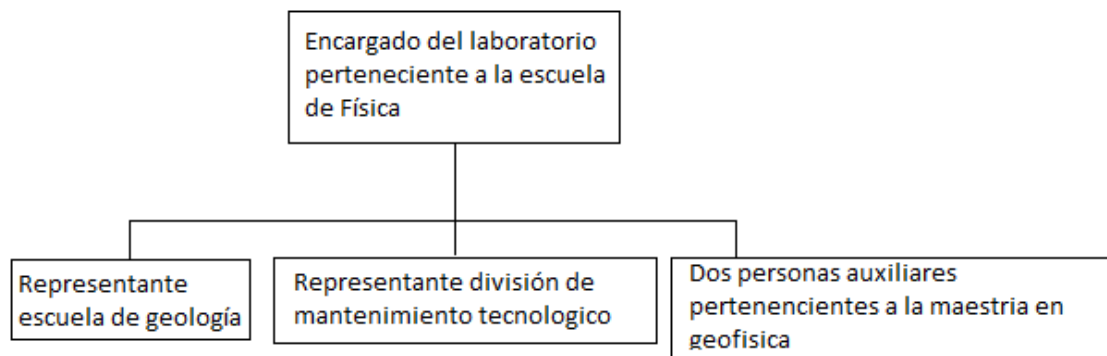
El laboratorio de geofísica cuenta con equipos especializados para la adquisición de datos eléctricos, magnéticos, gravimétricos y sísmicos. Uno de los principales usos de dicha información es la caracterización de estructuras concernientes al subsuelo. Se pueden considerar aplicaciones a ámbitos como la minería, geotecnia, diferentes obras civiles, estudios hidrológicos entre otros. Hasta el momento la

mayoría de las mediciones generadas en el laboratorio han sido empleadas en proyectos de investigación, tesis de pregrado y maestría.

Dentro del equipamiento e instrumentos con los que cuenta la instalación se tienen gravímetros, geófonos, equipo sísmico, magnetómetros, equipo de magneto telúrica, equipo de tomografía eléctrica, equipo de transiente electromagnético, sistema GPS diferencial, en el capítulo cuatro se hace un listado completo de los equipos.

2.2 ORGANIGRAMA

Figura 2. Organigrama del laboratorio



2.3 DIRECCIONAMIENTO ESTRATÉGICO DEL LABORATORIO

2.3.1 Misión. El laboratorio de geofísica de la universidad industrial de Santander tiene como misión realizar investigaciones en áreas como geomagnetismo, gravimetría, sismología y geodesia, a través de recursos humanos calificados y productos de investigación de alta calidad, busca suministrar soluciones a problemas de investigación de carácter nacional y relevancia para los científicos y empresarios locales.

2.3.2 Visión. Mediante las diferentes investigaciones que se realizan, el laboratorio busca ser un referente a nivel nacional en temas concernientes a las ciencias de la tierra; por medio de aportaciones en dicha rama y la vinculación con el sector público y privado, busca participar en el desarrollo del país en temas relacionados con geofísica.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 NORMATIVIDAD ASOCIADA AL PROYECTO

3.1.1 Normas SAE JA-1011 y SAE JA-1012. La norma SAE JA-1011 “Evaluation criteria for RCM Processes” es un documento de trece páginas, que establece los criterios mínimos que debe tener una estrategia de administración de recursos físicos para ser denominada RCM. Surge como una necesidad de la comunidad internacional para ponerse de acuerdo en dicha metodología ya que se crearon muchas que difieren del documento referencia creado por Nowlan y Heap, posteriormente publicado por el ministerio de defensa de estados unidos. Es importante resaltar que el documento describe un criterio mínimo mas no intenta definir un proceso RCM específico.

El alcance de esta norma está proyectado a cualquier organización que utiliza recursos físicos y desea cerciorarse si las políticas implementadas para manejar los modos de fallo cumplen con un criterio mínimo para ser denominados proceso RCM.

Inicialmente el documento describe unas definiciones básicas, posteriormente lista las siete preguntas del RCM que deben responderse. Da unos lineamientos para la selección de la política de administración de fallo, propone dos básicamente: tareas programadas y cambios de una vez y corrida a fallo.

El estándar SAE JA-1012 “A guide to the reliability- centered maintenance estándar”, básicamente aclara de manera más amplia los criterios listados en la norma SAE JA-1011, propone problemas que se deben tener en cuenta para aplicar la metodología correctamente. Las secciones de la 5 a la 14, 16 y 17 reflejan los que menciona la norma SAE JA-1011. La selección de políticas apropiadas de manejo individual de modos de falla y sus consecuencias, se evidencia en la sección 15. En la sección 18 se describen aspectos relacionados con los recursos esenciales para el correcto desarrollo del RCM.

Esta norma habla de los estándares de desempeño, los modos de falla en diferentes niveles de detalle, los patrones de falla, las fallas potenciales, la curva P-F, intervalos P-F y modos de fallo relacionados con la longevidad, intervalo de detección de fallas, disponibilidad, confiabilidad, algoritmo de decisión del RCM, entre otros.

3.1.2 Norma SAE J1739. “Potential failure mode and effects analysis in design (design FMEA) and potential failure mode and effects analysis in manufacturing and assembly processes (process FMEA) and effects analysis for machinery (Machinery FMEA)”. Este estándar tiene cuatro ediciones. La primera fue creada en 1994, editada en el 2000, posteriormente se saca una nueva edición en el 2002 y la última que sale en el 2009. La que se usa en el presente trabajo es la primera que consta de 68 páginas. La norma puede dividirse en tres grupos de actividades que se realizan en el AMEF: en primera medida se debe reorganizar y evaluar las potenciales fallas. En segunda instancia se identifican las acciones que permiten eliminar o reducir al mínimo la posibilidad de que la falla ocurra. Por último, la actividad que se propone es la documentación del proceso.

En términos generales la norma es una guía para la determinación de las funciones, fallas funcionales, causas y efectos del fallo del elemento en el contexto operativo,

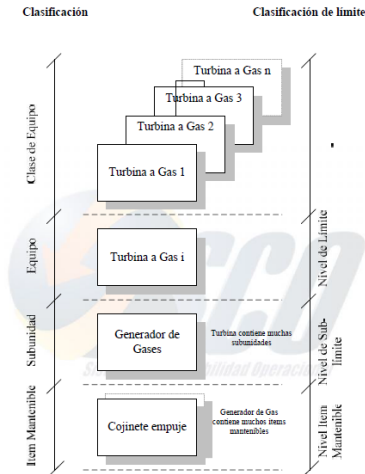
aplicación del AMEF (análisis de modos y efectos de fallas potenciales). El documento ayuda con la terminología, requisitos, hojas de trabajo y recomendaciones a la hora de llevar a cabo la realización del análisis y su posterior implementación.

3.1.3 Norma internacional ISO 14224. “Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural- Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos (ISO 14224:2016)”. Gracias a este estándar internacional se tiene un fundamento completo en la recolección de información referente a mantenimiento y datos de confiabilidad. La norma contiene información que permite definir el sistema a analizar, funciones, fallas funcionales y modos de falla ofreciendo ventajas como:

1. Se aprovecha la información desarrollada para un equipo de la misma clase y tipo que otro, gracias a que se establece una estructura jerárquica que uniformiza el análisis.
2. Se disminuye el riesgo de excluir tareas que previenen los modos de falla olvidados durante el brainstorming de los encargados de los equipos, gracias a que los modos de falla se definen por cada tipo de equipo, de forma ordenada y sistemática.

Esta norma ha sido preparada en base a OREDA, el cual es un proyecto de banco de datos adoptado por la mayoría de las industrias petroleras desde los años 80. A la hora de definir el sistema a analizar los estándares SAE JA 1011 y SAE JA 1012 no indican de manera clara como efectuar esta labor, mientras que la norma ISO ofrece información sobre como jerarquizar los equipos; para esto, la norma divide los equipos de mayor a menor jerarquía como se muestra en la siguiente figura:

Figura 3. Ejemplo estructura jerárquica según norma ISO 14224



Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma ISO 14224 (15, Julio, 1999). Industrias del petróleo y gas natural- Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. 1999, p. 1-71.

3.1.3.1 Estructura de la información. Con el fin de registrar la información de manera organizada la norma estructura tres frentes de trabajo. En primera medida categoriza los datos en tres grandes grupos: a) datos de un equipo, b) datos de la falla y c) datos del mantenimiento. Posteriormente da unos formatos para los datos como el ejemplo que se da en la siguiente imagen:

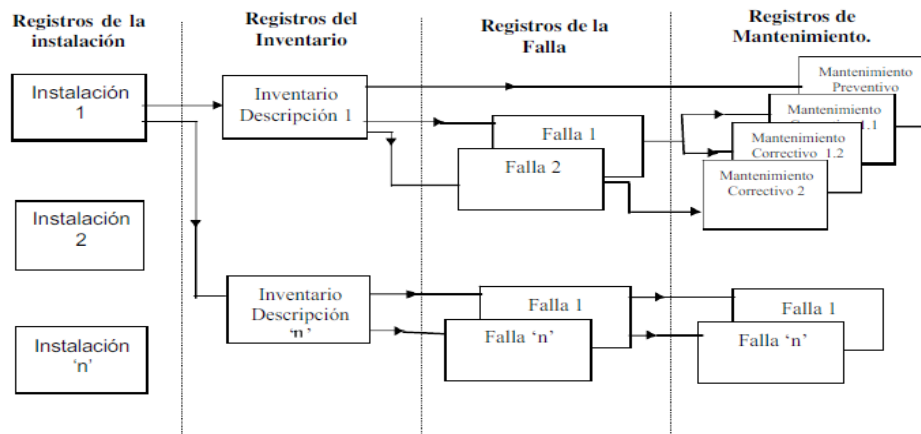
Figura 4. Datos de los equipos

Categorías Principales	Subcategorías	Datos
Identificación	Localización del Equipo	Número de Etiqueta del Equipo (*)
	Clasificación	Clase a la que pertenece la unidad de equipo (Ver anexo A) (*) Tipo de Equipo (Ver anexo A) (*) Aplicación (Ver anexo A) (*)
	Datos de la instalación	Código o nombre de la instalación (*) Categoría de la Instalación; Por ejemplo: Plataforma, Submarina, Refinería (*) Categoría de la Operación; Por Ej. Controlada en forma manual, por control remoto (*) Área Geográfica : Al sur del Mar del Norte, Mar Adriático, Golfo de México, Europa, Medio oriente.
	Datos de la Unidad de Equipo	Descripción de la unidad de Equipo (Nomenclatura) Número Único; Por Ej. El Número de Serie Redundancia de Subunidades; por Ej. El número de subunidades redundantes.
Diseño	Datos del Fabricante	Nombre del Fabricante (*) Diseño del modelo del Fabricante (*)
	Características del Diseño	Relevantes para cada clase de Equipo: Su capacidad, Poder, velocidad, Presión. Vea el Anexo A (*)

Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma ISO 14224 (15, Julio, 1999). Industrias del petróleo y gas natural- Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. 1999, p. 1-71.

Por último, propone una estructura como la que se muestra a continuación para la base de datos:

Figura 5. Estructura base de datos



Fuente: INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma ISO 14224 (15, Julio, 1999). Industrias del petróleo y gas natural- Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. 1999, p. 1-71.

3.2 GENERALIDADES DEL MANTENIMIENTO

3.2.1 Mantenibilidad. Característica inherente al elemento, asociada a su capacidad de ser recuperado para el servicio cuando se realiza la tarea de mantenimiento necesaria².

3.2.2 Confiabilidad. Probabilidad de que un dispositivo funcione adecuadamente durante un periodo determinado bajo condiciones operativas específicas³.

² MUÑOZ ABELLA, María Belén. Mantenimiento Industrial Tecnología de Máquinas 4º Ingeniería Industrial. [En línea]. disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/MANTENIMIENTO.pdf> p. 24.

³ Ibíd., p. 12.

3.2.3 Disponibilidad. Probabilidad de un sistema de estar en funcionamiento o listo para funcionar en el momento requerido⁴.

Cada vez más las instalaciones industriales, dispositivos electromecánicos y laboratorios científicos son más complejos, automatizados y costosos de mantener, debido a esto, el mantenimiento desde hace décadas se ha convertido en un factor crucial para la rentabilidad de los activos, ya que mantener una disponibilidad adecuada involucra recursos necesarios de alto coste.

El mantenimiento surge como una necesidad de la humanidad por mantener los activos funcionando correctamente, Santiago García lo define como “el conjunto de técnicas destinado a conservar los equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento”⁵. La definición anterior encierra solo una parte del mantenimiento que es la parte técnica, pero deja por fuera la económica, en otras palabras, podría decirse que el mantenimiento es una compleja actividad técnico-económica cuyo fin es la conservación de los diferentes activos de la instalación, pretende maximizar la disponibilidad de los dispositivos procurando que dicha labor se realice al mínimo costo posible.

3.2.4 Historia del mantenimiento. El mantenimiento aparece principalmente hacia mediados del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX, cuando la primera revolución industrial tiene gran auge y aparecen las primeras máquinas de vapor, textileras; algunos procesos como la extracción de hierro involucran el uso de maquinaria, es aquí cuando se hacen los primeros trabajos de reparación a las diferentes fallas que iban surgiendo. En este contexto, es donde nace el mantenimiento correctivo puesto que las tareas de mantenimiento estaban limitadas a arreglar averías.

⁴ Ibíd., p. 26.

⁵ GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003. p.1.

Con la producción en cadena hacia mediados de 1913, la cantidad de maquinaria industrial aumenta considerablemente generando que el trabajador invierta cada vez más tiempo de la producción en reparaciones, dicha situación no ha cambiado con el tiempo, la diferencia radica en que en ese contexto histórico empiezan a surgir los primeros equipos de mantenimiento cuyo fin era liberar tiempo del trabajador para ser utilizado en la producción.

Cuando Henry Ford nota en sus fábricas de automóviles que los fallos o paros forzosos, son un problema serio en los objetivos de producción, crea las primeras estadísticas sobre índices de averías.

Cuando irrumpe con fuerza la segunda guerra mundial, la industria militar aumenta la rapidez en la fabricación, empiezan a realizarse las primeras inspecciones y se sustituyen ciertas piezas a un determinado número de horas, sin embargo, esto representa un problema ya que se aumentan los costos y las piezas no agotan completamente su vida útil, es decir, se empieza a transformar la visión de arreglar las fallas cuando ocurren a intentar evitarlas.

En términos generales, Henry Ford, Frederick Winslow y Henri Fayol fueron los personajes más influyentes a la hora de darle un enfoque al mantenimiento tal y como lo conocemos hoy en día. Ford a través de FORD MOTORS COMPANY, crea las cadenas de producción en masa. Winslow Fue un ingeniero industrial y economista que invirtió gran parte de su vida a promover y fundar la organización científica del trabajo. Dentro de los primeros grandes contribuyentes a la administración clásica tenemos a Henri Fayol, básicamente crea el enfoque del proceso administrativo, escribió sobre problemas no estudiados por Taylor. Fayol concentra sus estudios en la dirección mientras que Taylor lo hace en el taller. En conclusión, gracias al aporte de estos tres personajes el mantenimiento adquiere una importancia vital en la organización en la medida que la administración, control,

seguimiento de sistemas eléctricos y mecánicos pasan a ser prioridad, permitiendo así la creación de departamentos de mantenimiento como se les conoce actualmente. Nacen los programas de mantenimiento preventivo como una necesidad para mantener la producción a gran escala logrando niveles de disponibilidad importantes.

El mantenimiento preventivo surge a partir de 1950, cuando un conjunto de ingenieros japoneses tiene en cuenta las recomendaciones de los fabricantes en cuanto a los cuidados que se deberían tener en la operación y mantenimiento de las maquinas. Hacia 1960 aparece un concepto denominado mantenimiento productivo, empieza a tener mayor relevancia el personal relacionado con el mantenimiento ya que las labores implicaban un nivel más alto de conocimiento de la confiabilidad de los equipos y la instalación, se empiezan a tener en cuenta consideraciones en cuanto a la confiabilidad, el diseño del equipo y de la planta.

En la década de los 70's, el mercado internacional empieza a globalizarse, razón por la cual todas las actividades productivas tienden a generar necesidades de excelencia, nace el concepto mantenimiento de "clase mundial" y con ello un sistema llamado TPM. El sitio web valbor soluciones hace la siguiente referencia a esta metodología: "La empresa TOYOTA MOTORS, implemento el TPM en su organización. El sistema fue creado por seichi Nakajima, en 1971. Dicho sistema integra a todo el personal de empresa bajo una filosofía basada en 8 pilares. Tal fue el éxito de este sistema que se expandió por todo el Japón, hoy en día es usado a nivel mundial"⁶. Este sistema nace en Toyota y luego se expande por el resto del mundo, es un concepto de mejoramiento continuo que involucra a todos los miembros de la organización hacia la optimización de los equipos. Hoy en día existen muchas filosofías concernientes al mantenimiento que tienen como objetivo

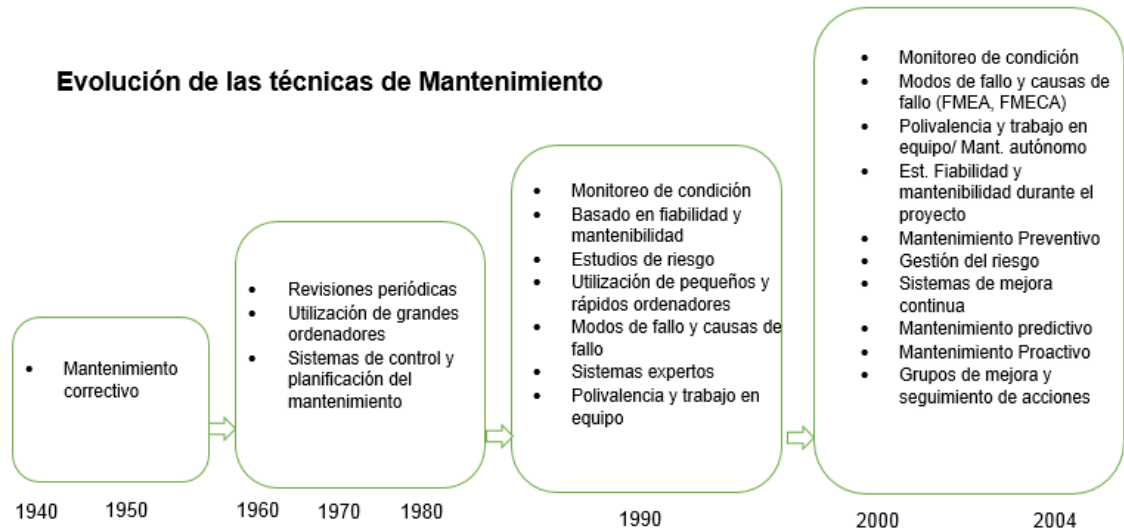
⁶ VALBOR SOLUCIONES. Breve historia mantenimiento industrial. [En línea]. (Recuperado en 05 enero de 2019.) disponible en <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/breve-historia-mantenimiento-industrial/>

común mejorar la calidad y el proceso productivo, dentro los principales modelos encontramos: 5S, RCM, TPM y KAISEN.

Muchos autores coinciden en que el desarrollo del mantenimiento tiene tres grandes generaciones (mantenimiento Correctivo, preventivo y predictivo) pero otra evolución histórica en relación a los objetivos que producción y mantenimiento se fijaron establece cinco etapas fundamentalmente. La primera cubre el periodo hasta la segunda guerra mundial y en ella se desarrolla el mantenimiento correctivo debido a que el enfoque es la reparación de fallas, producción se dedica a generar productos. En la segunda (entre 1950 y 1959) producción estructura un sistema productivo y mantenimiento se dedica a prevenir, predecir y reparar bajo planes programados. Durante el periodo entre 1960 y 1980 el equipo de mantenimiento buscar gestar y operar bajo un sistema organizado que se orienta a definir tácticas de mantenimiento, mientras que el área de producción enfoca toda su energía en mejorar la producción mediante el control de la productividad. La cuarta etapa (1981-1985) se caracteriza porque los encargados de producción buscan mejorar la competitividad a través de índices a nivel mundial. Por otro lado, mantenimiento se orienta a implementar alguna estrategia, que le permitiría medir los costos, predecir índices y compararse. Desde el último periodo, a partir de 1996 la gestión y operación integral de activos en forma coordinada entre ambas dependencias para anticiparse a las necesidades de los equipos mediante predicciones, pronósticos y gestión de activos.

A continuación, se muestra una figura donde se puede apreciar lo mencionado anteriormente:

Figura 6. Evolución del mantenimiento



Fuente: UGMA MANTENIMIENTO Evolución del mantenimiento [en línea] disponible en: <http://ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html>

3.2.5 Finalidad del mantenimiento. Anthony Kelly en su libro gestión del mantenimiento industrial establece: “ La función del mantenimiento es el control de la disponibilidad de la instalación o planta”⁷. Esta sencilla definición, encierra conceptos importantes que tienen que ver con la administración del mantenimiento y el diseño de los equipos.

El concepto de mantenibilidad puede ser definido mediante la siguiente operación matemática:

$$Disponibilidad = \frac{T_o}{T_o + T_p}$$

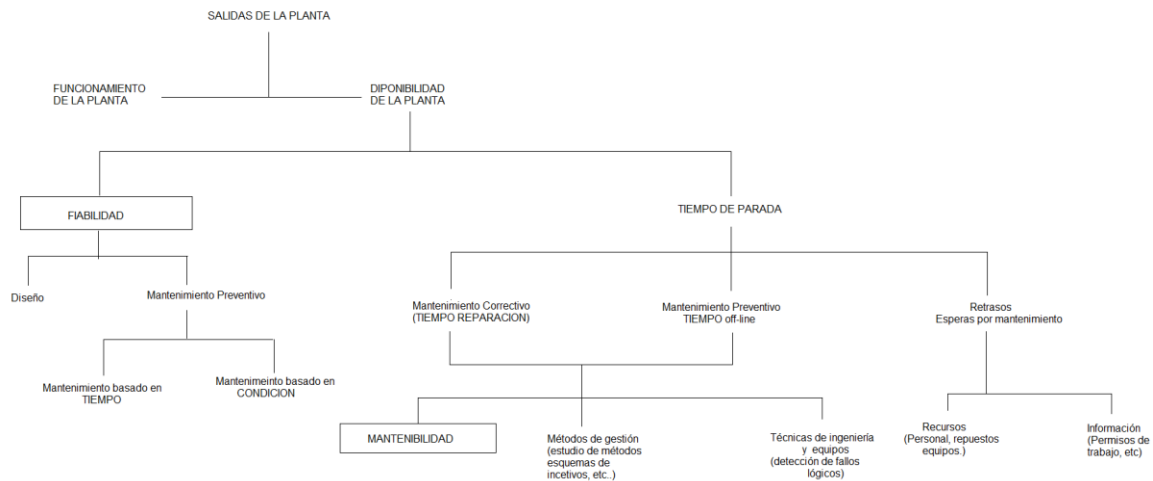
donde T_o : tiempo total de operación y T_p : Tiempo total parada

⁷ KELLY A.; HARRIS M. J. Gestión del mantenimiento industrial. p. 3.

