

ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA INTEGRIDAD Y
CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS PARA EL PROGRAMA DE
PREGRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER

ALVARO ESTEBAN GÓMEZ SIERRA
VÍCTOR HUGO REYES CACHOPO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2016

ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA INTEGRIDAD Y
CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS PARA EL PROGRAMA DE
PREGRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER

ALVARO ESTEBAN GÓMEZ SIERRA
VÍCTOR HUGO REYES CACHOPO

Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico
Modalidad Práctica en Docencia

Director
ALBERTO DAVID PERTUZ COMAS
Ingeniero Mecánico
Dr. en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2016

A mis padres Clara Inés Cachopo y Hugo Reyes, por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida, por haberme enseñado que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue, por cada día hacerme ver la vida de una forma diferente y confiar en mis decisiones.

A Sofía Maldonado Villamizar, por haberme ayudado en gran manera a concluir esta etapa de formación profesional, siempre con su apoyo incondicional.

*A mis amigas Yecenia, Maria Rene, Leidy, Claudia, Flor, Fernanda, Andrea
Sus atenciones cuentan, las recordaré.*

Víctor Reyes

A mi mamá Clara Inés y mi papá Alvaro Julio por brindarme todo su amor y dedicación, por darme su apoyo incondicional, económico y moral, por los mejores consejos, la mejor educación, por enseñarme que con amor, sacrificio y esfuerzo todos los sueños se pueden cumplir, que la palabra renunciar no existe y que Dios hace de lo imposible, lo posible. A mi hermano Fernando Andrés, por brindarme los mejores consejos, por darme su voz y aliento, por compartir conmigo los mejores momentos, por las lecciones de vida mostradas y por su apoyo incondicional.

A mi familia, por acogerme en sus casas, por apoyarme y darme los mejores consejos. A mis amigos de Bucaramanga y Barbosa, Camilo, Lucho, Víctor y todos aquellos que marcaron e hicieron parte de esta bonita etapa de mi vida.

A Laura, por todo el amor y momentos perfectos que marcaron mi vida.

Esteban Gómez

Agradecemos al profesor Alberto David Pertuz, por su apoyo, paciencia y dedicación, por asesorarnos y darnos la oportunidad de trabajar con él.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. ALCANCE	18
3. DESARROLLO CURRICULAR DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA	19
3.1 PERFIL DEL ESTUDIANTE MATRICULADO	19
3.2 PROPOSITOS DE LA ASIGNATURA	20
3.3 CONTENIDO DE LA ASIGNATURA	21
4. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA.....	23
4.1 CONTENIDO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA.....	23
4.1.1 Capítulo 1. Introducción.	23
4.1.2 Capítulo 2. Fallas.	23
4.1.3 Capítulo 3. Análisis de fallas.	23
4.1.4 Capítulo 4. Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad.	24
4.1.5 Capítulo 5. Mecánica de la fractura.	24
4.1.6 Capítulo 6. Daño y mecanismos de daño.	24
4.1.7 Capítulo 7. Tribología.....	25
4.1.8 Capítulo 8. Análisis de criticidad y RBI.....	25
4.1.9 Capítulo 9. Metodología de evaluación de Integridad.	25
5. DESARROLLO DE LOS TALLERES PRACTICOS.....	27
5.1 CONTENIDO DE LOS TALLERES	27

5.1.1	Taller de Análisis de Criticidad.....	27
5.1.2	Taller de Análisis de Pareto.	28
5.1.3	Taller de Análisis de Weibull.	29
5.1.4	Taller de Árbol de fallas.	29
5.1.5	Taller de Análisis de Fallas.	30
5.1.6	Taller de Diagrama causa y efecto Ishikawa.....	31
6.	DESARROLLO DEL MATERIAL DE APOYO DIDACTICO DEL DOCENTE	32
7.	CONCLUSIONES.....	33
8.	RECOMENDACIONES	34
	CITAS.....	35
	BIBLIOGRAFÍA.....	37
	ANEXOS.....	39

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Campos de desempeño	14
Figura 2. Material de apoyo didáctico del docente	32

TABLA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA: INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS.....	39
Anexo B. LIBRO GUÍA: INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS	49
Anexo C. APOYO DIDACTICO DEL DOCENTE: 386 DIAPOSITIVAS.....	50

NOTA: LOS ANEXOS SE ENCUENTRAN EN CD-ROM.