Es importante resaltar que esta expresión tiene en cuenta solo dos situaciones de la instalación, una trabajando y otra en falla. Debido a que hay escenarios intermedios la variable T_p deberá modificarse, pero la esencia del concepto es la misma.

Los responsables del área de mantenimiento tendrán alguna influencia solo en T_p , en aquellas paradas donde se realicen acciones de mantenimiento. En la siguiente figura se puede observar los factores que afectan dichas paradas:

Figura 7. Factores que influyen en la disponibilidad



Fuente: KELLY A.; HARRIS M. J. Gestión del mantenimiento industrial. P.12.

Como se puede observar, a través del mantenimiento preventivo y correctivo el departamento de mantenimiento puede influir en la disponibilidad de los equipos y por ende en la productividad de la instalación. El establecimiento de un plan de mantenimiento es un problema complejo de gestión ya que involucra organización de los recursos y la información además de otros ítems; el presente documento plantea un modelo simple de mantenimiento que permite manipular dichos factores por medio de una estrategia y control de los mismos, lo que se traduce en el planteamiento de objetivos concretos a la hora de gestionar los activos.

3.2.6 Objetivos del mantenimiento. La gestión del mantenimiento se puede resumir como la operación de un conjunto de recursos (personal, repuestos y equipos)⁸, con el fin de mantener unos niveles de disponibilidad deseados. Podemos categorizar en tres grandes grupos dicha operación: control de la carga de trabajo, control del estado de la planta, control de costes.

La primera categoría tiene como objeto ajustar los repuestos, recursos humanos y los dispositivos al mantenimiento preventivo y correctivo. A este conjunto de tareas incumbe determinar las acciones correctivas necesarias, localización de fallas en la instalación, coordinación y control del personal.

En el control del estado de la planta, se puede decir que el enfoque es identificar los problemas más importantes, diagnosticar causas y dar soluciones.

En el control de costes se debe identificar las áreas de altos gastos en la instalación, monitorizar que tan efectivo es el mantenimiento, facilitar la realización del presupuesto del mantenimiento.

En conclusión, el área de mantenimiento debe tender hacia:

1. Maximizar el tiempo disponible de los equipos pertenecientes a la instalación, disminuyendo los defectos en la operación y las paradas imprevistas.
2. Conservar los activos en niveles deseados de producción.
3. Aumentar la eficiencia en el servicio que presta el área mejorando las diferentes técnicas operativas.
4. Asegurar que todo esto se cumpla con el mínimo costo posible.

Una representación un poco más grafica de lo mencionado anteriormente se da en la siguiente figura:

⁸ Ibíd., p. 5.

Figura 8. Objetivos del mantenimiento



Fuente: CÓRDOVA LUSPA, Fredy. Objetivos mantenimiento. [en línea] disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=wkn7TW6qYwM>

3.2.7 Tipos de Mantenimiento. RENOVETEC distingue cinco tipos de mantenimiento tradicionales de acuerdo a la naturaleza de las tareas a realizar⁹ :

3.2.7.1 Mantenimiento correctivo. Este tipo de mantenimiento se basa en ir arreglando las fallas a medida que van surgiendo, no requiere ninguna planificación. Este tipo de mantenimiento puede llegar a ser útil en algunas instalaciones, pero por lo general en aquellas donde se tiene una producción determinada no suele dar resultados.

3.2.7.2 Mantenimiento preventivo. Son un conjunto de tareas que tienen por objetivo mantener la instalación, a través de la compensación del desgaste que van sufriendo los equipos a medida que transcurre el tiempo antes de que ocurra una avería que afecte la producción. Dichas actividades se realizan midiendo las horas en uso de la instalación o por periodos naturales de tiempo.

3.2.7.3 Mantenimiento conductivo. es un subtipo del mantenimiento preventivo, es llevado a cabo por el personal de producción e involucra tareas sencillas como

⁹ RENOVETEC. Tipos de mantenimiento. [En línea]. disponible en <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

lectura de parámetros, ajustes sencillos, lecturas sensoriales, lubricación, configuración entre otras.

3.2.7.4 Mantenimiento predictivo. Es considerado el mantenimiento más tecnológico. Este grupo de tareas tiene como objetivo conocer el estado operativo de los equipos o la instalación, mediante la medición de variables físicas o químicas que representan la condición actual de estos. Hay diferentes técnicas que se aplican como por ejemplo análisis de vibraciones, termografía, análisis por ultrasonido, análisis de humos por combustión, entre otros. Es un poco complejo puesto que requiere alta inversión tecnológica y conocimientos técnicos muy avanzados.

3.2.7.5 Mantenimiento cero horas. Recibe otros nombres como overhaul, hardtime; este grupo de tareas tiene como objetivo revisar los equipos a intervalos programados. Por lo general se usa cuando la confiabilidad ha disminuido representado algún riesgo para la producción, es decir, antes de que se presente alguna falla. se lleva a cabo para devolver la instalación como cuando tenía cero horas de trabajo. En estas intervenciones se reacondicionan o sustituyen las partes que están expuestas a desgaste y pretende asegurar otro buen tiempo de uso.

3.2.7.6 Mantenimiento modificativo. Muchos autores no lo consideran otro tipo de mantenimiento, pero en muchas instalaciones estas acciones del departamento de mantenimiento representan algo positivo ya que aumentan la tasa de disponibilidad y minimizan los costos en reparaciones. Tiene su origen en el análisis de las averías y consiste básicamente en modificar la instalación para evitarlas.

3.3 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

Esta filosofía de mantenimiento surge en la industria de la aviación y luego se trasladó a la industria. Su desarrollo comprendió un periodo de aproximadamente 30 años; se documentó por primera vez en un escrito presentado por *F.S. Nowlan* y *H. F. Heap*¹⁰, posteriormente publicado por el departamento de defensa de los estados unidos hacia 1978. Ha sido muy útil a la hora de elaborar estrategias para el mantenimiento de los activos en múltiples actividades de la humanidad que involucra la generación de riqueza a través de procesos mecanizados y automatizados, o la prestación de servicios como la electricidad. Su uso ha sido tan difundido que la SAE (Society of Automotive Engineers), decide crear estándares como las normas JA 1011 y JA1012 para describir y clarificar los conceptos que involucra dicha metodología.

Muchos conocedores con experiencia en mantenimiento, coinciden en que uno de los grandes desafíos que enfrenta la creación de una estrategia de estas, es acertar en los resultados con las tareas que se pretende implementar bajo un costo razonable, con respecto a esto Moubray expresa: “No existe ninguna otra técnica comparable para determinar la cantidad mínima segura de tareas que deben ser hechas para preservar las funciones de los activos físicos, especialmente en situaciones críticas o peligrosas”¹¹.

Cuando alguien adquiere un activo, espera que cumpla cierta función en determinado espacio; luego, mantener dicho dispositivo, significa realizar tareas en pro de que la maquina haga lo que se desea durante cierto tiempo y en determinado contexto. La definición de John para dicha metodología es: “RCM es un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo

¹⁰ MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. Mantenimiento centrado en confiabilidad. [En línea] disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

¹¹ MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Leicestershire: Aladon Ltd., 2004. p. 19.

físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”.¹²

En términos generales esta metodología es un poco más compleja que las instrucciones por fabricantes o protocolos pre establecidos, pero tiene la ventaja que se enfoca en tratar de evitar los fallos o minimizar los efectos que estos pueden llegar a generar.

Esta metodología propone diferentes tipos de acciones encaminadas a evitar los fallos tales como:

- Generar un conjunto de tareas
- Modificaciones a la instalación
- Determinación de medidas en caso de que exista una falla
- Stock de repuestos
- Planes de formación tanto a operario como mantenedores

3.3.1 Las siete preguntas del proceso RCM. De acuerdo con Moubray esta metodología propone una serie de preguntas relacionadas al activo¹³ que se listan a continuación.

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?

Antes de encontrar algún tipo de tarea preventiva es necesario conocer que funciones y parámetros son los adecuados en el correcto funcionamiento del activo.

Moubray señala que hay dos tipos de funciones¹⁴:

¹² Ibíd., p. 20.

¹³ Ibíd., p. 20.

¹⁴ Ibíd., p. 21.

- Primarias: Se encuentran preguntándose por qué fue adquirido el activo.
- Secundarias: Se tienen alguna expectativa extra en cuanto a los criterios principales de adquisición, algunos ejemplos son seguridad, confort, integridad estructural, entre otros.

2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?

Básicamente los fallos funcionales, son aquellos daños que no permiten al activo cumplir con las funciones o parámetros que el operador o propietario del activo considera pertinentes.

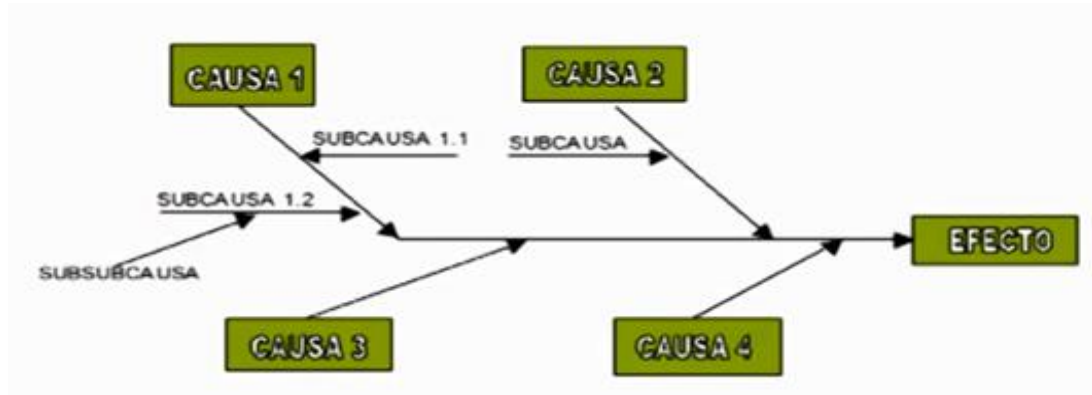
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?

Esta pregunta busca encontrar los hechos que de alguna manera pueden haber causado la falla, es decir, bastante con preguntarse el porqué de cada fallo para hallar los modos de fallo, aquí puede encontrarse daños ocasionados por deterioro o uso normal.

4. ¿Qué sucede cuando ocurre la falla?

Al responder esta pregunta se puede hacer un listado con los efectos de cada falla, consiste en hacer una descripción clara de lo que puede llegar a ocurrir con cada uno de los modos de falla encontrados. Un procedimiento mediante el cual se puede encontrar que causa la falla y su consecuencia, es mediante el diagrama de Ishikawa.

Figura 9. Diagrama de ishiwaka



Fuente: GARCÍA, Santiago. Capítulo 7 - Plan de mantenimiento basado en RCM [en línea] disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=qO-JR6UfKZs>

5. ¿En qué sentido es importante cada falla?

Uno de los beneficios más notorios de esta metodología es que establece que consecuencias de las fallas son más importantes, puede encontrarse que los modos de fallo están organizados en varias categorías desde crítico hasta insignificante; de acuerdo a esta clasificación se tomaran medidas acordes a la gravedad. En el libro RCM II, Moubray aclara que:” la única razón para hacer cualquier tipo de mantenimiento proactivo no es evitar las fallas *per se* sino evitar o reducir las consecuencias de las fallas”¹⁵. RCM II clasifica las fallas en cuatro categorías:

- **consecuencias de fallas ocultas:** Este tipo de averías pueden tener múltiples consecuencias de diferente magnitud y se caracterizan porque el impacto no es notorio.
- **Consecuencias ambientales y para la seguridad:** Si la falla expone a la organización a infringir alguna normativa medioambiental. Si, por otro lado, el daño puede ocasionar la muerte de alguien o la seguridad en general.

¹⁵ Ibíd., p. 23.

- **-Consecuencias operacionales:** Este grupo de consecuencias afecta de manera clara la calidad del producto, la producción, etc.
- **-Consecuencias no operacionales:** Aquí se encuentra aquellas que no afectan la seguridad ni la producción, solo el costo directo de la reparación¹⁶.

6. ¿Qué puede hacerse para prevenir cada falla?

Uno de los beneficios de categorizar las consecuencias de las fallas, es priorizar las tareas a realizar en la instalación para mitigar el efecto que tienen sobre el desempeño. Uno de los pilares en la administración de las fallas es que no toda falla es catastrófica y debe ser prevenida, en este sentido el enfoque se realiza sobre aquellas que son verdaderamente catastróficas.

La metodología propone dos tipos de tareas para el manejo de las fallas:

- **Tareas proactivas:** Por medio de estas acciones, se busca prevenir que el sistema o subsistema llegue al estado de falla, normalmente hace referencia a las tareas que pertenecen al mantenimiento preventivo y predictivo, aunque en la metodología se les conoce bajo el nombre de reacondicionamiento cíclico, sustitución cíclica y mantenimiento a condición. Las tareas de reacondicionamiento y las sustituciones cíclicas están enfocadas en reparar o sustituir algún componente antes de cierto límite de edad sin importar su condición en ese momento.

El mantenimiento a condición surge porque se desea prever las fallas potenciales, dicho concepto es la denominación que se da a las advertencias que presenta la máquina y que son medibles bajo ciertas condiciones físicas. El objetivo de estas tareas es detectar fallas potenciales y de esta manera actuar

¹⁶ Ibíd., p. 24.

para evitar las consecuencias que se generan si aparecen fallas funcionales. Este conjunto de acciones recibe su nombre porque el servicio de los componentes depende de su condición con respecto a los parámetros que se desea alcanzar en su operación. El mantenimiento predictivo, el mantenimiento basado en condición y el monitoreo hacen parte de esta categoría.

- **Acciones a falta de:** Este conjunto de labores se implementa cuando no es posible identificar alguna tarea proactiva. Dentro de las acciones que se incluye en este grupo esta: búsqueda de falla, mantenimiento a rotura y rediseño.

El primer grupo de acciones mencionadas involucra hacer revisiones periódicas para determinar si han fallado algunas funciones ocultas a diferencia de las tareas a condición cuya misión es revisar si algo está por fallar. El mantenimiento a la rotura busca dejar que el equipo opere *run to fail*, mientras que el rediseño busca hacer cambio a los componentes y procedimientos.

7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?

Cuando no es factible aplicar una tarea proactiva, ya sea porque no cumple ciertas características técnicas, o no evita la falla para la cual fue diseñada, deben buscarse una tarea a falta de adecuada.

La metodología establece criterios para la selección de las tareas¹⁷:

- Vale la pena seleccionar una *tarea proactiva* cuando **se reduce significativamente el riesgo de una falla múltiple a un nivel tolerablemente bajo**, si no es posible lograr esto por alguna razón se debe crear una tarea a *falta de* específicamente *una búsqueda de falla*. Si esta tarea no tiene efecto

¹⁷Ibíd., p. 28.

alguno sobre la posibilidad de falla se deberá buscar una segunda tarea a *falta de* como por ejemplo un **rediseño**.

- En el caso donde existe una posibilidad de falla que afecte el medio ambiente o la seguridad, es recomendable una tarea proactiva siempre y cuando el riesgo de falla se elimine o la probabilidad de que ocurra sea muy baja, de lo contrario se debe rediseñar o cambiar el proceso.
- Cuando una falla afecta la producción, es importante hacer una justificación en términos económicos, es decir, se debe evaluar si el costo de realizar dicha labor durante cierto tiempo es menor a dejar ocurrir la falla, luego este valor se obtiene al sumar el costo que se produce en producción más la reparación.

En conclusión, se observa que las tareas proactivas se deben llevar a cabo en las fallas que realmente afectan gravemente la instalación. se observa un distanciamiento en la manera en que tradicionalmente se realizan las labores preventivas, puesto que en el enfoque clásico estas se crean en base a las características de los equipos mas no en la gravedad que puede ocasionar alguna falla funcional.

4. LAY-OUT, INVENTARIO, CODIFICACIÓN Y CREACION DE DOCUMENTACION ASOCIADA A LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO

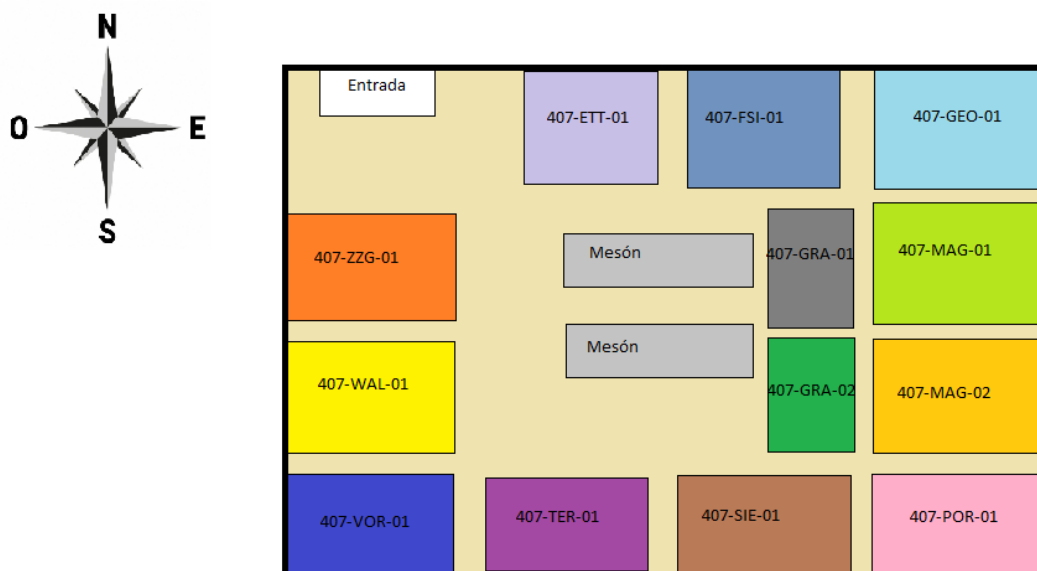
4.1 LAY-OUT LABORATORIO DE GEOFISICA

Un lay-out hace referencia al esquema de distribución de los elementos dentro de un diseño. El laboratorio comprende dos espacios físicos en donde se almacenan los equipos y se efectúan las diferentes actividades diarias.

4.1.1 Salón 407. Este salón está ubicado en el edificio de laboratorios livianos.

La siguiente imagen ilustra cómo se distribuyen los equipos en este espacio:

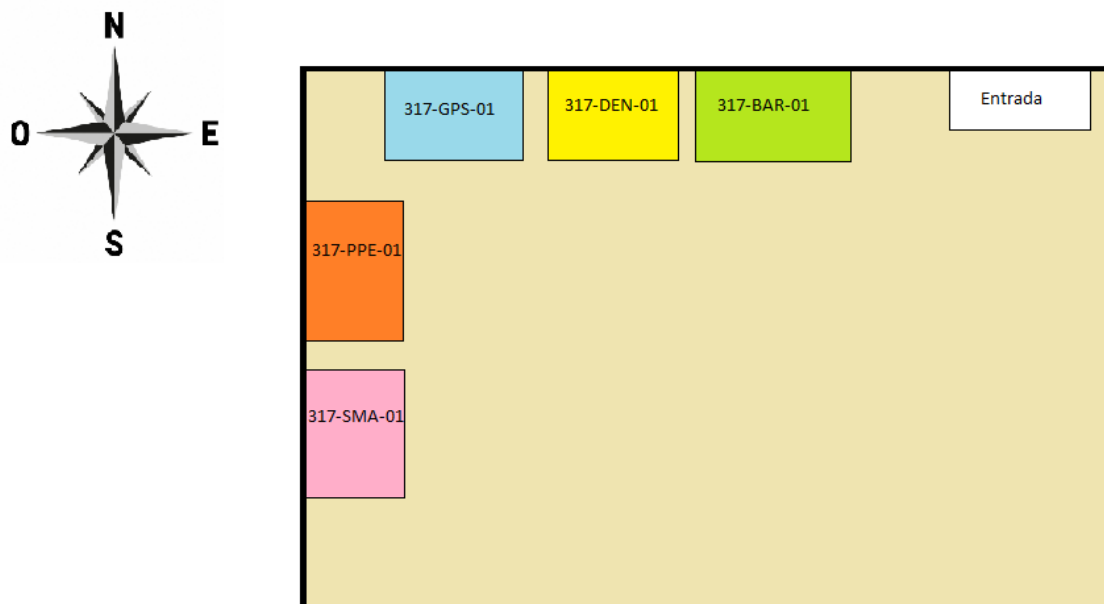
Figura 10. Lay-Out Salón 407



4.1.2 Salón 317. Este salón está ubicado en el edificio de petróleos y geología.

La siguiente imagen ilustra cómo se distribuyen los equipos en este espacio:

Figura 11. Lay- Out salón 317



4.2 LISTADO DE LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO

Tabla 1. Listado de los equipos del laboratorio

LISTA DE EQUIPOS LAB. GEOFÍSICA	
AREA	EQUIPO
SALON 407	2 Gravímetros
	2 Magnetómetros
	1 Stratagem Magnetotelurica
	1 Terraloc Sismica
	1 Equipo Walktem
	1 sierra Cortanucleos
	1 Gps diferencial
	1 Estación topográfica GEOMAX
	1 Equipo de medición de Vs en roca
	1 Porosimetro

LISTA DE EQUIPOS LAB. GEOFÍSICA	
AREA	EQUIPO
SALON 317	1 Equipo BARTINGTON
	1 Equipo zzgeo
	1 Fuente sismica
	1 probador ip. Propiedades electricas
	1 densímetro
	1 porosímetro ofite

4.3 DESCRIPCIÓN OPERACIONAL DE LAS MAQUINAS

Para conocer acerca del funcionamiento y principios científicos bajo los que operan los dispositivos remitirse al **ANEXO A**, en este anexo se muestra uno a uno cada dispositivo del laboratorio.

4.3.1 Valor comercial de los equipos. A Continuación, se muestra una tabla con el valor económico de los diferentes dispositivos que componen el laboratorio de geofísica:

Tabla 2. Valor económico de los equipos del laboratorio

EQUIPO	VALOR CON IVA (COP)
Bartington	60.950.263
Densímetro	282.132.486
Estación topográfica total	67.079.134
Fuente Sísmica	443.629.207
Georadar	81.629.750
Gps Diferencial	14.004.051
Gravímetros	32.353.968
Magnetómetro	114.870.683
Porosímetro Ofite	62.666.912
Probador IP prop. Eléctricas	77.849.905
Sierra Cortanúcleos	101.447.093
Stratagem Magnetotelúrica	150.665.697

EQUIPO	VALOR CON IVA (COP)
Terraloc sísmica	169.535.975
Velocidad de onda en roca	376.247.105
Walktem	172.788.000
Zzgeo	22.610.000
TOTAL	2.230.460.229

Como se puede observar de la tabla el valor total de los equipos es **2.230.460.229 COP** aproximadamente.

4.4 CODIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Para el laboratorio de geofísica-UIS, la identificación de sus equipos es una tarea compleja ya que no cuenta con un sistema de codificación. Por esto, es imperativo crear uno que le permita a la instalación conocer información asociada a cada dispositivo de manera sencilla y rápida. La norma ISO 14224 propone una taxonomía en términos generales, de acuerdo al uso/ubicación y sub-división de equipos, para los activos del laboratorio se usará un monocódigo con caracteres alfanuméricos de ocho dígitos como se muestra a continuación:

Tabla 3. Formato de codificación

UBICACIÓN	NOMBRE	CONSECUTIVO
xxx	xxx	##

- **Ubicación:** Son las tres primeras siglas y establecen en que espacio físico está el activo.

ÁREA DEL LABORATORIO	CÓDIGO
salón 407	407
salón 317	317

- **Nombre:** Esta parte de la codificación, representa las tres letras más significativas del nombre de cada equipo.

- **Consecutivo:** Cuando en el espacio físico existe el mismo tipo de activo, el consecutivo diferencia uno de otro.

Tabla 4. Codificación equipos del laboratorio

N°	EQUIPO	CODIGO		
1	Bartington	317	BAR	01
2	Densímetro	317	DEN	01
3	Estación topográfica total	407	ESG	01
4	Fuente Sísmica	407	FSI	01
5	Georadar	407	GEO	01
6	Gps Diferencial	317	GPS	01
7	Gravímetro	407	GRA	01
8	Gravímetro	407	GRA	02
9	Magnetómetro	407	MAG	01
10	Magnetómetro	407	MAG	02
11	Porosímetro Ofite	407	POR	01
12	Probador IP prop. Eléctricas	317	PPE	01
13	Sierra Cortanúcleos	317	SIE	01
14	Stratagem Magnetotelúrica	317	SMA	01
15	Terraloc sísmica	407	TER	01
16	Velocidad de onda en roca	407	VOR	01
17	Walktem	407	WAL	01
18	Zzgeo	407	ZZG	01

La tabla anterior muestra la codificación completa para los equipos de las dos instalaciones físicas del laboratorio de geofísica.

4.6 ELABORACIÓN DE LAS HOJAS DE VIDA

A través de la creación de las hojas de vida, se busca tener de manera clara y organizada la información correspondiente a cada equipo separada en tres bloques; por un lado, se tiene los datos técnicos, la condición de operación y datos relacionados al mantenimiento. Cada hoja de vida incluye imagen, datos referentes al fabricante, componentes mantenibles, entre otros. En el **anexo B** se encuentra el compendio de las hojas de vida tanto del salón 317 como del 407.

Tabla 5. Hoja de vida

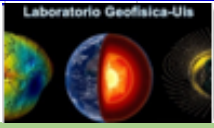
[illegible]

4.7 CREACIÓN ORDENES DE TRABAJO

La gestión en la reparación de los equipos en el laboratorio, no posee un procedimiento estándar ni una orden de trabajo con una estructuración lógica; no se tiene conocimiento asociado al costo de la intervención, ni información técnica. Para solución este inconveniente se crea una orden de trabajo dividida en tres partes.

La primera parte aporta información concerniente al dispositivo tal como identificación de la máquina. La segunda parte responde a preguntas como: ¿Por qué se realiza la intervención?, ¿Qué tipo de intervención se hace?, ¿Quién es el encargado?, ¿Dónde se hará la intervención?, ¿Cuándo se realizara?, ¿Cómo se realizará?; dicha sección incorpora una estructura asociada a los 5 porque (por qué, qué, quién, dónde, cuándo, cómo). Por último, la tercera parte tiene como objetivo crear una retroalimentación en la cual se hacen observaciones correspondientes a la intervención, a continuación, se observa una figura que corresponde a una orden de trabajo:

Figura 12. Orden de trabajo

ORDEN N°:	ORDEN DE TRABAJO PARA EQUIPOS LABORATORIO GEOFISICA			 	
F.A: 04/01/2019					
VERSION:1					
DATOS ASOCIADOS AL EQUIPO					
CODIGO DEL EQUIPO	EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	UBICACIÓN		
RESPONSABLE DEL EQUIPO	FABRICANTE	SERIAL	MODELO		
TIPO DE MANTENIMIENTO					
MANTENIMIENTO CORRECTIVO __ MANTENIMIENTO PREVENTIVO __ MANTENIMIENTO A CONDICION __ OTRO __					
MANTENIMIENTO SOLICITADO POR:		DURACION [horas,días]:			
MANTENIMIENTO ASIGNADO A:		MOTIVO SOLICITUD:			
LUGAR PARA LA REALIZACION DEL MANTENIMIENTO:					
DESCRIPCION DEL TRABAJO					
DESCRIPCION DE LA TAREA A REALIZAR :					
HERRAMIENTAS NECESARIAS					
ESPACIO PARA SER DILIGENCIADO POR EL ENCARGADO					
REPORTE DEL SERVICIO:					
OBSERVACIONES :					
FECHA DE INICIO:			FECHA DE FINALIZACION:		
REPUESTOS					
ID	REPUESTOS	CANTIDAD	VALOR UNI.	VALOR TOTAL	
COSTO TOTAL REPUESTOS:					
COSTOS ASOCIADOS					
COSTO INTERVENCION (repuestos y mano de obra)				\$	
COSTO TRANSPORTE				\$	
COSTO CONSUMIBLES				\$	
COSTO PARADA				\$	
OTROS (DESCRIPCION)				\$	
VALOR TOTAL (COP)					

5. AUDITORIA DEL MANTENIMIENTO

Antes de tomar alguna decisión sobre cómo se debe llevar a cabo la gestión del mantenimiento en el laboratorio o implementar la metodología RCM, es importante medir como se hace actualmente; una manera responsable de hacerlo es a través de una auditoria, en la cual se compara la situación existente con algún modelo deseado.

La metodología que se aplica aquí es la propuesta por el ingeniero Francisco Javier Gonzales en su libro *auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión*. El autor propone 12 bloques de análisis distribuidos en 128 preguntas¹⁸. Cada pregunta que se pretenda valorar tendrá una puntuación entre 0, 10, 20, 30 y 40, los bloques de análisis se expondrán en los siguientes numerales.

El presente análisis se sustenta con la colaboración del personal del laboratorio encargado de la operación de los equipos, el representante de la instalación por parte de la escuela de física, la persona perteneciente a la escuela de geología. Ellos de acuerdo a su experiencia, permitieron dar una ponderación más acorde a la realidad en el manejo de la instalación.

La siguiente imagen ilustra un modelo del cuestionario que será diligenciado para la evaluación:

¹⁸ GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004. p. 103.

Figura 13. Ejemplo formato auditoria

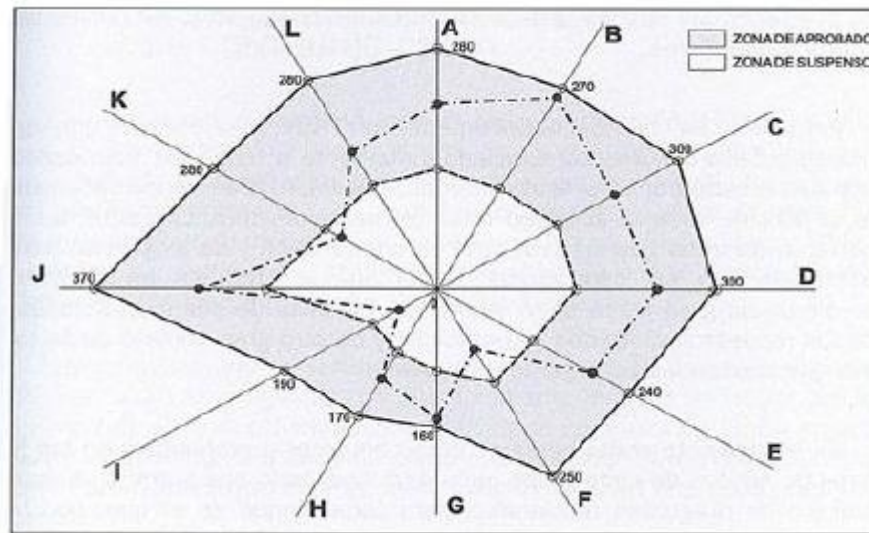
	no	más bien no	ni sí ni no	más bien sí	sí
J. PERSONAL Y FORMACIÓN					
1. ¿El ambiente de trabajo es en general positivo?	0	10	—	25	40
2. ¿Dirigen y supervisan correctamente los mandos intermedios los trabajos efectuados por los operarios bajo su responsabilidad?	0	10	—	20	30
3. ¿Se examinen en grupo los problemas a menudo, incluyendo también a los operarios (círculos de calidad, grupos de progreso)?	0	10	—	20	30
4. ¿Se llevan a cabo encuentros periódicos de apreciación entre el personal directivo y el operativo?	0	5	—	15	20
5. ¿Los mandos intermedios y los operarios están lo suficientemente disponibles? (Alargamiento de jornada laboral para acabar un trabajo, trabajar los sábados,...)	0	10	—	20	30
6. ¿Consideran Uds. en general que la formación técnica de su personal es satisfactoria?	0	15	—	35	50
7. En el trabajo diario ¿estiman Uds. que el personal tiene la iniciativa necesaria?	0	10	—	20	30
8. ¿Sus mandos intermedios aseguran de forma regular el perfeccionamiento del personal en materias técnicas?	0	—	15	—	30
9. ¿Reciben sus mandos intermedios formación en nuevas tecnologías gracias a estancias, visitas a constructores, a exposiciones, etc.?	0	—	15	—	30
10. ¿Recibe su personal formación en seguridad y prevención de accidentes de forma regular?	0	5	—	20	30
11. ¿Programa y domina la formación del personal el servicio de mantenimiento?	0	5	—	15	20
12. ¿Se sigue rigurosamente la cualificación y la habilitación del personal?	0	5	—	15	20
13. ¿Tienen Uds. pérdidas importantes de tiempo productivo debido a retrasos, ausencias?	0	20	—	10	—
14. ¿Son buenas las relaciones de su personal con los agentes de Producción o Explotación?	0	—	5	—	10
J - 370 puntos posibles					
Subtotal:					

Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, Francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004. p. 103.

En el ANEXO C. Se podrá encontrar cada bloque diligenciado, con el fin de tener una mejor comprensión del resultado otorgado por los cuestionarios. Se representará el puntaje obtenido por medio de un diagrama de araña como lo sugiere el autor antes mencionado¹⁹.

¹⁹ Ibíd., p. 168.

Figura 14. Diagrama de araña sugerido



Fuente: GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal.

Los temas a trabajar son:

5.1 BLOQUES DEL CUESTIONARIO

5.1.1 Organización general. En esta sección se pretende conocer si la instalación, en este caso el laboratorio, cuenta con una estructuración del departamento de mantenimiento por escrito en donde se especifiquen las responsabilidades y los organigramas perseguidos. Se evalúa si dichas responsabilidades y tareas que se han definido se comprueban o actualizan de manera periódica, o si están correctamente definidas las labores para los cargos medios.

Por otro lado, se hace una serie de cuestionamientos con respecto al presupuesto de funcionamiento y seguimientos sobre dicho rubro, también si existen o coordinan procesos enfocados a la mejora y/o formación de los encargados. Debido a que es de suma importancia llevar un historial de lo que se hace, un ítem importante aquí

es analizar si las diferentes operaciones ya sea preventivas o correctivas se ejecutan con órdenes de trabajo. Un punto que en el cual se hace hincapié es si se tienen objetivos claros o indicadores que sirvan para evaluar los resultados de los diferentes servicios prestados.

5.1.2 Métodos y sistemas de trabajos. Este bloque de preguntas busca identificar si la instalación cuenta con sistemas de planificación y preparación de trabajos importantes, es decir, aquellos que requieren de contratación externa o de alguna manera para la producción.

Es necesario determinar si el departamento está suficientemente organizado y cuenta con procedimientos escritos formales, en donde se justifique la adquisición de repuestos, maquinas, entre otros, con el fin de evitar subjetividades e improvisaciones. Es de mucho valor poseer información previa de las grandes intervenciones que se han hecho a los equipos, en el sentido que los encargados del mantenimiento tendrán una mayor preparación y su posición será más cómoda a la hora de intervenir.

5.1.3 Control técnico de instalaciones y equipos. Este conjunto de cuestionamientos busca identificar, por ejemplo, si la instalación cuenta con una lista de inventarios adecuada (con ubicación y código), hoja de vida. Otro ítem dentro de este bloque de preguntas, pretende identificar si se hacen registros de las modificaciones, la supresión de equipamientos y en términos generales las intervenciones llevadas a cabo en cada uno asociando sus costes. No basta con tener conocimiento del manejo técnico, es realmente importante auditar como se van llevando dicho control y analizar el coste real del ciclo de vida de cada equipo.

5.1.4 Gestión de la carga de trabajo. Estas doce preguntas tienen como objetivo indagar que tanto control se tiene sobre el mantenimiento preventivo, mantenimiento rutinario, solicitudes de trabajo, prioridad a la hora de asignar los

trabajos, entre otros. De la pregunta 9 a 12 se intenta responder si la organización puede tener un control sobre la carga de trabajo por medio de reuniones periódicas, planning semanal, etc.

5.1.5 Compra y logística de repuestos y equipo. Según el autor de los bloques de preguntas, es importante que los elementos , repuestos, utillaje y maquinaria de mantenimiento dispongan de un lugar en donde no se mezclen con otros repuestos, dispositivos o medios²⁰, la primera interrogante plantea responder si en la instalación se dispone de dicho espacio físico. En la segunda pregunta se rompe con el paradigma de que el almacén tenga todos los consumibles, porque afirma que los productos de usual consumo deben estar disponibles para los operarios.

5.1.6 Sobre los sistemas informáticos. La ofimática desde su invención ha buscado agilizar los procesos administrativos, el autor es explícito al afirmar que es imprescindible la informatización del departamento de mantenimiento²¹. Se hace hincapié en que el uso de una herramienta informática no es suficiente, se debe buscar que sea lo más amigable posible con los operario y usuarios, es por esto que las preguntas 5 a 6 indagan sobre esto.

5.1.7 organización del taller de mantenimiento. Este cuestionario tiene por objeto responder: ¿se tiene un espacio físico para el departamento?, ¿está bien ubicado el almacén de herramientas y repuestos?, las zonas destinadas a los diferentes tipos de materiales, ya sean útiles o averiados ¿están correctamente identificados y delimitados?.

5.1.8 Herramientas y medios de prueba. La evaluación de lo que se pretende aquí es de suma importancia ya que los equipos del laboratorio deben estar correctamente calibrados. Estas diez preguntas precisan si la instalación cuenta con

²⁰ Ibid., p. 137.

²¹ Ibid., p. 142.

un inventario de las herramientas y medios de prueba, si dispones de alguna propia o de acceso inmediato. La pregunta tres establece si hay un procedimiento de verificación y calibración de herramientas bien definido. Otro ítem que concierne al uso de los equipos del laboratorio es si existe un proceso de puesta a disposición o bono de responsabilización de herramientas en caso de que ser usadas por un contratista.

5.1.9 Documentación técnica. El bloque que corresponde a la documentación técnica es uno de los más cortos, consta de ocho preguntas. La pregunta fundamental es si se dispone de documentación técnica tal como: código de entorno y nocividad, regulaciones, mecánica de construcción, especificaciones eléctricas²². Otros tres puntos importantes que se analizan aquí son la disposición de planos, desglose de subsistemas e instrucciones técnicas de uso y utilización.

5.1.10 Personal y formación. El ambiente laboral es un determinante del éxito de una organización²³, por tal motivo una de los principales objetivos de este bloque es responder cual es la percepción del equipo de labores con respecto a la calidad del ambiente de trabajo, analizando si es positivo por medio de cuantificación con respecto a las reuniones periódicas, comunicación abierta, motivación, participación en la realización de objetivos, entre otros. La pregunta seis busca responder si la formación técnica del equipo de trabajo es la adecuada, por otro lado, la siguiente interrogante responde si el equipo es suficiente proactivo en la realización de las labores.

5.1.11 Contratación externa. Debido a que el laboratorio se involucra con múltiples organizaciones externas, ya sea proveedores o clientes, este apartado es muy importante. La primera cuestión plantea si se tiene un proceso de evaluación formal

²² Ibíd., p. 155.

²³ GERENCIE. El ambiente laboral es un factor determinante en la productividad del trabajador. [En línea]. disponible en <https://www.gerencie.com/el-ambiente-laboral-es-un-factor-determinante-en-la-productividad-del-trabajador.html>

con los contratistas; las siguientes buscan encontrar si se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajos, si la selección de los contratistas se lleva a cabo con ciertos criterios técnicos. Dentro de la evaluación de la contratación externa, la interrogante sobre las cláusulas de los resultados en los contratos es de suma importancia ya que en las entrevistas y los documentos involucrados no se tuvo evidencia sobre esto. Por último, el cuestionario pregunta si existe una persona que lleve un control del trabajo de contratistas y un procedimiento riguroso para esto.

5.1.12. planificación y control de la actividad. Uno de los objetivos del mantenimiento es el control de costos referentes al departamento, este cuestionario formula por ejemplo si se dan informes sobre el control de las horas de trabajo, los costes de mano de obra o los repuestos necesarios en cada intervención. Es importante conocer si se es posible cruzar los costes por tipo de mantenimiento, equipamiento o sistema de acuerdo a cada sección. Se debe revisar si se emiten informes regularmente, en cada mes o anualmente. A continuación, se establece la metodología para el desarrollo de la auditoria.

5.2 METODOLOGÍA DE LA AUDITORIA

Con el fin de lograr un adecuado diagnóstico, se precisó de un proceso de identificación y clasificación de los elementos pertenecientes al laboratorio en sus actividades diarias a través de visitas, como resultado se obtuvo un resumen con un análisis tanto cuantitativo como cualitativo de dichos elementos.

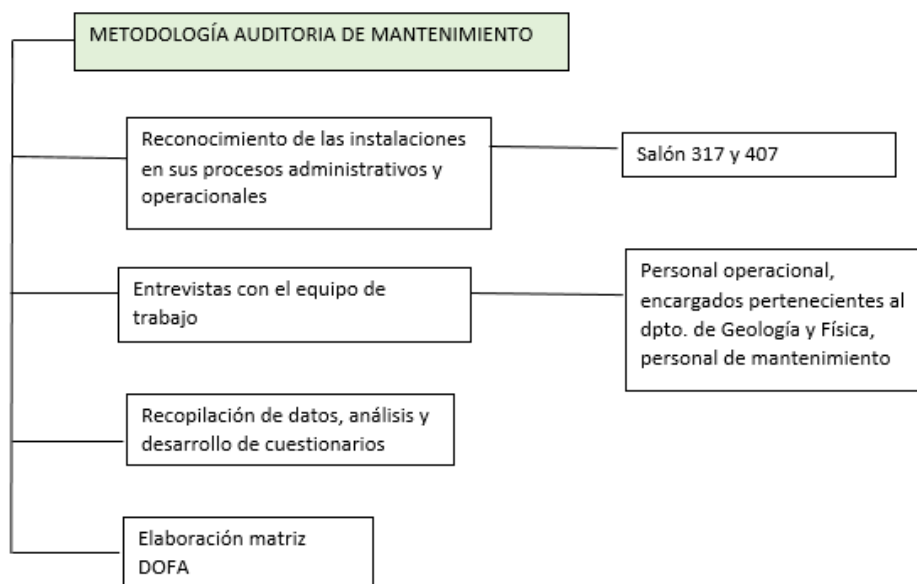
Gracias a la explicación de la auditoria y por medio de juicios valorativos de los miembros del equipo de trabajo pertenecientes al laboratorio, se logró tener una aproximación del contexto de trabajo y mantenimiento, se usó métodos como lluvia

de ideas y revisión de documentos, como consecuencia se generó un documento de las entrevistas.

Se hizo una recopilación y análisis de los datos obtenidos hasta el momento, posteriormente se procedió a diligenciar cada una de las encuestas con la ayuda del grupo de personas mencionado anteriormente dando como resultado una puntuación cuantitativa.

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar una matriz DOFA enfocada a tener una idea clara del estado actual del lugar, es decir, determinar fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas.

Figura 15. Metodología de auditoria



5.3 RESULTADO DE LA AUDITORIA DE MANTENIMIENTO EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA

De acuerdo a los cuestionarios desarrollados, la situación que presenta la gestión del mantenimiento se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Resultados auditoria

	Cuestionario	Estado laboratorio	Estado aceptable	Estado ideal
A	Organización general	31	140	280
B	Métodos y sistemas de trabajo	15	135	270
C	Control técnico de instalaciones y equipos	13	150	300
D	Gestión de la carga de trabajo	10	150	300
E	Compra y logística de repuestos y equipos	9	120	240
F	Sistemas informáticos	0	125	250
G	Organización del taller de mantenimiento	33	80	160
H	Herramientas y medio de prueba	35	85	170
I	Documentación técnica	17	95	190
J	Personal y formación	107	185	370
K	Contratación	50	140	280
L	Control de actividad	37	140	280

Con el fin de tener mayor claridad en los resultados obtenidos, se presenta el siguiente diagrama radial:

Figura 16. Diagrama araña resultado de la auditoria



En términos generales se tuvo en cuenta tres situaciones, *un estado ideal* cuyo color en el diagrama es verde, un *estado aceptable* (línea amarilla) y en tercer lugar el *estado de la instalación* (rojo).

De acuerdo al análisis realizado, se encontró que el funcionamiento general con respecto al mantenimiento del laboratorio está muy por debajo del escenario planteado como aceptable. Las políticas que actualmente se manejan son casi nulas y se recomienda plantear alguna estrategia encaminada a mejorar la disponibilidad, confiabilidad, vida útil de los equipos y la creación de un presupuesto para llevar esto a cabo.

Se observó que el laboratorio no cuenta con un software de mantenimiento, razón por la cual fue el bloque con peor calificación, seguido de compra y logística de repuesto y equipos, ya que no existe un procedimiento específico para tal, ni un

stock de repuestos definido, generando que en caso de alguna avería no se puede tomar alguna acción que propenda la reparación en el menor tiempo posible.

La gestión del trabajo también tuvo una calificación deficiente, puesto que no se tuvo evidencia de acciones de mantenimiento por parte del equipo de trabajo ni el grupo de mantenimiento asociado, no hay reuniones periódicas en donde se traten temáticas como planificación, reglas que permitan definir prioridades, entre otros.

No existe por escrito o digital, un documento donde se establezcan responsabilidades y funciones por parte del personal operativo y de mantenimiento. Por otro lado, e cuenta con tareas programadas de mantenimiento preventivo a los equipos ni alguna metodología que este en función de aumentar la disponibilidad o confiabilidad.

Como no se tiene un sistema informático, es muy complejo tener un registro sobre la vida útil de los equipos y las diferentes intervenciones que se les realiza ya sean correctivas o preventivas. No se puede cuantificar el desempeño porque no hay una política clara sobre los indicadores, no hay forma de ver la frecuencia de las intervenciones ni un manejo adecuado de las fallas, hay serias falencias sobre la documentación que permita detectar los posibles modos de fallo que pueden afectar los equipos y la forma en que deben manejarse.