RESUMEN

TÍTULO: ELABORACIÓN DE LA ASIGNATURA ELECTIVA INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS PARA EL PROGRAMA DE PREGRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTORES: ALVARO ESTEBAN GÓMEZ SIERRA, VÍCTOR HUGO REYES CACHOPO**

PALABRAS CLAVES: Integridad, Confiabilidad, Operación, Equipos, Asignatura electiva.

DESCRIPCIÓN:

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander (UIS) en su afán por mantener en alto los estándares de formación de sus egresados y cumpliendo con su ciclo de mejora continua amplía el campo de acción de su programa de pregrado al incluir asignaturas que fortalecen la competencia laboral del Ingeniero Mecánico. Debido a esto y a la importancia del mantenimiento en la vida profesional de sus egresados, debe mantenerse al margen de las exigencias de la industria actual que busca Ingenieros Mecánicos competentes para desempeñar como coordinadores de integridad y confiabilidad operacional de activos, y decide crear una asignatura electiva para tal fin, denominada "Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos". Este proyecto está enfocado en la creación de una asignatura de libre elección que capte la atención del estudiante interesado en adquirir o reforzar conocimientos sobre la integridad y confiabilidad operacional de equipos, como base para su vida profesional o por simple satisfacción personal. En esta asignatura se tratarán diferentes temas desde el análisis de fallas hasta las metodologías de evaluación de integridad, que permitan tomar acciones correctivas que eviten la operación errónea de un equipo y mitiguen el riesgo en las instalaciones de una compañía. Dicha asignatura se ofertará como asignatura electiva dentro del pensum de pregrado en Ingeniería Mecánica con una carga académica de 3 créditos e intensidad horaria presencial de 4 horas semanales dentro de un semestre académico ordinario.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Dr. Alberto David Pertuz Comas.

ABSTRACT

TITLE: CREATION OF THE ELECTIVE SUBJECT "EQUIPMENT INTEGRITY AND OPERATIONAL RELIABILITY" FOR THE MECHANICAL ENGINEERING UNDERGRADUATE PROGRAM OF THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER*

AUTHORS: ALVARO ESTEBAN GÓMEZ SIERRA, VÍCTOR HUGO REYES CACHOPO**

KEYWORDS: Integrity, reliability, operation, equipment and subject.

DESCRIPTION:

The Mechanical Engineering School of the Universidad Industrial de Santander, in search of an improvement cycle meant to maintain high-qualification standards of its graduate students, is offering an extension of its undergraduate program scope, which will include subjects focused on improving students' job opportunities in the market. Due to the previous mentioned, and to the necessity of aligning the career profile of the Mechanical Engineer to the demands of the industry that is currently looking for professionals capable of working as coordinators of integrity and operational reliability of assets; the elective subject called "Integrity and Reliability Operational Equipment was created". This project targets to the creation of an elective subject that captures the attention of students interested in acquiring or increasing knowledge regarding integrity and operational reliability of equipment, for their career development or personal growth. In this subject will be discussed different topics ranging from the analysis of failures, to the integrity-assessment methodologies for taking corrective actions that prevent malfunctioning in equipment, and mitigate risks on companies' facilities. The subject will be offered as an elective subject in the Mechanical Engineering undergraduate curriculum with an academic load of 3 credits and a classroom hourly intensity of 4 hours per week in a regular semester.