Se hace imperativo implementar una política de mantenimiento basada en confiabilidad cuyo objetivo sea el aumento de la disponibilidad, mejora en el manejo de los recursos, aumento de la confiabilidad. La implementación del proceso RCM II permitirá mejorar la vida útil de los equipos y protocolos para un mejor funcionamiento de los activos.

5.4 MATRIZ DOFA DEL LABORATORIO DE GEOFISICA

Es una herramienta de análisis organizacional, recibe su nombre por lo que significan sus siglas:

(D) DEBILIDADES: Este ítem responde ¿qué necesito para alcanzar los objetivos de la organización?

(O) OPORTUNIDADES: Aquellos aspectos del entorno que permiten actuar proactivamente.

(F) FORTALEZAS: Hace referencia a lo que posee de lo que necesita la organización para alcanzar los diferentes objetivos.

(A) AMENAZAS: Aquellos eventos que pueden afectar drásticamente la realización de los objetivos.

Es una metodología de autodiagnóstico externo e interno y se utiliza en muchos casos como un medio para determinar estrategias organizacionales. Fue ideada por Albert S. Humphrey²⁴, es una herramienta de bajo costo que puede generar resultados objetivos. Luego de la auditoria se procede a definir la matriz DOFA para definir aquellos aspectos internos y externos que de alguna manera afectan y definen el funcionamiento del laboratorio, la matriz se representa en la siguiente tabla:

²⁴ WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE. Análisis DAFO. [En línea]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_DAFO

Tabla 7. Matriz DOFA del laboratorio de Geofísica UIS

Factores internos	FORTALEZAS	-Alto nivel de competencia del personal respecto a nivel académico y experiencia. -En la zona oriental del país es el único laboratorio dotado de equipos de dicha índole. -Investigaciones de calidad concernientes a temas geofísicos.	DEBILIDADES	-Falta métodos y sistemas de trabajo en términos organizacionales. -Falta documentación técnica. -No existe una metodología para la contratación externa y la compra de repuestos y equipos.
Factores externos	OPORTUNIDADES	. Posibles adquisiciones de datos por parte de la industria minera en la zona. -Registro y control de actividades. -Implementación de un sistema de información.	AMENAZAS	-Disminución del presupuesto para la adquisición de equipos o repuestos. -Circunstancias ambientales a pie de obra que puedan afectar los dispositivos. -Desconocimiento de los proveedores cercanos en caso de avería.

6. ANÁLISIS DE CRITICIDAD A LOS EQUIPOS PERTENECIENTES AL LABORATORIO DE GEOFISICA

6.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Un análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos²⁵. El laboratorio de geofísica posee una serie de equipos cuyo fin es la investigación y adquisición de datos; es claro que no dispone de recursos ilimitados a nivel económico y humano para su funcionamiento, por esto se necesario establecer una lista que pondera los elementos desde el más crítico al menos importante, ya que la toma de decisiones referentes al manejo de los recursos debe hacerse en base a una comparación en cuanto que equipo afecta más de una manera u otra el correcto desempeño de la instalación. En este momento los encargados del lugar, no tienen presente que tanto puede perjudicar las actividades diarias la avería de un dispositivo u otro, como consecuencia no hay una priorización de las tareas que se realizan día a día.

La metodología RCM II se aplicará a aquellos equipos que si llegarán a fallar afectarían de manera crucial las operaciones del laboratorio (críticos), ya sea porque generarían grandes pérdidas económicas o se verían seriamente afectados los usuarios de los equipos, a partir de varios criterios presentes en el análisis de criticidad, se jerarquizan los equipos y se podrán enfocar los esfuerzos a donde sea más importante y necesario.

²⁵ DÍAZ CONCEPCIÓN, Armando, *et al.* Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos Ingeniería Mecánica Vol. 15 No. 1 La Habana ene.-abr. 2012. [En línea]. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442012000100004

6.2 MODELO AHP PARA ANÁLISIS DE EQUIPOS CRÍTICOS

Denominado proceso de análisis jerárquico (Analytic Hierarchy Process), es una metodología diseñada para resolver problemas complejos de criterios múltiples. Fue desarrollado Thomas L. Saaty en 1980²⁶ y pretende que quien toma las decisiones otorgue pautas subjetivas en cuanto a la importancia en cada uno de los criterios para posteriormente especificar su preferencia con respecto a las alternativas y criterios previamente definidos, su resultado es una jerarquización con prioridades en donde se muestra la preferencia de cada una de las alternativas de decisión. El modelo permite enfocar los recursos y esfuerzos donde es más importante.

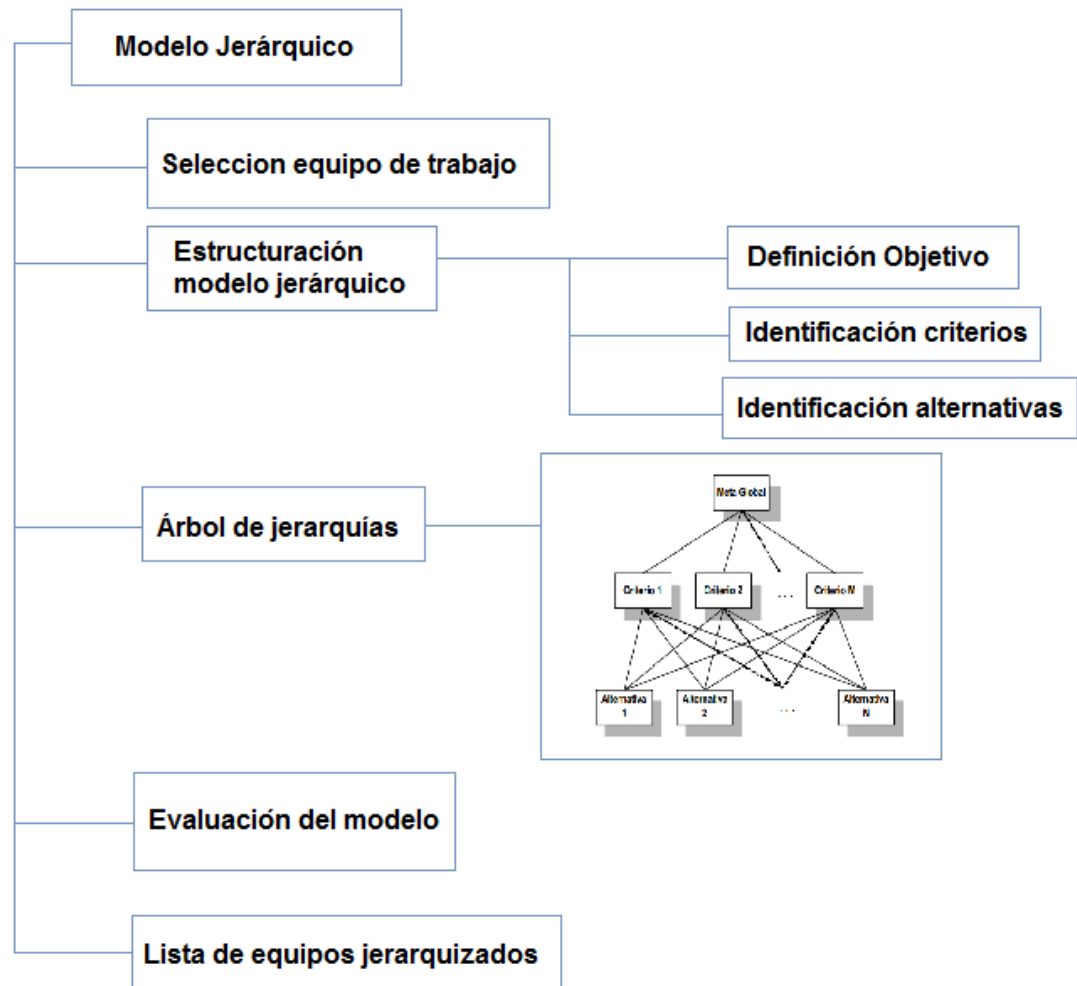
A la hora de aplicar el AHP es necesario:

- Definir el equipo de trabajo: Los participantes en la elaboración de la metodología normalmente son las personas involucradas en el día a día en la instalación.
- Información requerida: Es pertinente analizar la calidad y cantidad de la información necesaria para el desarrollo del AHP puesto que es un elemento pilar en la toma de la decisión.
- Tiempo y otros recursos asociados con el desarrollo: es ideal crear un plan de trabajo. Se debe seleccionar un facilitador que se encargue de la logística además de analizar cuál será el costo económico de la aplicación.

A continuación, se muestra la metodología del AHP:

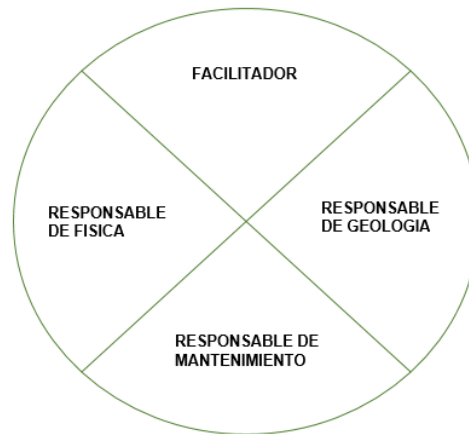
²⁶ TOSCANO HURTADO, Gerald Bruno. El proceso del análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. [En línea]. disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf . p.1.

Figura 17. Metodología AHP



6.2.1 Equipo de trabajo. Con el objetivo de llevar una buena estrategia de mantenimiento en la organización y sopesar bien los criterios para encontrar los equipos que mayor implicación tienen en las diferentes actividades del laboratorio. hay que tener en cuenta los criterios de los diferentes actores que intervienen en el.

Figura 18. Equipo para realizar AHP



Las personas del departamento de física y geología, tienen experiencia en el manejo de los equipos y el laboratorio en general, los criterios que aportan en el análisis de criticidad sin duda tienen un peso importante ya que han estado trabajando en campo y en la instalación. Por otro lado, con la persona del departamento de mantenimiento se puede tener aportes concernientes a medidas de impacto en la mantenibilidad, evaluación del impacto de los riesgos laborales que pueden acarrear las fallas.

6.2.2 Definición del Objetivo. Por medio de la realización de esta metodología, se pretende listar que equipos son los de mayor, medio y poco impacto en el desarrollo de las actividades que realiza el laboratorio de Geofísica de la UIS.

6.2.3 Criterios de Jerarquización. Los criterios que se presentan a continuación fueron seleccionados y discutidos por el equipo de trabajo y el director del proyecto, en general se seleccionaron seis bloques con una cuantificación de 1 a 5 dependiendo de la severidad de la consecuencia.

6.2.3.1 Impacto ambiental (IA). Este ítem representa el posible daño que puede ocasionar una falla en términos medioambientales produciendo alguna violación a reglamentos referentes a este ítem:

Tabla 8. Impacto ambiental

IA	IMPACTO AMBIENTAL
1	No origina impacto alguno
2	incidencia ambiental fácil de contener
3	Contaminación ambiental moderada, se manifiesta en un espacio reducido
4	Origina un impacto medianamente grave o en campo
5	Fallas severas, generan incumplimiento a reglamentos ambientales y quejas de la comunidad

6.2.3.2 Nivel de severidad de falla (SF). Evalúa los efectos generales que puede acarrear una falla cuando ocurre, dentro del contexto operacional:

Tabla 9. Nivel de severidad de falla

SF	NIVEL DE SEVERIDAD DE FALLA
1	Fallas identificables por el operario o el mantenedor, no afecta el proceso
2	Fallas complejas de reconocer por el operario, los efectos serán insignificantes en el proceso
3	Perdida en la eficiencia del equipo
4	Mal funcionamiento del equipo disminuyendo notoriamente la calidad del servicio
5	Perdida de la función

6.2.3.3 Tiempo de reparación (TR). Se define como el tiempo promedio por días destinado para la reparación, el intervalo empieza desde que el activo pierde su función hasta que está disponible de nuevo para efectuarla:

Tabla 10. Tiempo de reparación

TR	REPARACIÓN
1	Se cuenta con unidades de reserva en línea y/o tiempos de reparación inferior a 4 horas
2	Se tiene unidades de reserva que pueden cubrir de forma parcial la función
3	Tiempos de reparación entre 4 y 12 horas
4	No se cuenta con unidades de reserva que puedan cubrir de forma parcial la función
5	Tiempo de reparación superior a 12 horas

6.2.3.4 Impacto en la seguridad (IS). Bajo este bloque, es posible determinar qué tan grave puede ser el daño para los equipos o la instalación en general:

Tabla 11. Impacto en seguridad

IS	IMPACTO EN SEGURIDAD
1	No existe ningún riesgo en la salud
2	Causa lesiones o heridas leves no incapacitantes
3	Causa lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días
4	Causa lesiones o heridas graves con incapacidad temporal superior a 30 días
5	Puede causar pérdidas humanas

6.2.3.5 Costos de mantenimiento. Es un costo global que involucra labor, material y transporte para reparar el equipo a condiciones óptimas de funcionamiento.

Tabla 12. Costos de mantenimiento

CM	Costo de mantenimiento
1	Costo de reparación inferior a 500.000 COP
2	Costo de reparación entre 500.000 y 2.000.000 COP
3	Costo de reparación entre 2.000.000 y 3.000.000 COP
4	Costo de reparación entre 3.000.000 y 4.000.000 COP
5	Costos de reparación es superior a 4.000.000 COP

6.2.3.6 Impacto en la producción (IP). Se usa con el fin de determinar el impacto económico que se deja de obtener por día debido a fallas. Para el caso del laboratorio se hace imperativo calcular el valor por hora de trabajo y ocho horas continuas en uso, la comparación se hace como si todos los equipos estuvieran trabajando al tiempo.

Tabla 13. Impacto en la producción

IP	IMPACTO EN PRODUCCIÓN
1	Pérdidas de producción inferiores al 10%
2	Pérdidas entre 10% y 25% de la producción total
3	Pérdidas entre 25% y 50% de la producción total
4	Pérdidas entre 50% y 75% de la producción total
5	Pérdidas de producción superiores al 75%

Para la aplicación de este criterio en el laboratorio, es necesario determinar el valor por hora que se debe cobrar por el servicio de cada equipo, la expresión matemática que se usó para la elaboración de los valores es:

$$\frac{\text{Precio}}{\text{hora}} = \text{valor de depreciación} \left[\frac{\$}{h} \right] + \text{valor de mantenimiento} \left[\frac{\$}{h} \right] + \text{Ganancia}$$

$$\text{Valor de depreciación} = \frac{\text{Valor de adquisición} - \text{valor de rescate}}{\text{horas de vida útil}}$$

$$\text{Valor de mantenimiento} = \frac{\text{valor de Adquisicion} * 0,15}{\text{horas de vida util}}$$

Las horas de vida útil para equipos robustos se estima entre 5.000 y 6.000 para maquinaria ligera en un periodo de 3 años, y 10.000

El costo del mantenimiento se halla en base al tiempo de vida útil y el valor aproximado del mantenimiento en ese periodo que es del 15% del valor total del equipo. Por último, se utiliza un porcentaje de ganancia igual al 75% sobre el costo de depreciación más el valor de mantenimiento.

Tabla 14. Valor alquiler equipos de geofísica

			ALQUILER EQUIPOS GEOFISICA				
CODIGO	EQUIPOS	VALOR + IVA	VALOR DE RESCATE	DEPRECIACION (h)	MANTENIMIENTO (h)	VALOR X HORA	VALOR X DIA (8h)
317-BAR-01	Bartington	\$ 60.950.263	\$ 9.142.539	\$ 10.362	1.829	\$ 21.333	\$ 170.661
407-ZZG-01	Zzgeo	\$ 282.132.486	\$ 42.319.873	\$ 47.963	8.464	\$ 98.746	\$ 789.971
407-MAG-01	Magnetometros	\$ 67.079.134	\$ 10.061.870	\$ 11.403	2.012	\$ 23.478	\$ 187.822
407-STR-01	Stratagem Magnetotelurica	\$ 443.629.207	\$ 66.544.381	\$ 75.417	13.309	\$ 155.270	\$ 1.242.162
407-TER-01	Terraloc sismica	\$ 81.629.750	\$ 12.244.463	\$ 13.877	2.449	\$ 28.570	\$ 228.563
407-FUE-01	Fuente sísmica	\$ 14.004.051	\$ 2.100.608	\$ 2.381	420	\$ 4.901	\$ 39.211
407-WAL-01	Walktem	\$ 32.353.968	\$ 4.853.095	\$ 5.500	971	\$ 11.324	\$ 90.591
407-VEL-01	Velocidad de onda en Roca	\$ 114.870.683	\$ 17.230.602	\$ 19.528	3.446	\$ 40.205	\$ 321.638
407-SIE-01	Sierra cortanucleos	\$ 62.666.912	\$ 9.400.037	\$ 10.653	1.880	\$ 21.933	\$ 175.467
407-PRO-01	Probador ip Prop. Electricas	\$ 77.849.905	\$ 11.677.486	\$ 13.234	2.335	\$ 27.247	\$ 217.980
407-DEN-01	Densímetro	\$ 101.447.093	\$ 15.217.064	\$ 17.246	3.043	\$ 35.506	\$ 284.052
407-POR-01	Porosímetro ofite	\$ 150.665.697	\$ 22.599.855	\$ 25.613	4.520	\$ 52.733	\$ 421.864
407-GEO-01	Georadar	\$ 169.535.975	\$ 25.430.396	\$ 28.821	5.086	\$ 59.338	\$ 474.701
407-GRA-01	Gravímetros	\$ 376.247.105	\$ 56.437.066	\$ 63.962	11.287	\$ 131.686	\$ 1.053.492
407-GPS-01	GPS diferencial	\$ 172.788.000	\$ 25.918.200	\$ 29.374	5.184	\$ 60.476	\$ 483.806
407-EST-01	Estación geográfica	\$ 22.610.000	\$ 3.391.500	\$ 3.844	678	\$ 7.914	\$ 63.308
							\$ 6.245.289

6.3 APLICACIÓN DEL MÉTODO AHP

El AHP es una herramienta que permite discriminar entre diferentes criterios, para obtener una solución acertada en la resolución de problemas que involucran una toma de decisión frente a varias alternativas que puedan presentarse, es decir, problemas multicriterio. Es un método matemático que evalúa alternativas por medio de criterios que evalúan los actores del problema.

La metodología se puede resumir en seis pasos básicamente:

Paso 1: Establecer el objetivo. La primera parte consiste en determinar cuál es el objetivo del problema, para el caso del presente documento, es determinar los equipos que más impacto tienen en el desarrollo de las actividades del laboratorio.

Paso 2: Definición de los criterios. Determinar las pautas para la solución, para el caso del laboratorio es la definición de los criterios en la evaluación.

Paso 3: Definición de las alternativas. Son las alternativas que se tienen en la solución del problema, para la presente investigación son los equipos que componen la instalación.

Paso 4: Definición el peso de los criterios. En este paso, la primera parte consiste en usar las *comparaciones pareadas*, aquí se usa la escala de preferencias de Saaty para asignar valores a los juicios y su respectiva comparación. Posteriormente se forma la *matriz de comparaciones pareadas* para contrastar cada criterio y así hallar su peso.

Paso 5: Definición consistencia del peso de los criterios. Se procede a validar que la matriz que se realizó es consistente, a través de un indicador llamado la razón de consistencia (RC). Este indicador se define como la relación entre el índice de

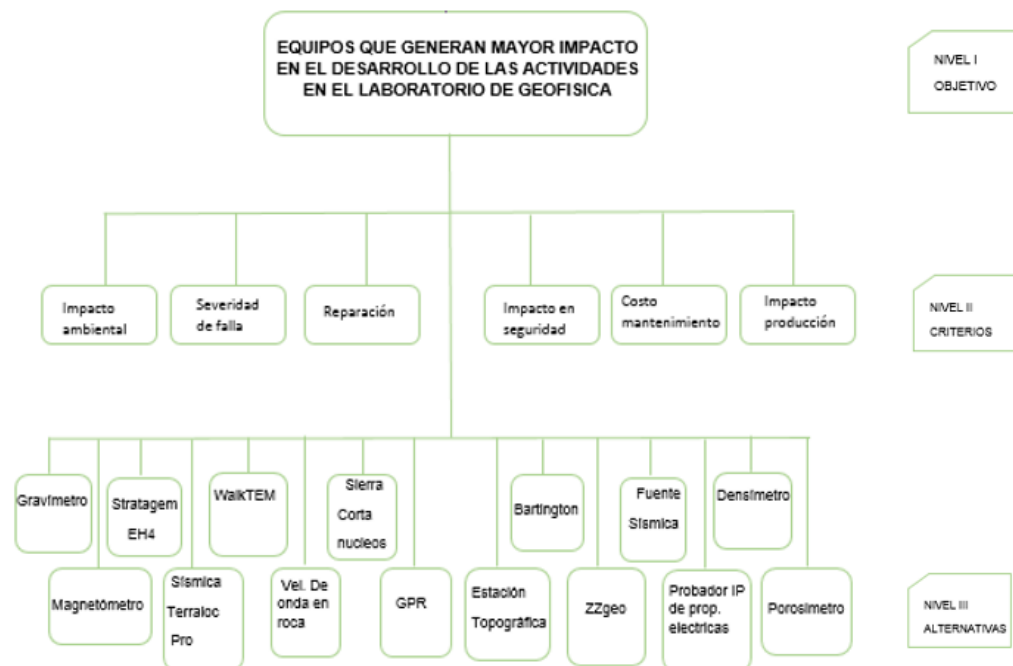
consistencia (IC) y el índice de aleatoriedad (IA), dichas expresiones se denotarán matemáticamente más adelante.

Paso 6: Establecimiento por criterio el peso de cada alternativa. Se procede a calcular el nivel de preferencia para cada alternativa como función de los criterios de decisión evaluados, obteniendo las alternativas jerarquizadas.

6.4 DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA AHP EN LOS EQUIPOS DEL LABORATORIO DE GEOFÍSICA UIS

6.4.1 Árbol de jerarquías

Figura 19. Árbol de jerarquías

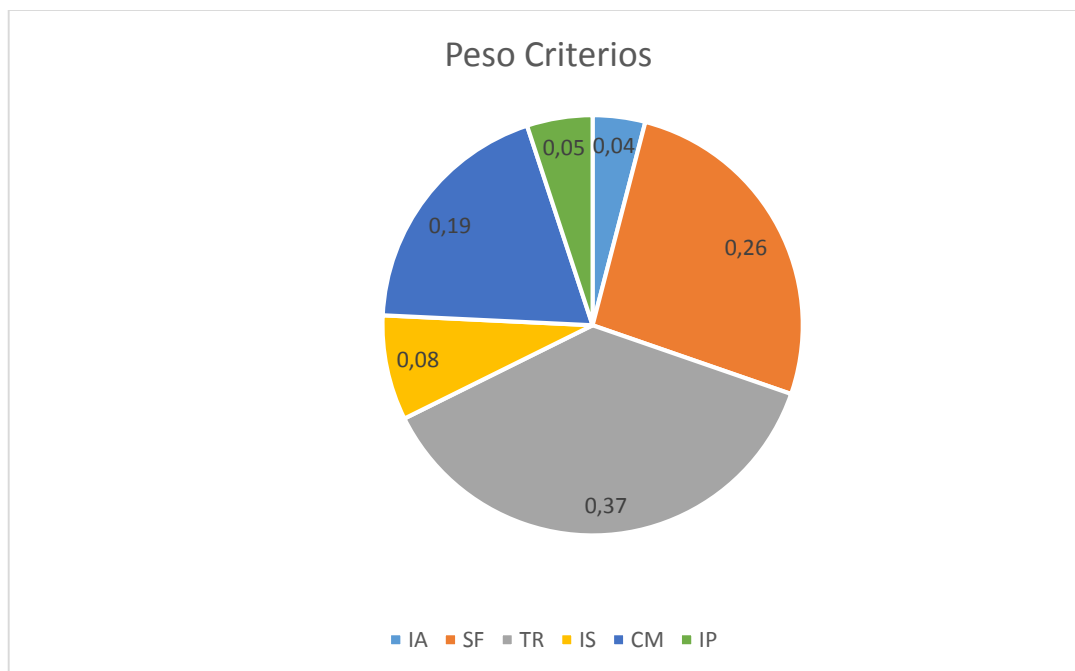


6.4.2 Definición del peso de los criterios. Luego de haber establecido el objetivo, definido las alternativas y definido criterios, se procede a definir el peso de los criterios a través de la matriz que se muestra a continuación:

MATRIZ DE COMPARACION DE CRITERIOS													
Criterios	IA	SF	TR	IS	CM	IP	MATRIZ NORMALIZADA						Ponderación (Pon)
IA	1,00	0,14	0,11	0,33	0,20	2,00	0,04	0,03	0,05	0,02	0,04	0,08	0,04
SF	7,00	1,00	0,50	6,00	1,00	7,00	0,26	0,22	0,20	0,40	0,20	0,29	0,26
TR	9,00	2,00	1,00	5,00	2,00	7,00	0,33	0,45	0,41	0,34	0,41	0,29	0,37
IS	3,00	0,17	0,20	1,00	0,50	2,00	0,11	0,04	0,08	0,07	0,10	0,08	0,08
CM	5,00	1,00	0,50	2,00	1,00	5,00	0,19	0,22	0,20	0,13	0,20	0,21	0,19
IP	2,00	0,14	0,14	0,50	0,20	1,00	0,07	0,03	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05
Total	27,00	4,45	2,45	14,83	4,90	24,00							

La matriz normalizada es la representatividad por cada criterio con el fin de determinar la ponderación o el peso por criterio,

Figura 20. Diagrama circular peso de criterios



6.4.3 Calculo de la consistencia. Luego de evaluar el nivel de importancia de los criterios se procede a validar la consistencia a través de los siguientes parámetros:

- **nmax=6.5276**, este valor se calculó luego de sumar el vector resultante de multiplicar la matriz de criterios por el vector ponderación.

$IC=(nmax-n)/(n-1)$	0,106
$IA= 1.98*(n-2)/n$	1,320
$RC=IC/IA$	0,080

Donde RC: Razón de consistencia; IC: índice de consistencia; IA: índice de aleatoriedad

Como $RC \leq 0,1$ la realización de los juicios es correcta.

6.4.4 Evaluación de la criticidad. Para la cuantificación de la criticidad en cada equipo, se usa la siguiente expresión matemática:

$$criticidad = (IA * PonIA) + (SF * PonSF) + (TR * PonTR) + (IS * PonIS) \\ + (CM * PonCM) + (IP * PonIP)$$

PonIA, PonSF, PonTR, PonIS, PonCM y PonIP, se determinan al dividir el valor de cada equipo en ese criterio entre la suma del peso en ese criterio de todos los equipos.

6.4.5 Resultado de criticidad. El resultado obtenido para los 20 equipos se muestra en el ítem criticidad, este valor se obtuvo con la fórmula presentada anteriormente en donde se tienen en cuenta los criterios como seguridad, impacto ambiental, entre otros.

Tabla 15. Valor de Criticidad

EQUIPO	Código	IA	SF	TR	IS	CM	IP	PonIA	PonSF	PonTR	PonIS	PonCM	PonIP	Criticidad
Bartington	317-BAR-01	1	4	4	1	2	1	0,05	0,06	0,06	0,04	0,05	0,04	0,7
Densímetro	407-DEN-01	2	3	3	1	2	1	0,1	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,64
Estación Topográfica	407-EST-01	1	3	3	1	2	1	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,49
Fuente Sísmica	407-FUE-01	1	3	2	1	2	1	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,42
Zzgeo	407-ZZG-01	1	4	4	1	3	1	0,05	0,06	0,06	0,04	0,07	0,04	0,81
Gps Diferencial	407-GPS-01	1	2	3	1	2	1	0,05	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,42
Gravímetro 1	407-GRA-01	1	5	5	1	3	2	0,05	0,07	0,07	0,04	0,07	0,09	1,21
Gravímetro 2	407-GRA-02	1	5	5	1	3	2	0,05	0,07	0,07	0,04	0,07	0,09	1,21
Sierra Cortanucleos	407-SIE-01	1	4	4	1	3	1	0,05	0,06	0,06	0,04	0,07	0,04	0,81
Porosímetro Ofite	407-POR-01	1	3	3	3	2	1	0,05	0,04	0,04	0,12	0,05	0,04	0,81
Probador IP prop. Eléctrico	407-PRO-01	1	2	4	1	1	1	0,05	0,03	0,06	0,04	0,02	0,04	0,45
Magnetómetro 1	407-MAG-01	1	4	3	4	2	1	0,05	0,06	0,04	0,16	0,05	0,04	1,2
Magnetómetro 2	407-MAG-02	1	4	3	4	2	1	0,05	0,06	0,04	0,16	0,05	0,04	1,2
Integración Magnetotelúrica	407-STR-01	2	4	4	2	3	2	0,1	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09	1,21
Terraloc sísmica	407-TER-01	1	5	5	1	4	1	0,05	0,07	0,07	0,04	0,09	0,04	1,24
Velocidad de onda en roca	407-VEL-01	1	3	3	1	1	1	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,42
Walktem	407-WAL-01	1	4	4	2	3	2	0,05	0,06	0,06	0,08	0,07	0,09	1,06
Georadar	407-GEO-01	1	5	5	1	3	2	0,05	0,07	0,07	0,04	0,07	0,09	1,21

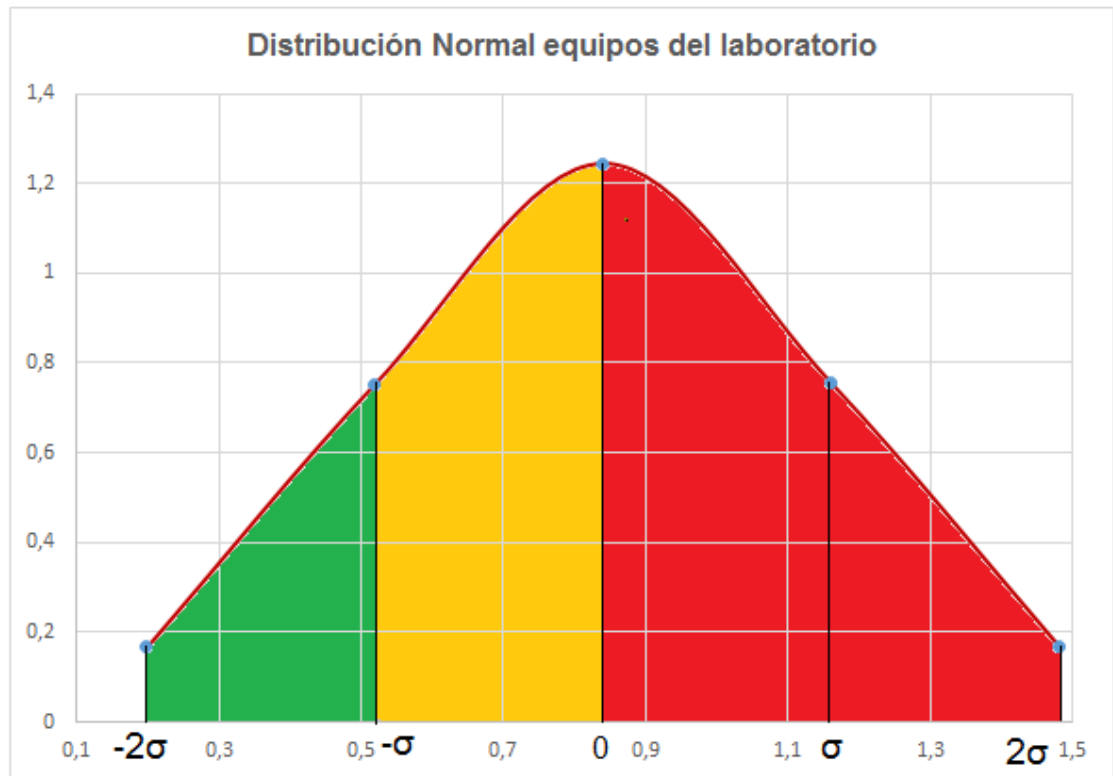
6.4.6 Organización de acuerdo al nivel de criticidad. En la siguiente tabla se presenta la jerarquización de todos los equipos que hacen parte del laboratorio, ordenados desde el más hasta el menos crítico.

Tabla 16. Tabla con valores de criticidad en orden descendente

Equipo	Código	Criticidad
Terraloc sísmica	407-TER-01	1,24
Stratagem Magnetotelurica	407-STR-01	1,21
Gravímetro 1	407-GRA-01	1,21
Gravímetro 2	407-GRA-02	1,21
Georadar	407-GEO-01	1,21
Magnetómetro 1	407-MAG-01	1,2
Magnetómetro 2	407-MAG-02	1,2
Walktem	407-WAL-01	1,06
Zzgeo	407-ZZG-01	0,81
Sierra cortanucleos	407-SIE-01	0,81
Porosímetro Ofite	407-POR-01	0,81
Bartington	317-BAR-01	0,7
Densímetro	407-DEN-01	0,64
Estación Topográfica total	407-EST-01	0,49
Probador IP prop. Eléctricas	407-PRO-01	0,45
Velocidad de onda en roca	407-FUE-01	0,42
Fuente Sísmica	407-FUE-01	0,42
Gps Diferencial	407-GPS-01	0,42

6.4.7 Distribución normal. Con el objetivo de categorizar los equipos de acuerdo a su nivel de criticidad, se modela una distribución normal con los valores arrojados en el proceso de análisis jerárquico.

Figura 21. Representación de la distribución normal



Los valores de la media, la desviación estándar, y el intervalo de criticidad se muestran a continuación:

Media (μ)	Desviación estándar (σ)
0,84	0,321

6.4.8 Jerarquización de los equipos

Tabla 17. Intervalos de criticidad

CRITICIDAD	INTERVALO
No critico	0,198 --- 0,519
Medianamente critico	0,519 --- 0,840
Muy critico	0,840 ---1,482

Como se puede observar en la gráfica de la distribución normal y el intervalo de criticidad, los equipos no críticos son aquellos que están por debajo de una desviación estándar con respecto a la media, los medianamente críticos son los ubicados entre una desviación por debajo y hasta el valor de la media, finalmente los altamente críticos están ubicados por encima de la media. La tabla con los equipos jerarquizados queda de la siguiente manera:

Equipo	Codigo	Criticidad
Terraloc sísmica		1,24
Stratagem Magnetotelúrica		1,21
Gravímetro 1		1,21
Gravímetro 2		1,21
Georadar		1,21
Magnetómetro 1		1,20
Magnetómetro 2		1,20
Walktem		1,06
Zzgeo		0,81
Sierra Cortanúcleos		0,81
Porosímetro Ofite		0,81
Bartington		0,70
Densímetro		0,64
Estación Topográfica		0,49
Probador IP Prop. Eléctricas		0,45
Velocidad de onda en roca		0,42
Fuente Sísmica		0,42
Gps Diferencial		0,42

Los resultados muestran que la cantidad de equipos no críticos son cinco, los medianamente críticos 5 y los altamente críticos ocho.

7. APLICACIÓN RCM II EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA: ANÁLISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA (AMEF) PARA LOS EQUIPOS ALTAMENTE CRÍTICOS

7.1 DESCRIPCIÓN DEL AMEF

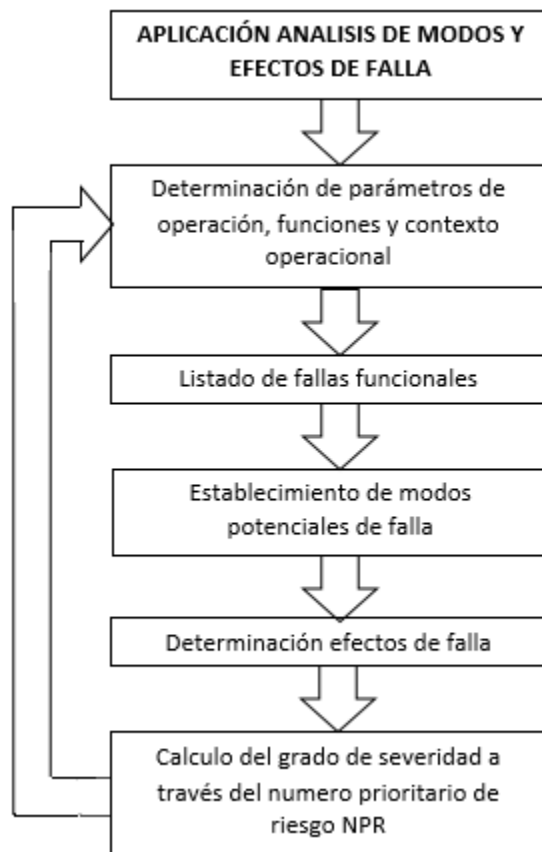
El análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), es un mecanismo usado para responder las cuatro primeras preguntas de la metodología RCM II y genera como resultado la hoja de información para cada falla funcional, cuyo formato se extrae de la norma SAE J1739 con pequeñas modificaciones. El AMEF como técnica analítica permite identificar las funciones, fallas funcionales, modos potenciales de falla y efectos de las fallas con el fin de evaluar su consecuencia a nivel organizacional y de esta manera establecer acciones específicas encaminadas a prevenir o corregir dichos imprevistos.

La información recolectada se obtuvo gracias a la colaboración de los encargados de los equipos y algunos proveedores de los mismos. Se hace fuerte hincapié en el grado de detalle ya que la posibilidad de una política correcta de manejo de las fallas depende de esto.

Por consenso se decidió aplicar RCM II a los equipos altamente críticos de acuerdo al resultado generado por el método AHP.

El siguiente gráfico ilustra la metodología aplicada en el desarrollo del AMEF a los equipos altamente críticos:

Figura 22. Aplicación del AMEF



7.2 NUMERO PRIORITARIO DE RIESGO (NPR)

El efecto de un modo de fallo, ocasiona consecuencias en el normal desarrollo del equipo y es un resultado no deseado para las actividades diarias de la instalación; dicho suceso, trae consigo una probabilidad de ocurrencia, es decir un riesgo asociado.

Una falla que tenga una alta probabilidad de ocurrencia puede acarrear graves consecuencias. El número prioritario de riesgo tiene como objetivo identificar de manera cuantitativa los riesgos más serios o que tienen más impacto en los

parámetros normales de funcionamiento en el activo, matemáticamente NPR se define como:

Figura 23. Formulación matemática NPR

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Dónde: S= severidad, O= Ocurrencia, D= Detección

Los parámetros pertenecientes a la ecuación anterior, se cuantifican de acuerdo a unas tablas cuyo valor depende del criterio del grupo de trabajo.

La jerarquización que se da al número prioritario de riesgo, va de 0-1000 y puede establecerse como²⁷:

500-1000	alto riesgo de falla
125-499	riesgo medio de falla
1-124	riesgo bajo de falla
0	No existe riesgo de falla

7.2.1 Severidad. Este parámetro evalúa que tan grave puede llegar a ser la falla para el cliente²⁸. La ponderación da valores entre 1 y 10, donde 1 es el valor más bajo y expresa que no hay efecto, en contraparte 10 es el valor más alto y expresa la mayor insatisfacción a causa de la falla.

²⁷ LEAN SOLUTION AMEF. Análisis de modo y efecto de falla. [En línea]. Disponible en <http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

²⁸ DSPACE. Implementación de metodología AMFE. [En línea]. Disponible en <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2714/1/08685.pdf>. p. 28.

Tabla 18. Severidad (S):

SEVERIDAD		
EFEECTO	CRITERIO	VALOR
No	Sin efecto	1
Muy Poco	Cliente no molesto, poco efecto en el desempeño del articulo o sistema	2
Poco	Cliente molesto, poco efecto en el desempeño del articulo o sistema	3
Menor	Efecto moderado en el desempeño del articulo o sistemas, cliente insatisfecho	4
		5
Significativo	Desempeño del articulo se ve afectado, pero es operable y esta salvo, falla parcial, cliente inconforme	6
Mayor	Desempeño de articulo seriamente afectado, pero es funcional y esta a salvo, cliente insatisfecho	7
Serio	Articulo inoperable, pero a salvo	8
Extremo	Peligro potencial, capaz de discontinuar el uso sin perder tiempo, dependiendo de la falla. Se cumple con el reglamento del gobierno en materia de riesgo.	9
Peligroso	Efecto peligroso. Seguridad relacionada, falla repentina y/o incumplimiento de las normas gubernamentales	10

Fuente: LEAN SOLUTION AMEF. Análisis de modo y efecto de falla. [En línea]. Disponible en <http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

En las próximas líneas se especifican los dos términos restantes de la ecuación que cuantifica el valor de NPR.

7.2.2 Ocurrencia: Este parámetro evalúa la probabilidad de que ocurra un modo de fallo. Se mide en una escala de 1 a 10 y depende de los controles que la organización tiene para prevenir que se produzca la causa potencial de fallo²⁹:

Tabla 19. Ocurrencia (O)

OCURRENCIA			
EFEECTO	CRITERIO	VALOR	Probabilidad de falla
Remota	Falla improbable. No existen fallas asociadas con este proceso o con un producto casi idéntico	1	< 1 en 1.500
Muy poca	Solo fallas aisladas asociadas con este proceso o con proceso casi idéntico	2	1 en 500
Poca	Fallas aisladas asociadas con procesos similares	3	1 en 150
Moderada	Este proceso o uno similar ha tenido fallas ocasionales	4	1 en 100
		5	1 en 80
		6	1 en 50
Alta	Este proceso o uno similar ha fallado a menudo	7	1 en 30
		8	1 en 15
Muy alta	Artículo inoperable, pero a salvo	9	1 en 6
		10	>1 en 3

Fuente. LEAN SOLUTION AMEF. Análisis de modo y efecto de falla. [En línea]. Disponible en <http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

²⁹ Ibíd., p. 29.

7.2.2 Detección: Esta variable determina que tan probable es detectar la causa y el modo de fallo resultante antes de llegar al cliente. Su escala de medición es de 1 a 10 y es inversa a los dos índices anteriores. El primer valor se aplica cuando los sistemas de detección son muy buenos y el máximo (10) cuando es lo contrario.

Tabla 20. Índice de detección (D)

DETECCION			
Probabilidad	CRITERIO	VALOR	Probabilidad de Detección
Alta	El defecto es una característica funcionalmente obvia	1	99.9%
Medianamente alta	Es muy probable detectar la falla. El defecto es una característica obvia	2	99.7%
		5	
Baja	El defecto es una característica fácilmente detectable	5	98%
		8	
Muy baja	No es fácil detectar la falla por métodos usuales o pruebas manuales. El defecto es una característica oculta o intermitente	9	90%
Improbable	La característica no se puede checkear fácilmente en el proceso	10	< 90%

Fuente. LEAN SOLUTION AMEF. Análisis de modo y efecto de falla. [En línea]. Disponible en <http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

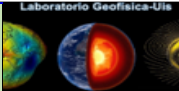
Los equipos altamente críticos y a los cuales se les realizara el AMEF son: Gravímetros, Sierra Cortanúcleos, Stratagem Magnetotelurica, Terraloc Sísmica, Walktem y Zzgeo.

7.3 REALIZACIÓN AMEF A EQUIPOS ALTAMENTE CRÍTICOS

7.3.1 Contexto operacional gravímetro

7.3.2 Hoja de información gravímetro: A continuación, se muestra una plantilla del AMEF realizado al gravímetro CG-6 de la marca Scintrex. Para conocer las hojas de información de los demás equipos altamente críticos, consultar el anexo D.

Figura 24. Hoja de información Gravímetro

AMEF HOJA DE INFORMACION RCM II		SISTEMA: GRAVIMETRO CG-6					CODIGO 407-GRA-01	Hoja N°: 1 De:			
		SUBSISTEMA					ELABORADO POR: Juan Calderón	Fecha: 18-03-2019			
F	FUNCION	F F	FALLA FUNCIONAL	M F	MODO DE FALLO	E F	EFFECTOS DE FALLO	SEVERIDAD	OCURENCIA	DETECCION	N P R
1	Medir la aceleración de la gravedad con una resolución de 0.0001 mGal	A	El equipo no toma ninguna medición	1	Averia en el sistema de encendido	-	No es posible prender el equipo, se impide cualquier operación o manipulación	9	1	1	9
				2	Descarga energética anormal del equipo, daño en el sistema de carga	-	El gravimetro se descarga antes de establecer una encuesta y/o se apaga tomando datos	8	3	6	144
				3	Sistema manual de configuracion de los parametros del equipo inservible	-	Se dificulta la configuracion manual para la toma de una encuesta en campo	6	4	4	96
						-	si no se dispone la tableta, no es posible operarlo				
		4	Baterias no operan	-	No es posible cargar las baterias, por tanto usar el dispositivo cuando se quede sin carga	7	3	1	21		
		B	Toma lecturas con una resolución diferente a 0.0001 mGal	1	el sensor se queda pegado	-	La lectura de datos se congela mientras se soluciona el inconveniente	3	6	2	36
				2	Se rompe la camara de vacio que aísla al sensor de gravedad	-	Se ve afectado el comportamiento del sensor de temperatura, por lo tanto las lecturas pierden confiabilidad	9	1	1	9
				3	Falla el tripode de nivelacion	-	La resolucion de este sensor es aproximadamente 1 [arcseg], por tanto, si el instrumento esta sobre una base inestable, es imposible hacer correcciones automaticas	8	2	5	80

Por medio del AMEF (análisis de modos y efectos de falla), se buscó identificar y clasificar los modos de falla que más repercusiones pueden tener en el equipo.

Dicha agrupación, se realizó de acuerdo a los intervalos del numero prioritario de riesgo (NPR) que se explicaron en líneas anteriores.