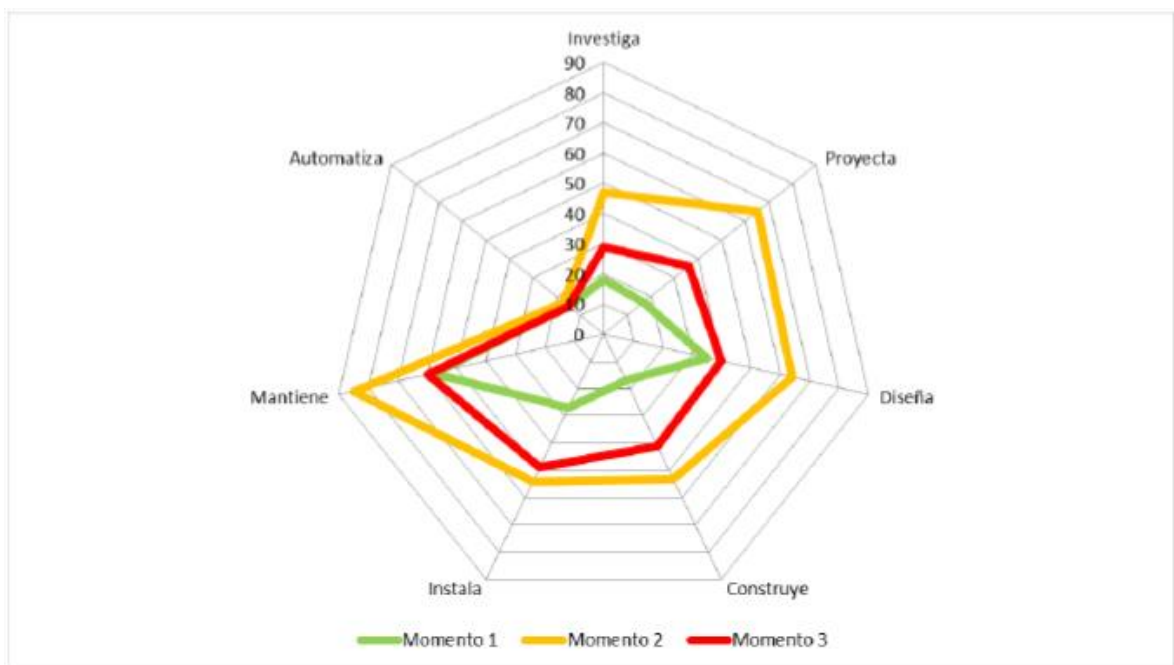
* Bachelor thesis.

** Physic-mechanical Engineering Faculty. Mechanical Engineering School. Director: Dr. Alberto David Pertuz Comas.

INTRODUCCIÓN

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander UIS se constituyó en el primer programa de formación profesional en esta disciplina de la Ingeniería ofrecido por una Universidad colombiana; en consecuencia acumula 67 años de vigencia ininterrumpida, durante los cuales ha realizado importantes aportes en la consolidación de la Industria nacional, entregando al país cientos de egresados con formación profesional de alta calidad incorporando los resultados de su investigación científica y tecnológica en las múltiples áreas de desarrollo de su profesión. Con el deseo de mantener en alto los estándares de formación de sus egresados y cumpliendo con su ciclo de mejora continua amplía el campo de acción de su Programa Académico de Pregrado y oferta diversas asignaturas de profundización en áreas afines a la Ingeniería Mecánica tales como Diseño, Manufactura, Térmica, Mantenimiento, Automatización y Control de Procesos, entre otras.

Figura 1. Campos de desempeño



Fuente: Estudio de seguimiento a egresados de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, 2015.

El último estudio de seguimiento a sus egresados muestra claramente que el campo de desempeño líder del Ingeniero Mecánico UIS es el área del Mantenimiento (Estudio de seguimiento a egresados de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander [1] por Ángela Paola Carrillo García y Gladys Tatiana Ballesteros Santana – El estudio considera los datos provenientes de los egresados entre los años 2009 y 2014), resultado que nos motivó a brindar a la Escuela la oportunidad de profundizar en la formación de esta área mediante la ampliación del catálogo ofertado de asignaturas de profundización afines, y así fortalecer las competencias que han caracterizado al Ingeniero Mecánico UIS a la hora de satisfacer las demandas de organizaciones a nivel regional, nacional e internacional. Actualmente, la Escuela de Ingeniería Mecánica dentro de su Programa Académico de Pregrado tiene asignaturas afines en el área de mantenimiento, como Ingeniería de Mantenimiento (octavo semestre) donde se aborda de forma general temas sobre la gestión del mantenimiento, sus metodologías y herramientas, que posteriormente son ofertados como asignaturas de profundización en Vibraciones Mecánicas, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y Mantenimiento Productivo Total, pero no se profundiza en temas sobre tribología, mecanismos de daño, mecánica de la fractura, inspección basada en riesgo, análisis de criticidad y metodologías de evaluación de integridad donde se analicen e identifiquen las fallas por medio de diferentes herramientas con el fin de facilitar la toma de decisiones rápida y confiable acerca del estado de integridad y confiabilidad de los equipos en las instalaciones.