Para el gravímetro se encontró que, de los modos de falla analizados, uno de ellos posee alto NPR pertenece a la categoría de *riesgo medio de falla*; esto puede deberse, a que el sistema de carga es uno de los más críticos y de mayor probabilidad de fallo, los demás están incluidos en *riesgo bajo de falla*.

7.4 PROCESO DE DECISIÓN

7.4.1 Diagrama de decisión: Luego de establecer los modos de falla con mayor repercusión para el equipo, es decir con NPR más alto, se procede a responder una serie de preguntas lógicas (diagrama de decisión) extraídas del libro de Moubray³⁰, que permiten evaluar las consecuencias de las fallas a un nivel de seguridad, medioambiente, operación y no operación.

7.4.2 Hoja de decisión: Dentro del proceso de decisión, que permite responder las últimas tres preguntas de la metodología RCM, la hoja de decisión es un documento que plasma las respuestas al diagrama de decisión. Gracias a este documento se conoce que mantenimiento de rutina será realizado, con qué frecuencia, el especialista, modos de falla que ameritan un rediseño y casos en los cuales se deja que la falla ocurra.

El formato utilizado es el que sugiere Moubray³¹, dividida en 16 columnas.

- Las primeras filas son F, FF y MF que hacen referencia a cada una de las funciones, fallas funcionales y modos de falla que se plasmaron en la hoja de información.

³⁰ MOUBRAY. Op. Cit., p. 204.

³¹ Ibíd., p. 203.

- Las siguientes cuatro columnas especifican si el modo de fallo será evidente para los operarios, tendrá consecuencias en la seguridad, medio ambiente, la operación u otros, son las letras H, S, E y O.
- Las ocho columnas posteriores identifican, las “tareas proactivas” y “a falta de” que son necesarias para evitar o reducir el riesgo de falla, se representan por las letras (H1, S1, O1, N1), (H2, S2, O2, N2), (H3, S3, O3, N3), H4, H5 y S4.

En la siguiente tabla se puede observar la hoja de decisión para el gravímetro CG6 de la marca Scintrex, para observar las hojas de decisión de los demás equipos altamente críticos remitirse al anexo E.

Figura 25. Hoja de decisión

HOJA DE DECISION RCM II			SISTEMA: GRAVIMETRO CG-6						CODIGO 407-GRA-01			Hoja N°: 1 De:			Laboratorio Geofísica-UIS Universidad Industrial de Santander 	
			SUBSITEMA						ELABORADO POR: Juan Calderón			Fecha: 18-03-2019				
REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	ACCION A FALTA DE			Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por	
F	FF	MF	H	S	E	O				H4	H5	S4				
1	A	1	S	N	N	S	N	N	N				Ningun mantenimiento proactivo			
1	A	2	S	N	N	S	S	N	N				Cargar el equipo sin las baterias y observar la velocidad de descarga	Semestral	Operario	
1	A	3	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento proactivo			
1	A	4	S	N	N	S	S	N	N				Cargar las baterias al 30%	mensual	Operario	
1	B	1	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento proactivo			
1	B	2	S	N	N	N	N	N	N				Ningun mantenimiento proactivo			
1	B	3	S	N	N	N	S	N	N				Revisar el estado físico de los tornillo del tripode	Mensual	Operario	

Como se puede observar, el análisis se hace para cada modo de falla y los resultados se hacen bajo las siguientes consideraciones:

- Cada modo de falla distingue si es una falla oculta o no
- Es posible encasillar cada modo de falla en una sola categoría, es decir, si tiene un impacto para la seguridad, no lo tendrá para el medio ambiente y así sucesivamente.

- Una vez conoce el impacto de cada fallo, se busca una tarea proactiva, en caso de no encontrarla, se procede a determinar una tarea a falta de.

Tabla 21. Consecuencias de los modos de fallo

REFERENCIA DE INFORMACION			EVALUACION DE LAS CONSECUENCIAS				
F	FF	MF	H	S	E	O	
1	A	1	S				Fallo evidente para el operario
1	A	2	S	N			Consecuencia para la seguridad
1	A	3	S	N	N		Consecuencia para el medio ambiente
1	A	4	S	N	N		
1	B	1	S	N	N	N	Consecuencia para la operación

H1	H2	H3	En estas casillas se establecen criterios de factibilidad técnica, para realizar tareas proactivas tales como: Búsqueda de falla Reacondicionamiento cíclico Sustitución cíclica
S1	S2	S3	
O1	O2	O3	
N1	N2	N3	
N	N	N	
S	N	N	
N	N	N	
S	N	N	

7.5 ESTRATEGIA PARA LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO EN EL LABORATORIO

El plan de mantenimiento creado para el laboratorio tiene una distinción en las tareas dada por la criticidad, es decir, hay tareas que se realizarán a los equipos *altamente críticos* y son determinadas por el análisis RCM II. Existen otras que se efectuarán a los dispositivos *medianamente críticos*, que dependen de los

encargados de los equipos y literatura referente al manejo de dichos dispositivos; Por otro lado, a los *no críticos* se les aplicara mantenimiento correctivo, esto bajo la premisa que los equipos más importantes merecen la mayor parte de recursos y atención, puesto que representan un problema más serio a la hora de una avería.

Luego de conocer el conjunto de tareas y especialistas que se requieren, se procede a crear unas rutas de mantenimiento que tienen en común la frecuencia de ejecución (mensual, trimestral, etc.) y en general se agrupan como se muestra a continuación:

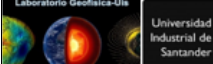
Tabla 22. Agrupación de las tareas en rutas de acuerdo al tiempo de ejecución

PLAN DE MANTENIMIENTO			
SALON 317		SALON 407	
codigo	Descripción	Codigo	Descripcion
M317	Ruta mensual 317	M407	Ruta mensual 407
T317	Ruta trimestral 317	T407	Ruta trimestral 407
S317	Ruta Semestral 317	S407	Ruta Semestral 407
A317	Ruta anual 317	A407	Ruta anual 407

Como se observe de la tabla anterior hay rutas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales para cada espacio físico tanto el 317 como el 407.

A continuación, se muestra un ejemplo de la ruta trimestral correspondiente al salón 407, para ver las demás consultar el anexo F

Tabla 23. Ejemplo tabla de ruta

		RUTA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO INSPECCION GENERAL	Frecuencia: Trimestral	Codigo ruta: T407
		Fecha:	Hoja:	
INSTALACION A INSPECCIONAR O REVISAR: 407				
EQUIPO	DESCRIPCION		RESULTADO	
407-TER-01	Revisar el estado del cable de alimentacion			
407-TER-01	Revisar revestimiento protector que mantiene las celdas juntas			
407-MAG-01	Revisar el estado del cable y los conectores			
407-MAG-01	Revisar el nivel del liquido del sensor			
407-MAG-02	Revisar el estado del cable y los conectores			
407-MAG-02	Revisar el nivel del liquido del sensor			
407-MAG-02	Revisar estado cable del GPS y sus extremos			
OBSERVACIONES:				

Cuando la persona encuentra alguna avería en la correspondiente ruta debe diligenciar el siguiente formato:

Figura 26. Reporte de mantenimiento

REPORTE DE MANTENIMIENTO			
DATOS GENERALES			
RESPONSABLE:			
ÁREA:		FECHA DEL REPORTE:	
DESCRIPCION GENÉRICA			
FALLA	CODIGO DEL EQUIPO	MARCA DEL DISPOSITIVO	No. DE SERIE
DESCRIPCION DE LA AVERÍA			
CAUSA DE LA AVERIA			
FUNCIONAMIENTO ACTUAL DEL EQUIPO			

En el capítulo del sistema de información se explica detalladamente como hacer esta retroalimentación. Si el encargado encuentra alguna falla, diligencia el formato

anterior y crea una nueva orden de trabajo, si por el contrario todo está bien, la persona encargada debe cerrar dicha ruta que ha sido creada automáticamente por el sistema de información.

7.6 INDICADORES GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

El laboratorio de geofísica no cuenta con una manera de cuantificar si el servicio que prestan sus equipos o mantenimiento es el adecuado, por tal razón se hace necesario crear un sistema de medida que permita establecer unos objetivos de confiabilidad y disponibilidad concretos además de su respectivo cumplimiento. A través de la creación de dichos parámetros se podrán tomar acciones encaminadas a la mejora continua y basadas en pruebas fácticas.

Luego de estudiar lo que plantea Francisco Javier Gonzales en su libro “Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión” sobre la creación de indicadores del servicio de mantenimiento, se optó por seleccionar la disponibilidad y fiabilidad como los parámetros pertinentes para este proyecto. Desde el sistema de información es posible hallar estos indicadores para las maquinas.

En términos generales se podría definir la *confiabilidad* como la probabilidad de un buen funcionamiento. Este indicador está relacionado con dos medidas:

- La primera es el tiempo medio entre fallas, cuya formulación matemática es

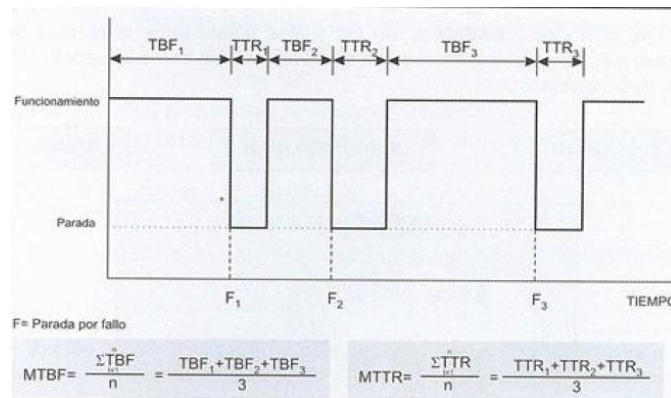
$$MTBF = \frac{\Sigma TBF}{n}$$

- La segunda es el tiempo medio entre reparaciones, donde debe incluirse tanto las paradas por mantenimiento preventivo como correctivo

$$MTBR = \frac{\Sigma TTR}{n}$$

Para entender estas formulaciones matemáticas se extrae del libro de Francisco Javier Gonzales la siguiente imagen

Figura 27. Grafico deducción indicadores



La *disponibilidad* puede definirse de una manera sencilla como la probabilidad de asegurar un servicio requerido

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

En este momento no se cuenta con información sobre el histórico de algún equipo, por tanto, se hace complejo la determinación de dichos parámetros. Para remediar esto, se programó en el calendario del software una tarea dentro de dos meses donde se solicita sacar un informe sobre los indicadores de los equipos y otra dentro de un año con el mismo fin, para poder comparar posteriormente la implementación del plan de mantenimiento.

8. ANÁLISIS DE COSTOS PLAN DE MANTENIMIENTO RCM II IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO DE GEOFISICA

8.1 “TIR” TASA INTERNA DE RETORNO

La tasa interna de retorno es la tasa de interés o rentabilidad que genera un proyecto, es términos generales se encarga de medir la rentabilidad de una inversión. El uso de este indicador en el presente proyecto, tiene como finalidad calcular los beneficios económicos que surgen al implementar el presente plan de mantenimiento.

8.2 CALCULO DE LA TIR

El cálculo de la TIR se genera al igualar la tasa de descuento al momento inicial, la corriente futura de cobros con la de pagos, por tanto, el VAN es cero.

A continuación, se muestra la expresión matemática que permite calcular este indicador:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{T=0}^n \frac{Q_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde I_0 = Inversión inicial; Q_n = flujo de dinero en el periodo n ; TIR= tasa interna de retorno (incógnita).

La TIR puede calcularse por medio de diferentes softwares entre ellos Excel, que es la herramienta usada aquí para el cálculo del indicador durante dos años en periodos de seis meses.

A continuación, se muestra el flujo de costos asociados al mantenimiento del laboratorio durante los dos años anteriores a la iniciación del proyecto:

Tabla 24. Valor de los costos de mantenimiento correctivo.

PERIODO	DETALLE DE LOS GASTOS	VALOR
I-2017	Correctivo:	3.500.000
	Parada productivas:	4.200.000
	Costo total:	7.700.000
II-2017	Correctivo:	4.358.000
	Parada productivas:	2.220.000
	Costo total:	6.578.000
I-2018	Correctivo:	4.750.000
	Parada productivas:	2.650.000
	Costo total:	7.400.000
II-2018	Correctivo:	3.820.000
	Parada productivas:	2.930.000
	Costo total:	6.750.000

El costo de implementar el plan de mantenimiento basado en RCM II en el laboratorio de geofísica se muestra en la siguiente tabla:

PERIODO	DETALLE DE LOS GASTOS	VALOR
año 2019	Costo de mantenimiento preventivo:	1.250.000
	Parada productivas:	520.000
	Costo total:	1.770.000

Generalmente los costos de mantenimiento pueden incrementarse entre un 5 y 10% anualmente.

Tabla 25. Costo total proyecto

COSTO TOTAL PROYECTO	
ITEM	COSTO \$(COP)
Catálogos, libros y manuales	600.000
Papelería, recursos electrónicos	100.000
Transporte	380.000
Propiedad intelectual	5.500.000
Equipo (portátil)	0
Capacitación personal (espacio físico, charlas, software, etc.)	0
Licencia de programas	0
Gasto de energía	850.000
Gastos operacionales	1.500.000
Imprevistos	890.000
TOTAL	9.820.000

8.3 COSTOS PREVISTOS DEBIDO AL MANTENIMIENTO BASADO EN RCM II EN EL LABORATORIO DE GEOFÍSICA

El análisis de costos se complementa, analizando los costos de mantenimiento que se han generado desde el momento de la implantación del plan de mantenimiento, es decir, lo que va corrido desde mitad de enero hasta mediados de mayo del presente año.

Tabla 26. Costos asociados al plan de mantenimiento

COSTO INICIAL \$ 9.820.000

HISTORICO COSTOS DE MANTENIMIENTO	COSTOS PREVISTOS CON EL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	ESTIMACION FLUJO DE CAJA QUE SE GENERA	PERIODOS
7.700.000	1.770.000	5.930.000	SEMESTRE 1
6.578.000	1.947.000	4.631.000	SEMESTRE 2
7.400.000	2.141.700	5.258.300	SEMESTRE 3
6.750.000	2.355.870	4.394.130	SEMESTRE 4

Valor TIR para el semestre 4 = 39%

8.4 REPUESTOS

Múltiples organizaciones crean inventarios de repuestos con el fin de mitigar los costos generados por tiempos de reparación, es por ello que el presente análisis pretende cuantificar el valor que genera tener en inventario los componentes mantenibles de los equipos altamente críticos. El fin último de dicho inventario, es preservar las funciones de los equipos ante fallas imprevistas o inminentes.

8.4.1 Elementos mantenibles de los equipos altamente críticos. En las tablas que se muestran a continuación, se puede observar cada uno de los elementos mantenibles o de recambio disponibles para cada equipo altamente crítico con su respectivo valor económico.

Tabla 27. Elementos mantenibles o de recambio para el Terraloc pro (407-TER-01):

ID	PIEZA	CANTIDAD	VALOR (COP)
21-38900025	Hard case terraloc pro	1	2.600.000
21-33001125	Terraloc trigger cable on reel	250 m	1.900.000
23-39100001	Trigger switch	1	1.000.000
21-39045016	Office power supply	1	1.220.000
21-333000428	External battery cable terraloc pro	1	1.180.000
23-39100061	Geophone 10 Hz	25	550.000
23-39100063	Geophone 4,5 Hz	20	690.000

Tabla 28. Elementos mantenibles de recambio para el Stratagem Magnetotelurica (317-SMA-01):

ID	PIEZA	CANTIDAD	VALOR (COP)
26730-03	Buffer electrode BE-26	2	5.000.000
26710-04	BF cable	2	3.900.000
26708-05	Cable console	1	5.400.000
26719-03	Transmitter frequency controller	1	5.400.000
26717-03	External battery cable terraloc pro	2	1.000.000

Tabla 29. Elementos mantenibles para los gravímetros, se usan los mismos porque tienen el mismo contexto operacional (407-GRA-01, 407-GRA-02):

ID	PIEZA	CANTIDAD	VALOR (COP)
221029	Smart Battery	1	1.500.000
128370015	Power supply	1	1.700.000
400209	Smart External charger	1	1.900.000
126370001	Battery holder	1	3.600.000

Tabla 30. Elementos mantenibles para los magnetómetros (407-MAG-01, 407-MAG-02):

ID	PIEZA	CANTIDAD	VALOR (COP)
1	GPS cable	1	750.000
2	Sensor cable	1	1.400.000

Tabla 31. Elementos mantenibles para el equipo walkTEM (407-WAL-01):

ID	PIEZA	CANTIDAD	VALOR (COP)
36-33810022	Battery link cable	1	200.000
30-39045012	car battery charger	1	1.000.000
21-38900025	Hard cade	1	2.100.000
21-33300077	Receiver coil cable	62 m	4.200.000

9. ELABORACIÓN DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

9.1 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO ASISTIDO POR ORDENADOR GMAO

Los sistemas de información en la gestión del mantenimiento, se constituyen como un elemento fundamental para el crecimiento estructurado y sostenido de las organizaciones industriales o poseedoras de algún activo. Es importante dar un salto, es decir, desde el mantenimiento en papel o en Excel que tienen limitada funcionabilidad y poca integrabilidad con las diferentes áreas de la organización, hasta un software de mantenimiento especializado con el fin de tener un control más acertado sobre el manejo del mantenimiento en la instalación.

Los encargados del laboratorio, no tienen ningún control referente al mantenimiento ni las intervenciones a los equipos, debido a esto las actividades se han ido realizando de acuerdo a la capacidad mental de las personas que están a cargo y con ningún historial como soporte. Con la puesta en marcha del software, elaborado especialmente para el laboratorio de geofísica, esto es ya no es un problema debido a que se tiene una programación sobre las actividades de mantenimiento con respectivas alarmas, se integra un módulo de préstamos para aquellas personas que necesitan hacer uso de los equipos de prospección geofísica, hojas de vida de cada uno de los sistemas, indicadores de mantenimiento (tres específicamente), entre otras funciones que se explicarán más adelante.

La implementación de un software se hace indispensable, en la medida en que convierte un conjunto de recursos desorganizados en una potente herramienta que aumenta la disponibilidad y confianza de los equipos.

En términos generales, La gestión del mantenimiento asistido por ordenador, constituye la organización de datos para el control de los activos, es importante que no se confunda con la administración de estos. Hay una diferenciación marcada entre datos e información, ya que los datos son un conjunto de números y anotaciones sobre los aspectos relacionados con el mantenimiento, mientras que la información son dichos datos organizados de tal manera que permitan tomar decisiones. Cabe resaltar que dentro de las principales funciones de la GMAO está la de gestión de los activos a través de programas, archivos y tablas.

Según Santiago García en su libro organización y gestión integral del mantenimiento³² las principales ventajas y desventajas que se pueden presentar con la implementación de GMAO son:

- Control sobre la actividad de mantenimiento
- Control sobre el gasto
- Facilidad para la consulta de históricos
- Facilidad para la obtención indicadores
- Alta inversión inicial, tanto en equipos como en programas y en mano de obra para la implantación
- En muchos casos, aumento del personal indirecto dedicado a tareas improductivas.
- La información facilitada a menudo no es suficientemente fiable

El sistema de información elaborado para el laboratorio, tiene un control de la actividad de mantenimiento mediante:

- Creación de tareas de índole correctivo y preventivo que luego es posible retroalimentar.

³² GARCÍA, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Díaz de Santos S: A., 2003. p. 289.

- Generación automática de alarmas para tareas que no han sido realizadas en la fecha estipulada
- Producir ordenes de trabajo donde se especifica si el estado es abierto o cerrado, entre otros.

Para manejar el control de los gastos, a la hora de cerrar una tarea correctiva o preventiva es posible ingresar el valor que cuesta realizarla y mostrarla posteriormente para cada equipo.

Con respecto a la consulta de históricos, el software permite mediante un buscador analizar varios ítems de tiempo atrás, o en unos módulos específicos existen recuadros que dan información por ejemplo del equipo que más ha fallado.

En el módulo “maquinas” que hace las veces de hoja de vida, es fácil observar la confiabilidad y disponibilidad para cada uno a través del tiempo de manera gráfica y numérica, con esto es posible medir que tan bien se ha manejado la gestión del mantenimiento.

Con respecto a los costos, el software usado es libre (en el próximo apartado se explica la configuración) por tal motivo no se hizo necesario invertir dinero en la compra de algún programa, además, el laboratorio ya cuenta con computadores que poseen características necesarias para la instalación. La creación del sistema de información se hizo con acompañamiento de integrantes del laboratorio puesto que tienen una visión más general del funcionamiento diario de la instalación.

9.2 REQUERIMIENTOS

El software de mantenimiento que se explicará a continuación, fue creado con el fin de mejorar la gestión del mantenimiento en el laboratorio de geofísica. El sistema

relaciona información asociada a hojas de vida, mantenimiento preventivo y correctivo, ordenes de trabajo, cronogramas, entre otros. El software tiene dos características que mejoran su función; primero, bajo costo para su desarrollo y adquisición de la plataforma necesaria y por ultimo hecho a medida, es decir, se ajusta a las necesidades básicas que tiene el laboratorio.

El funcionamiento del sistema de informacion requiere un computador con las siguientes características de hardware y software:

- Sistema operativo Windows 7 o superior
- Procesador de 1.06 Ghz en adelante
- Memoria Ram 4 Gb o superior
- Disco duro 500 Gb mínimo
- Tener instalado el software Apache Friends Xampp. El server Xampp es un servidor independiente de plataforma.
- Tener instalado el software MySQL, para la gestión de la base de datos.
- Navegador web (google Chrome recomendado)

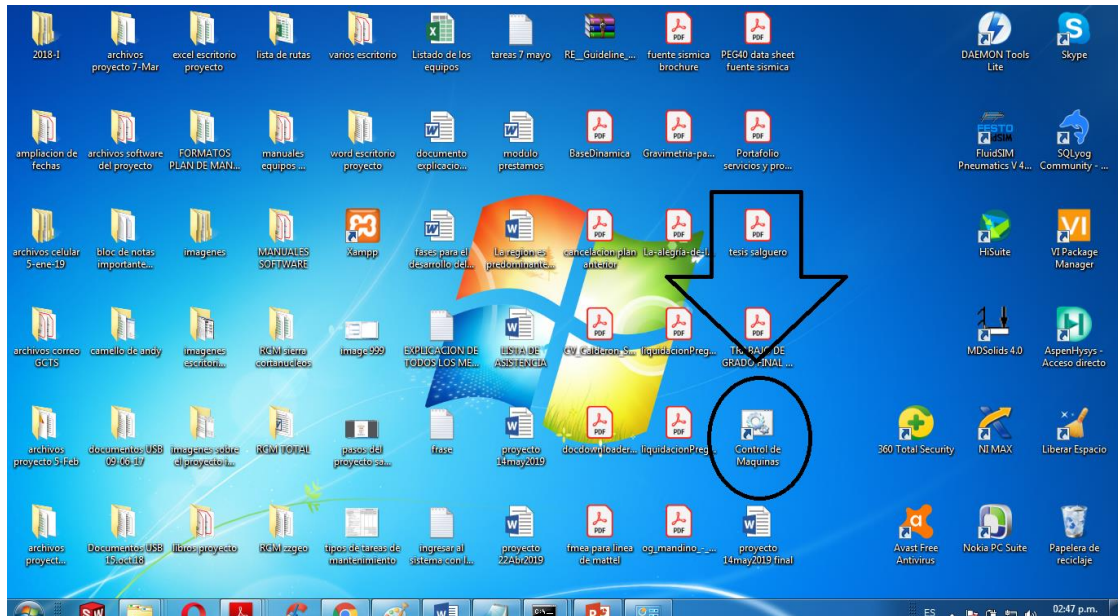
Nota: El funcionamiento del sistema de información no requiere conexión a internet.

9.3 PRESENTACIÓN GENERAL

El presente numeral pretende dar una descripción detallada del diseño y estructura del sistema de información que se instaló en el laboratorio. Se irá describiendo desde el momento en que se debe iniciar el programa hasta el último modulo, describiendo la información que cada uno contiene.

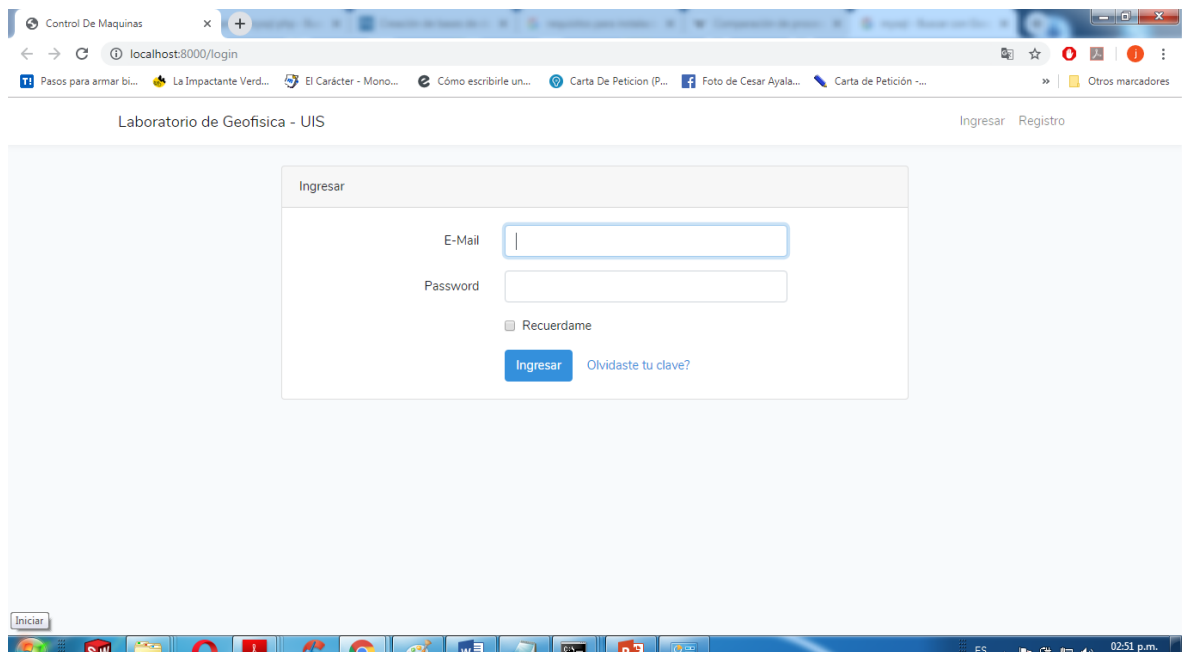
9.3.1 Acceso al programa. Desde el acceso directo creado en escritorio, se debe dar doble click como lo señala la siguiente imagen:

Figura 28. Acceso al programa



Posteriormente se abrirá el navegador web (google Chrome) solicitando un usuario y un password:

Figura 29. Usuario y password

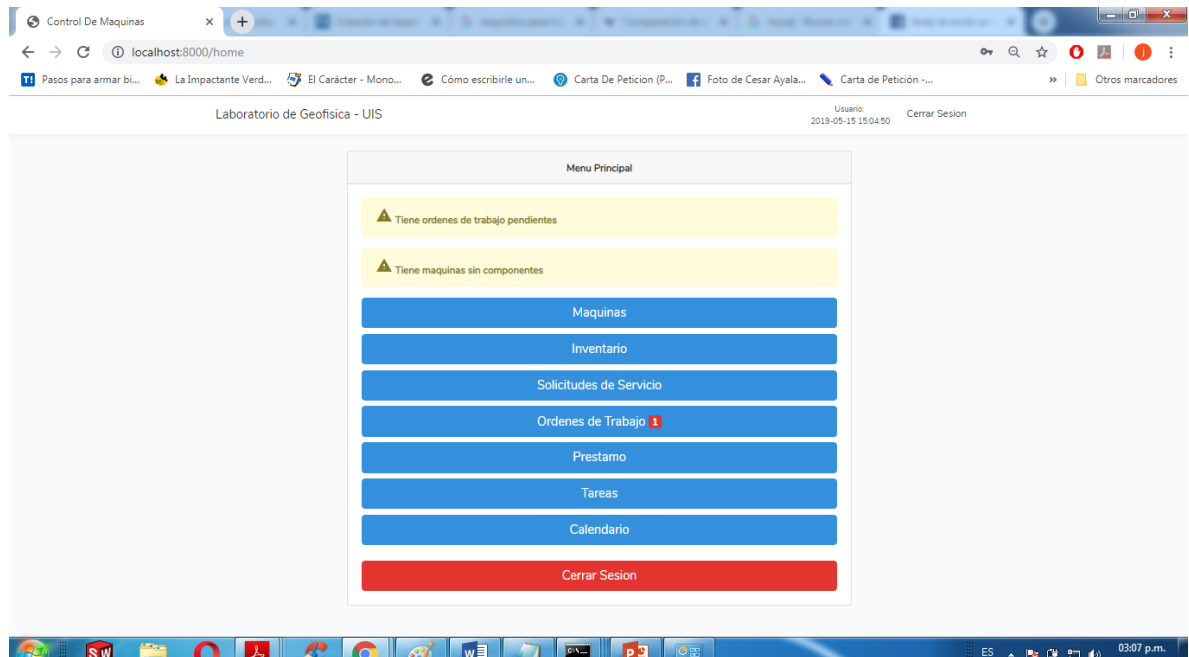


E-mail: jusecasa1@hotmail.com

password: 12345

9.3.2 Menú principal

Figura 30. Menú principal



El sistema contiene 2 ventanas emergentes de alertas, una para ordenes de trabajo pendientes y otra para maquinas sin accesorios auxiliares en inventario. 7 módulos: Maquinas, inventario, solicitudes de servicio, ordenes de trabajo, préstamo, tareas, calendario. Por ultimo 1 cajón para pinchar y cerrar sesión. Como se puede observar en la figura anterior, el módulo “ordenes de trabajo” contiene al lado derecho una notificación, esta indica que hay una o más tareas del plan de mantenimiento por realizar.

9.3.3 Modulo Maquinas. Al iniciar el modulo se puede observar una lista de todos los dispositivos del laboratorio, hay ocho columnas como se observa en la siguiente figura, en donde se muestra información concerniente al equipo como: código del

equipo, Nombre, marca, modelo, ubicación, Numero de intervenciones correctivas “O.corr.”, número de intervenciones preventivas “O.Prev.” y préstamos.

Figura 31. Modulo Máquinas

Código	Nombre	Marca	Modelo	Ubicación	O.Corr.	O.Prev.	Prestamos
317-SBH-01	Sistema de excavación hidráulica	Barlingieri	MCJ4003	SL7	0	0	1
317-DBH-01	Excavadora	Thiemo Scientific	Pyramide ACT	SL7	0	0	0
317-SPH-01	GPS DISPENSADOR	GEONAX	ZamcoPho	SL7	0	0	0
317-PFH-01	Simple core P-Tester	GEO INC	TDU		0	0	0
317-DBH-01	Stratagem Hipermedula	Geometric	Stratagem D14		0	0	0
407-ETT-01	Estación topográfica total	GEONAX	ZamcoPho		1	1	0
407-PFH-01	Puerta Simca				0	0	0
407-DBH-01	Generador				0	1	1
407-DBH-01	Geometría				0	0	0
407-DBH-01	Geometría				0	0	0
407-DBH-01	Geometría				0	0	0
407-DBH-01	Hipodermómetro	GEON SYSTEMS	GDH-187		0	0	0
407-DBH-01	Hipodermómetro				0	0	0
407-DBH-01	Estación topográfica total	GEONAX	ZamcoPho		1	1	0
407-PFH-01	Puerta Simca				0	0	0
407-DBH-01	Generador				0	1	1
407-DBH-01	Geometría				0	0	0
407-DBH-01	Geometría				0	0	0
407-DBH-01	Hipodermómetro	GEON SYSTEMS	GDH-187		0	0	0
407-DBH-01	Hipodermómetro				0	0	0
407-PFH-01	Puercaloma	OPTE	SLP-630		0	0	0
407-DBH-01	Sistema Cartográfico	QCTE Tracking Systems	R50-75		0	0	0
407-DBH-01	Sonografía	Guilherme Geo	Albem TomoPro		0	0	0
407-DBH-01	Equipo ultrasonido de onda en fase	QCTE Tracking Systems	UZF-2 ultrasonido Test		0	0	0
407-DBH-01	Guilherme GEO	Albem ualTECH			0	0	0
407-DBH-01	22180	Huawei UNIVERSAL			0	0	0

En la parte inferior del módulo aparece la opción de crear más maquinas.

Al lado derecho de la columna “prestamos” se observa un cajón para pinchar que dice “ver”. Luego de pinchar ahí aparece la siguiente interfaz gráfica:

Figura 32. “Ver” en el módulo de prestamos

The screenshot displays a web application titled "Consultar Máquina" with the following sections:

- Especificaciones Técnicas del Equipo:** Includes input fields for Código (407-WAL-01), Nombre (walkTEM), Serial, Marca (Guideline GSD), Modelo (Albem walkTEM), Voltaje, Vigencia desde (YYYY-MM-DD), and Lugar de origen.
- Buttons:** "Cambiar Foto", "Cambiar Manual", and "Ver Tabla de Disponibilidad".
- Ver Tabla de Disponibilidad:** A line graph showing availability over time, with a scale from 100 to 1.
- Condiciones de Operación:** Fields for Horas de uso diario, Temperatura de operación (°C), Tiempo de carga (horas), Nivel de ruido, and Ubicación.
- Componentes:** A table with columns for Nombre and Tipo, with buttons "Agregar Componentes" and "Eliminar Componentes".
- Mantenimiento:** Includes radio buttons for Personal (Interno, Externo), Tipo (Correctivo, Preventivo), and Periodicidad (Mensual, Trimestral, Semestral, Anual), along with a text area for Descripción del mantenimiento.
- Bottom Buttons:** "Ver Historial de Fallos", "Ver Tiempos", "Ver Manual", "Guardar Máquina", "Eliminar Máquina", "Imprimir Hoja de Vida", and "Volver".

Aquí se puede observar la hoja de vida con la misma distribución descrita en el capítulo 4.6. Se puede ver y cambiar la imagen del equipo, el manual en la parte superior izquierda de la ventana.

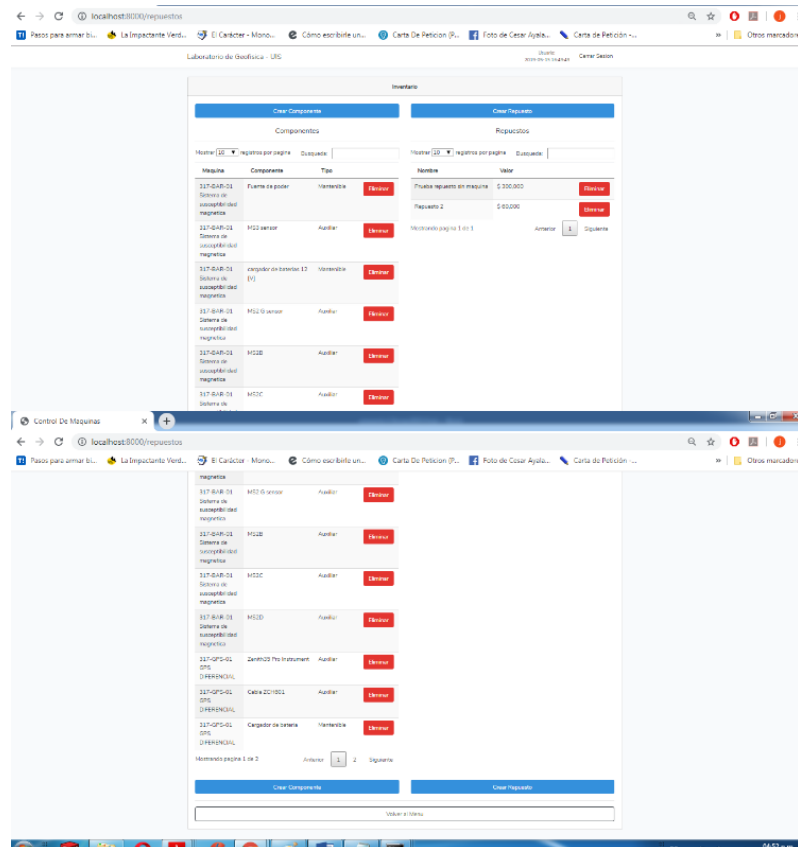
En la esquina superior derecha se dan las especificaciones de la máquina y una caja “ver tabla de disponibilidad” donde se puede ver el grafico de los indicadores (disponibilidad, MTBF, MTBR)

En la parte media de la ventana de la hoja de vida aparece información de las condiciones de operación y los respectivos componentes auxiliares que componen el equipo completo (es posible añadir y eliminar) además del tipo de mantenimiento que recibe cada máquina.

En la parte inferior aparece una opción para “ver el historial de fallas”, ver “tareas” de mantenimiento preventivo que se han ido implementando, ver el manual e “imprimir la hoja de vida”.

9.3.4 Modulo “Inventario”. En esta parte se puede encontrar todo lo que está en existencia en el laboratorio. Al ingresar a este módulo se pueden observar dos listas:

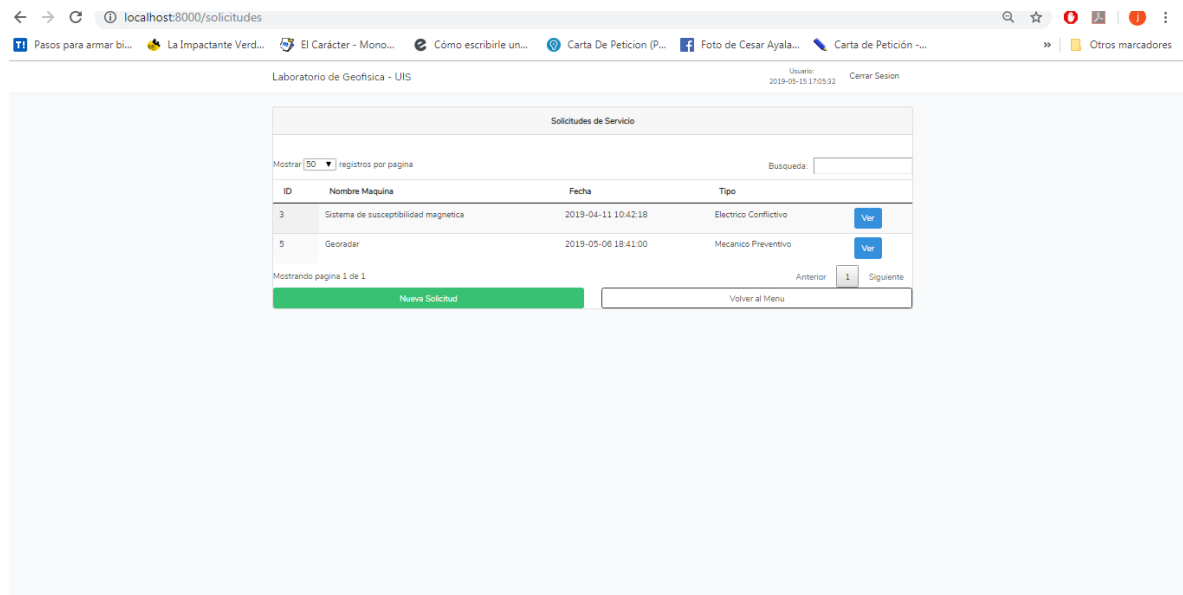
Figura 33. Modulo inventarios



Una lista llamada “componentes” en donde se ingresa los equipos y componentes de cada uno. Otra lista donde se pueden almacenar los diferentes repuestos que se tengan en inventario.

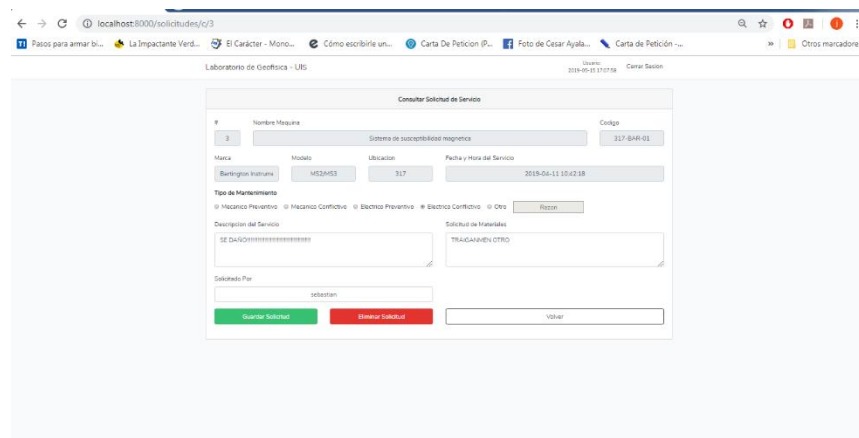
9.3.5 Modulo “Solicitudes de servicio”. Cuando se requiere hacer una tarea correctiva, el usuario puede ingresar a este módulo e indicar que se debe iniciar la tarea como se observa en la siguiente imagen:

Figura 34. Modulo solicitudes de servicio



Existe un historial de las tareas que se han realizado, en la parte central de esta interfaz gráfica, se puede pinchar en “ver” y aparecerá

Figura 35. “Ver” en modulo solicitudes de servicio



9.3.5.1 Crear una solicitud de servicio

Figura 36. Creación solicitud de servicio

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost:8000/solicitudes/nueva'. The browser's tab bar includes several open tabs, and the address bar shows search, star, and other icons. The page header indicates 'Laboratorio de Geofísica - UIS' and 'Usuario: 2019-05-15 17:08:43'. The main content area features a form titled 'Crear Solicitud de Servicio'. The form includes a dropdown menu for 'Maquina' with the placeholder 'Seleccione una maquina', a text field for 'Fecha y Hora de la Solicitud' showing '2019-05-15 17:08:43', a section for 'Tipo de Mantenimiento' with radio buttons for 'Mecanico Preventivo', 'Mecanico Conflictivo', 'Electrico Preventivo', 'Electrico Conflictivo', and 'Otro', and a 'Razon' button. Below this are text fields for 'Descripcion' and 'Solicitud de Materiales', a 'Solicitado Por' field, and two buttons at the bottom: 'Crear Solicitud' (green) and 'Volver' (white).

Cuando se da clic en nueva solicitud aparece el menú de la imagen anterior donde se requiere ingresar la máquina que se intervendrá, la razón de intervenirla, descripción, solicitud de los materiales necesarios para intervenir y el nombre de la persona que solicita. El número de orden y la fecha de la solicitud aparecen automáticamente. Al crear la solicitud de servicio automáticamente se genera una orden de trabajo, es decir, las tareas de mantenimiento correctivo que al igual que las tareas de mantenimiento preventivo (Se explican en el siguiente numeral) generan alarmas y una aparición en el calendario.

9.3.6 Módulo “Orden de trabajo”. Cuando se quiere programar una tarea de mantenimiento preventivo el usuario debe ingresar a este módulo y encontrará:

Figura 37. Orden de trabajo

Ordenes de Trabajo

Orden creada

Mostrar 50 registros por pagina

Busqueda:

ID	Nombre Maquina	Fecha Inicio	Fecha Fin	Estado	
3	Sistema de susceptibilidad magnetica	2019-04-11 22:06:48	2019-04-14 16:11:41	Cerrada	Ver
4	Sistema de susceptibilidad magnetica	2019-04-15 10:20:59	2019-04-15 10:23:37	Cerrada	Ver
5	Sistema de susceptibilidad magnetica	2019-04-29 10:53:09	2019-04-29 15:55:08	Cerrada	Ver
11	Estación topografica total	2019-05-06 18:37:00	2019-05-07 09:16:34	Cerrada	Ver
12	Estación topografica total	2019-05-13 14:23:55			Ver
13	Georadar	2019-05-13 16:10:00	2019-05-14 00:00:00	Cerrada	Ver
14	Georadar	2019-05-16 11:55:00		Abierta	Ver

Mostrando pagina 1 de 1

Anterior 1 Siguiente

Nueva Orden

Volver al Menu

La parte superior de este módulo contiene un botón de búsqueda donde se puede relacionar cada ítem con una característica que se desea buscar.

En la parte media se encuentran seis columnas: “ID” que es un número de identificación interno del software, “nombre de máquina”, “fecha de inicio” de la orden de trabajo, “fecha fin” que es la fecha en que se cierra la orden y la columna estado cambia a cerrado; el botón “ver” lleva a otra ventana que describe esa orden de trabajo específicamente, en la siguiente imagen puede observarse la pantalla luego de dar clic en “ver”:

Figura 38. Botón “ver” en el menú de órdenes de trabajo

Orden de Trabajo # 3 Orden Cerrada

Detalles de la maquina

Nombre Maquina

Sistema de susceptibilidad magnetica

Codigo

317-BAR-01

Marca

Bartington Instruments

Modelo

MS2/MS3

Ubicacion

317

Detalles del mantenimiento

Tipo

☐ Preventiva
 ☒ Correctiva
 ☐ A Condicion
 ☐ Otro

Lugar donde se realizara la actividad

un salon

Solicitada Por

andy

Asignada A

asignador

Motivo

test funciones

Descripción del Trabajo

Descripción de la tarea a realizar

descripcion tarea

Herramientas Necesarias

llave y destornillador

Reporte de Servicio

Reporte del Servicio

test

Observaciones

test

Fecha y Hora Inicio

2019-04-11 22:06:48

Fecha y Hora Fin

2019-04-14 16:11:41

Tiempo transcurrido: 66.1 horas

Repuestos

- Repuesto - Valor x Cantidad

1 - Fuente de poder - \$ 50000 x 2

Costos Asociados

Mano de Obra

1000

Transportes

2000

Consumibles

4000

Otros

5000

Valor Repuestos

100000

Total

112000

Imprimir

Volver

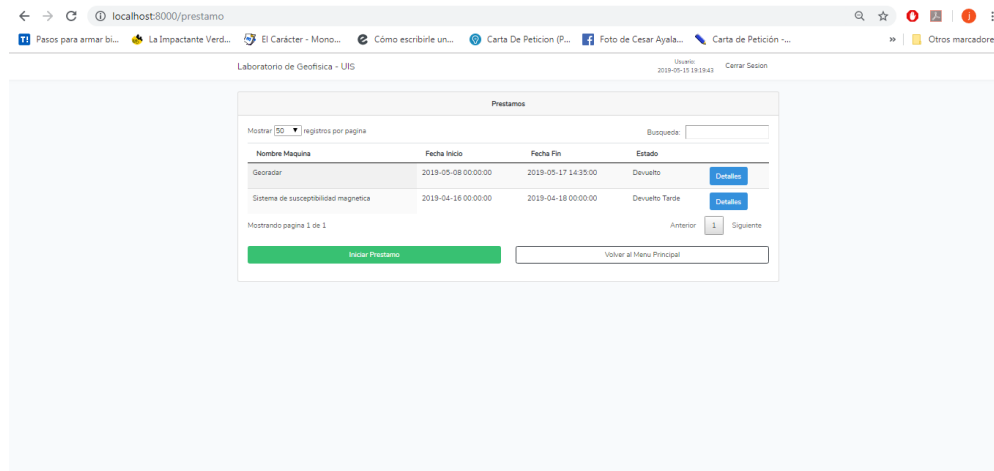
La nueva ventana contiene información sobre la orden de trabajo, se divide en seis grupos de datos:

- Detalles de la máquina: en esta sección aparece el nombre de la máquina y otros datos como modelo, ubicación, código, marca.
- Detalles de mantenimiento: Se puede seleccionar entre diferentes tipos de mantenimiento como preventivo, correctivo, a condición, entre otros. Se debe seleccionar el lugar donde se realizará el mantenimiento, a quien se le asigna, el lugar y el motivo.
- Descripción del trabajo: Se deben diligenciar dos campos, la descripción de la tarea a realizar y las herramientas necesarias para esto.

- Reporte del servicio: En esta parte se debe ingresar información referente a los resultados de la intervención, el reporte del servicio, observaciones, la fecha y hora de inicio, Fecha y hora del fin de la intervención; el sistema calcula el tiempo que duro la intervención automáticamente.
- Repuestos: Se deben seleccionar los repuestos de la lista desplegable deben ser usados en la intervención. Y la cantidad de estos.
- Costos asociados: se debe colocar el valor de la mano de obra, transportes, consumibles y otros.

9.3.7 Modulo “Prestamos”. Este módulo no está relacionado con el mantenimiento, pero fue un requerimiento de los encargados del laboratorio y que en cierta medida integra diferentes aspectos de las actividades diarias de la instalación. El modulo se se presenta gráficamente a continuación:

Figura 39. Módulo “prestamos”



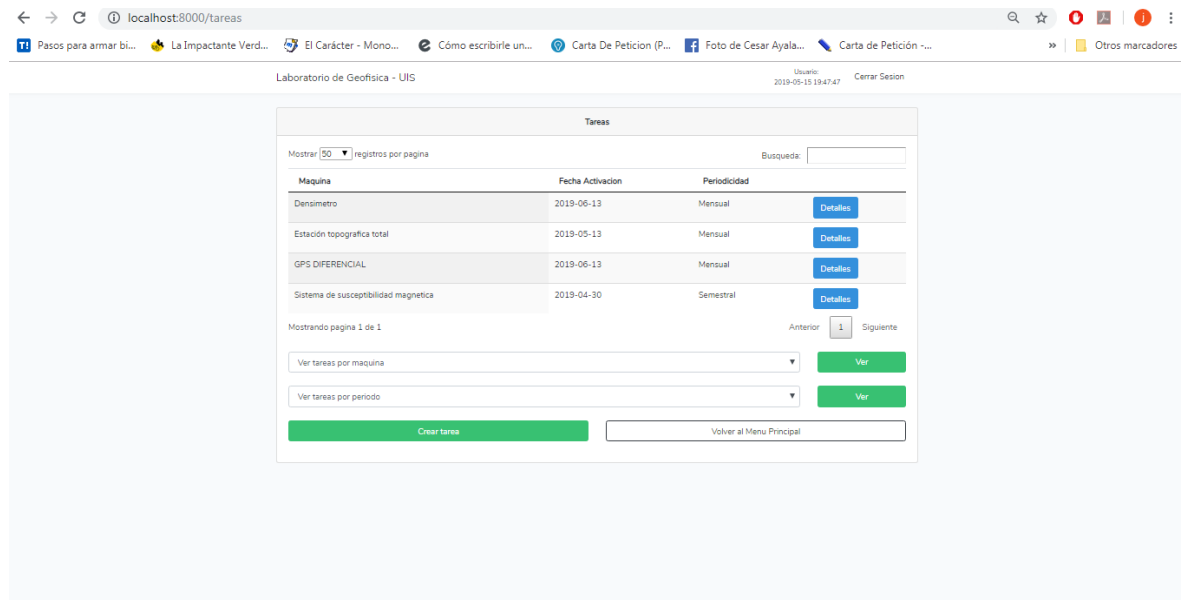
The screenshot shows a web application interface for the 'Prestamos' (Loans) module. At the top, there's a header with the page title 'Laboratorio de Geofísica - UIS' and a user session information bar. Below the header, there's a search bar and a table of loan records. The table has columns for 'Nombre Maquina', 'Fecha Inicio', 'Fecha Fin', and 'Estado'. Two records are visible: one for a 'Georadar' and another for a 'Sistema de susceptibilidad magnetica'. Each record has a 'Detalles' button next to it. At the bottom of the table, there are navigation buttons: 'Anterior', 'Siguiente', and a green 'Iniciar Prestamo' button. There is also a link to 'Volver al Menu Principal'.

Nombre Maquina	Fecha Inicio	Fecha Fin	Estado
Georadar	2019-05-08 00:00:00	2019-05-17 14:35:00	Devuelto
Sistema de susceptibilidad magnetica	2019-04-16 00:00:00	2019-04-18 00:00:00	Devuelto Tarde

Hay un historial de préstamos principalmente, la opción de iniciar un nuevo préstamo, búsqueda y detalles a cada uno de los préstamos ya se han realizado.

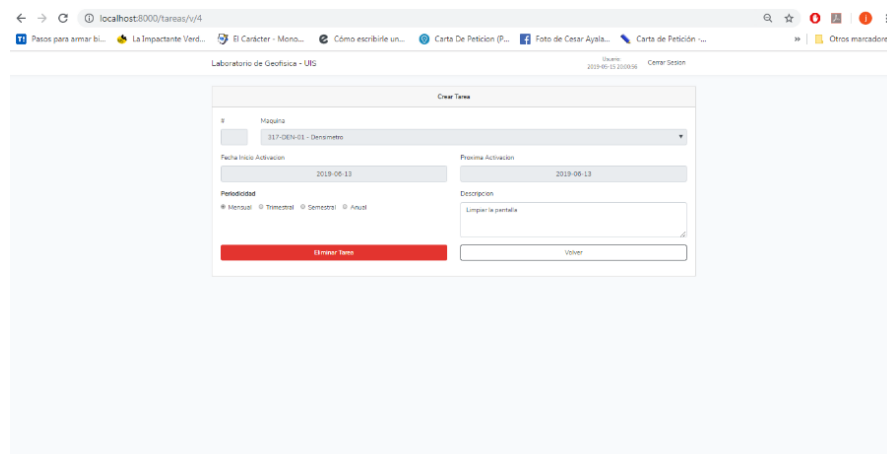
9.3.8 Modulo “Tareas”

Figura 40. Módulo de tareas



De la figura anterior, se puede observar primero un cajón de búsqueda, luego una lista con todas las tareas del plan de mantenimiento organizadas por la descripción de la “maquina” a la cual corresponde, la fecha de activación, la periodicidad y un botón de “detalles” que permite ver una descripción completa de la tarea.

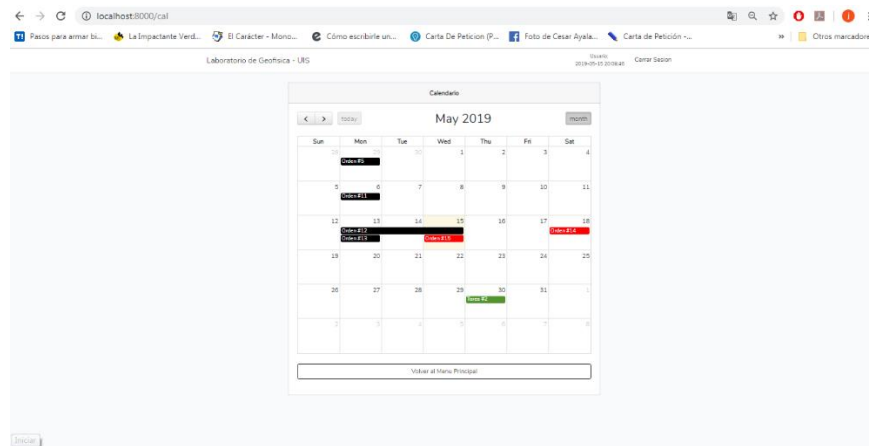
Figura 41. Detalle de una tarea



El módulo de “tareas” permite también realizar búsquedas de tareas por maquinas, y periodos de tiempo.

9.3.9 Módulo “Calendario”. La idea de un calendario es poder ver las tareas de manera programada de acuerdo al número, mes y año. Se puede avanzar en el tiempo con los botones de la parte superior izquierda, volver al día actual dando clic en el botón llamado “today” ubicado al lado derecho.

Figura 42. Módulo “calendario”



En el anexo G se puede leer el manual de usuario del sistema de información.

10. SOCIALIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Con el plan de mantenimiento de los equipos críticos terminado y la puesta a punto del software de mantenimiento, se procedió a realizar una socialización con cada uno de los encargados del laboratorio tanto de la escuela de física como de geología, como a un auxiliar también. En la reunión con cada uno de ellos, se tocaron temas relacionados con la pasantía de investigación, por ejemplo, se explicó la organización de las hojas de vida, las actividades pertenecientes al plan de mantenimiento que surgió para la instalación, el manejo del sistema de información, entre otros. Se expuso la manera en que surgen las rutas de mantenimiento automáticamente y como debía realizarse la respectiva retroalimentación al software, como generar una orden de trabajo y una orden para generar un trabajo correctivo. Las reuniones se realizaron en el laboratorio, la oficina 340 de geología con la persona encargada de la instalación perteneciente a esa escuela, y así mismo en física con la persona encargada perteneciente a esa dependencia de la universidad. Se generaron registros fotográficos de las reuniones y una lista de asistencia que se muestran en el anexo H.

11. CONCLUSIONES

- Se logró recopilar toda la información necesaria para el desarrollo del plan de mantenimiento, mediante inspecciones, visitas y entrevistas con los diferentes actores que influyen en la instalación se crea un inventario. La información recogida asociada a cada equipo, se estructura de acuerdo a la norma ISO 14224, logrando categorizarla de manera ordenada dentro de una base de datos para gestionarla de manera más rápida.
- Se llevó a cabo una auditoria interna de mantenimiento por medio de un cuestionario compuesto por 12 bloques y un total de 128 preguntas, cuyos resultados se mostraron en un diagrama de araña. Para comparar la gestión del mantenimiento en el laboratorio, se tomaron dos puntuaciones como referencia, una llamada “aceptable” y otra “estado ideal”. El resultado fue que la gestión del mantenimiento se está llevando a cabo de manera muy deficiente. Se encontró que 7 bloques de los 12 tiene una clasificación 100 puntos por debajo de “aceptable”, el bloque “sistemas informáticos” obtuvo una puntuación igual a cero, mientras que cuatro de los doce están entre 20 y 80 puntos por debajo del estado aceptable. Con estos resultados se hizo aún más necesario establecer políticas frente al mantenimiento y degradación de los activos.

Luego de la auditoria de gestión del mantenimiento, se realizó una matriz DOFA. En ella se concluyó que dentro de las fortalezas se encuentra ser el único laboratorio de esa índole en la región nororiental del país; dentro de las debilidades se halló que había falta de documentación técnica, en las amenazas que había un completo desconocimiento de los proveedores locales de cada uno de los dispositivos.

- Se elaboró un análisis de criticidad que involucró todos los equipos que componen el laboratorio, a través del método AHP (Análisis jerárquico de procesos). Para definir los criterios de jerarquización se creó un equipo de trabajo que también permitió cuantificar de manera más apropiada dichos criterios. Se calculó la razón de consistencia, dando como resultado un valor acertado y por tanto la correcta ponderación de los criterios. Se estableció una escala con tres categorías de criticidad: no crítico, medianamente crítico y muy crítico; la respectiva calificación numérica dependía de la media entre la criticidad de todos los equipos ($\mu=0,84$), es decir, que para equipo con una calificación de criticidad por encima de la media se les denominó “altamente críticos”, una desviación ($\sigma=0,321$) por debajo de la media “medianamente críticos” y dos desviaciones por debajo “no críticos”.

De los 18 equipos que componen el laboratorio se tiene que:

8 son no críticos, terraloc, magnetotelurica, gravímetros, GPR, magnetómetros y walkTEM.

5 medianamente críticos, ZZgeo, Sierra cortanucleos, Porosímetro, Bartington y densímetro

5 pertenecen a no críticos, estación Topográfica, probador IP de propiedades eléctricas, velocidad de onda en roca, fuente sísmica y GPS diferencial.

- Se desarrolló la metodología RCM II en base a las normas SAE JA 1011 y SAE JA 1012, plasmando los resultados en las hojas de información y decisión que plantea Jhon Moubray en la teoría de su libro RCM II. Se crearon rutas de mantenimiento que agrupan tareas a realizar en cada salón de acuerdo a una periodicidad específica.

- De acuerdo al análisis de costos, se tienen aproximadamente se tienen ocho tablas con los repuestos principales para cada equipo crítico. Se obtuvo un valor para la TIR igual a 39%
- Se elaboró un sistema de información a través de Apache Friends Xampp, server Xampp para el servidor independiente de plataforma y MySQL para la gestión de la base de datos. El programa cuenta con usuario y clave de acceso, tiene siete módulos y es posible imprimir información como la hoja de vida y rutas de tareas.
- Se organizó una socialización para los encargados del laboratorio y auxiliares. En dicha reunión se explicó y socializo de manera clara el proceso seguido en la pasantía de investigación y los resultados obtenidos en la auditoria, las listas de tareas de mantenimiento que surgieron a través del RCM II, se entregaron tres carpetas que contenían información impresa relacionada a las hojas de vida de todos los equipos del laboratorio, un CD con el sistema de información y un manual para su uso, y tablas con las respectivas tareas de mantenimiento que debían realizarse.

12. RECOMENDACIONES

- Es importante que la información que se ingresa al sistema de información sea verídica y confiable puesto que de ella dependerán los indicadores y posibles decisiones de mantenimiento que se tomarán en el futuro.
- Cuando se tengan notificaciones en el botón de “ordenes de trabajo” se debe revisar que tareas están sin realizarse.
- Para un adecuado manejo del sistema de información se recomienda leer el manual de usuario que está en el anexo H.
- Cuando se debe realizar una ruta de mantenimiento, imprimir la lista de actividades.
- Grabar el código que identifica cada máquina en la caja o empaque de la misma.
- Establecer en el cronograma unas fechas fijas para la calibración de los equipos que poseen sensores que se calibran cada tanto.

BIBLIOGRAFÍA

BARTINTON. MS2. [En línea]. Disponible en http://www.bartington.com/Literaturepdf/Datasheets/MS2_MS3_DS0020.pdf

BASALTOIT. Gpr. [En línea]. Disponible en https://basaltoit.com/wp-content/uploads/dossier-gpr_ucam.pdf

CAMPUS VIRTUAL. Velocidad sónica en rocas. [En línea]. Disponible en <https://campusvirtual.ull.es/ocw/mod/resource/view.php?id=5705>

DÍAZ CONCEPCIÓN, Armando, *et al.* Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos Ingeniería Mecánica Vol. 15 No. 1 La Habana ene.-abr. 2012. [En línea]. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442012000100004

DSPACE. Implementación de metodología AMFE. [En línea]. Disponible en <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/2714/1/08685.pdf>. p. 28.

ECURED. Magnetómetro. [En línea]. (Recuperado en 27 noviembre 2018.) Disponible en <https://www.ecured.cu/Magnetometr%C3%Ada>

GARCÍA GARRIDO, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial. Madrid: Ediciones Díaz de Santos S.A., 2003. p.1.

GARCÍA, Santiago. Organización y gestión integral de mantenimiento. Madrid: Díaz de Santos S: A., 2003. p. 289.

GCTS. Ultrasonic velocity test sytem. [En línea]. Disponible en <https://www.gcts.com/pdf/products/Ultrasonic-Velocity-Test-System.pdf>

GDDINSTRUMENTATION. Probador SCIP. [En línea]. Disponible en <https://www.gddinstrumentation.com/es/scip-probador>

GEODATOS. Método magnetotelúrico. [En línea]. (Recuperado en 28 noviembre 2018.) Disponible en <http://www.geodatos.cl/mt.php>

GEODINAMI CAINTERNA. Ondas sísmicas. [En línea]. Disponible en <http://geodinamicainterna.wixsite.com/geodinamicainterna-1/ondas-ssmicas>

GEOMAX. GNSS. [En línea]. Disponible en <https://geomax-positioning.com/products/gnss/zenith35-pro>

GEONICA. Georadar.[En línea]. Disponible en <http://www.geonica.com/prod/139/221/Equipos-GEOFISICA-/Georadar-GPR/index.html>

GEOPHYSICAL STUDIES. Abem Terraloc Pro. [En línea]. (Recuperado en 29 noviembre 2018.) Disponible en <http://www.geophysicalstudies.cl/ABEM-TerralocPro-Folleto.pdf>

GERENCIE. El ambiente laboral es un factor determinante en la productividad del trabajador. [En línea]. disponible en <https://www.gerencie.com/el-ambiente-laboral-es-un-factor-determinante-en-la-productividad-del-trabajador.html>

GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, francisco Javier. Auditoria del mantenimiento e indicadores de gestión. Madrid: Fundación Confemetal, 2004. p. 103.

GPS & GIS PROYECTOS INTEGRALES. Fundamentos de GNSS. [En línea]. (Recuperado en 3 diciembre 2018). Disponible en https://www.youtube.com/watch?v=VXc1_iKmniJU

GUIDELINEGEO. Abem waITEM. [En línea]. Disponible en <https://www.guidelinegeo.com/wp-content/uploads/2017/02/ABEM-WalkTEM-Brochure-Spanish.pdf>

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Norma ISO 14224 (15, Julio, 1999). Industrias del petróleo y gas natural- Recolección e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos. 1999, p. 1-71.

KELLY A.; HARRIS M. J. Gestión del mantenimiento industrial. p. 3.

LACCEI. Análisis del subsuelo mediante polarización inducida. [En línea]. Disponible en <http://www.laccei.org/LACCEI2014-Guayaquil/RefereedPapers/RP043.pdf>

LEAN SOLUTION AMEF. Análisis de modo y efecto de falla. [En línea]. Disponible en <http://leansolutions.co/conceptos-lean/lean-manufacturing/amef-analisis-de-modo-y-efecto-de-falla/>

MANTENIMIENTO PETROQUIMICA. Mantenimiento centrado en confiabilidad. [en línea] disponible en <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

MICROG LA COSTE. Autograv gravitometer. [En línea]. (Recuperado 18 noviembre 2018.) Disponible en <http://microglacoste.com/product/cg-6-autograv-gravity-meter/>

MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. UIS ofrece segunda maestría en geofísica del país. [en línea]. Disponible en <https://www.mineduacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-338115.html> [citado en 10 de diciembre de 2018]

MIRANDA, Silvia; HERRADA, Alfredo y PACINO, María Cristina. Respuesta instrumental del gravímetro scintrex autograv cg-5 (s/n 40484) en modos continuo y relevamiento Geoacta vol. 38 no.1. [En línea]. Buenos Aires. 2013. (Recuperado en 8 enero 2019.) Disponible en http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1852-77442013000100001

MOUBRAY, Jhon. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM II. Leicestershire: Aladon Ltd., 2004. p. 19.

MUÑOZ ABELLA, María Belén. Mantenimiento Industrial Tecnología de Máquinas 4º Ingeniería Industrial. [en línea]. Disponible en <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/tecnologia-de-maquinas/material-de-clase-1/MANTENIMIENTO.pdf> p. 24.

MUYINTERESANTE. Paleoclimatología. [En línea]. (recuperado en 20 diciembre 2018.) Disponible en <https://www.muyinteresante.es/curiosidades/preguntas-respuestas/paleoclimatologia>

NAGARVIL. GNSS diferencial. [En línea]. Disponible en <https://nagarvil.webs.upv.es/gnss-diferencial-gps-diferencial/>

RENOVETEC. Tipos de mantenimiento. [en línea]. disponible en <http://www.renovetec.com/590-mantenimiento-industrial/110-mantenimiento-industrial/305-tipos-de-mantenimiento>

TERRAMAR. Terraloc Pro Instruction Manual. [En línea]. Disponible en <https://terramar.xyz/wp-content/uploads/Terraloc-Pro-Instruction-Manual.pdf>

THERMOFISHER. Pycnomatic ATC. [En línea]. Disponible en <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/11530000>

TOSCANO HURTADO, Gerald Bruno. El proceso del análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. [En línea]. disponible en http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/tesis/basic/toskano_hg/cap3.pdf . p.1.

USON . Apéndice. [En línea]. (Recuperado en 21 noviembre 2018). Disponible en <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/20345/Capitulo10.pdf>

VALBOR SOLUCIONES. Breve historia mantenimiento industrial. [en línea]. (Recuperado en 05 enero de 2019.) disponible en <https://www.valborsoluciones.com/mantenimiento/breve-historia-mantenimiento-industrial/>

WAPS. Zenith53 pro. [En línea]. Disponible en <https://www.waps.net.au/wp-content/uploads/2017/02/2-Geomax-Zenith35-Pro-User-Manual-v1.pdf>

WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE. Análisis DAFO. [En línea]. Disponible en https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_DAFO

WIKIPEDIA ENCICLOPEDIA LIBRE. Gravímetro. [En línea]. (Recuperado en 20 noviembre.) disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Grav%C3%ADmetro>

WIKIPEDIA. Magnetómetro. [En línea]. (Recuperado en 25 noviembre 2018.) Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Magnet%C3%B3metro>

WIKIPEDIA. Paleomagnetismo. [En línea]. (recuperado en 20 diciembre 2018)
Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Paleomagnetismo>

WIKIPEDIA. Teodolito. [En línea]. (Recuperado en 17 diciembre 2018). Disponible
en <https://es.wikipedia.org/wiki/Teodolito>

WIKIPEDIA. Turba. [En línea]. Disponible en <https://es.wikipedia.org/wiki/Turba>

ZONGE. Introducción a TEM. [En línea]. Disponible en http://zonge.com/wp-content/uploads/2011/10/Intro_TEM-es-4-26-2015.pdf