Así mismo se analizó el mercado actual, las tendencias del mantenimiento y las exigencias de la industria a nivel nacional e internacional para mantener sus procesos sostenibles y confiables a lo largo del tiempo. Las empresas buscan profesionales de mantenimiento idóneos con un alto sentido de responsabilidad, liderazgo y seguridad, con capacidad de gestión y con conocimiento de las últimas técnicas desarrolladas para mantener los equipos, donde las técnicas y métodos para la detección de fallas son importantes ya que permiten su operación con una

probabilidad mínima de falla, alcanzar una alta confiabilidad, disponibilidad y seguridad evitando la afectación a personas, medio ambiente, destrucción de activos físicos y pérdidas de producción, y optimizar tiempos y recursos en la toma de decisiones ajustándose a las políticas y pilares de los enfoques estratégicos de las compañías haciendo que el mantenimiento sea parte del mejoramiento continuo y no sea visto como un área aislada, sino que se considere como un elemento importante de la gestión de Integridad y Confiabilidad Operacional que ayuda a cumplir los objetivos misionales de una empresa.

Debido, entonces, a la gran importancia que presenta la integridad y confiabilidad operacional de los equipos a escala industrial y la necesidad de formar profesionales con competencias para desempeñar en el mercado laboral como coordinadores de integridad y confiabilidad, la Escuela de Ingeniería Mecánica bajo la dirección del Dr. Alberto David Pertuz Comas ideó la creación de una asignatura denominada “Integridad y Confiabilidad Operacional De Equipos” donde se abordarán temas desde el análisis de fallas hasta las metodologías de evaluación de integridad, y será ofertada como asignatura electiva dentro de su Programa Académico de Pregrado de Ingeniería Mecánica.

Teniendo en cuenta lo anterior, la presente práctica en docencia consistió en elaborar dicha asignatura a través de varias etapas, las cuales comprenden de forma general: i) La elaboración de un programa de la materia enfocado en el perfil del estudiante de Ingeniería Mecánica; ii) La elaboración de un libro guía que servirá de apoyo para el profesor y los estudiantes donde se podrá encontrar los temas tratados en las clases presenciales; iii) La elaboración de talleres, que permitirán a los estudiantes enfrentarse con problemas de tipo industrial y que deberá afrontar en su vida laboral; iv) La elaboración del material de apoyo didáctico del docente, que servirá de guía para los estudiantes durante cada clase.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir al cumplimiento de la Misión de la Escuela de Ingeniería Mecánica en cuanto al desarrollo social, científico, y tecnológico y dar respuesta a las necesidades de la sociedad, mediante la elaboración del contenido curricular de la asignatura electiva Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos junto con el material académico y pedagógico para el Programa de Pregrado de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Diseñar el Programa Curricular de la asignatura Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos partiendo de las necesidades y tendencias de las Industrias en el área del Mantenimiento.

Basar el diseño del Programa en un perfil por Competencias del egresado de acuerdo a las nuevas directrices de la Vicerrectoría Académica de la Universidad.

Elaborar los contenidos programáticos y consolidarlos en una guía del curso como apoyo al proceso de formación.

Desarrollar casos de estudio prácticos reales para la elaboración de talleres que apoyen y complementen la asignatura.

Desarrollar el material de apoyo didáctico del docente y casos estudio prácticos reales para la enseñanza de la asignatura basada en TIC.

2. ALCANCE

Este proyecto está enfocado en la creación de una asignatura de libre elección que capte la atención del estudiante interesado en adquirir o reforzar conocimientos en las diferentes metodologías, prácticas, filosofías y herramientas sobre la integridad y confiabilidad operacional de equipos.

La asignatura “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos” se propone para ser ofertada en un grupo con capacidad máxima de 30 estudiantes como asignatura electiva dentro del programa académico de pregrado en Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander con una carga académica de 3 créditos e intensidad horaria presencial de 4 horas semanales dentro de un semestre académico ordinario. La asignatura se distribuirá en clases teóricas, desarrollo de casos de estudio prácticos reales, talleres y evaluaciones, donde se tomará en cuenta la asistencia a todas las actividades realizadas.

Después de asistir a la asignatura de “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos”, el estudiante de Ingeniería Mecánica alcanzará un conocimiento adecuado para desempeñar como coordinador de integridad y confiabilidad operacional de activos, podrá aplicar todas las metodologías y herramientas vistas en la asignatura para tomar decisiones que eviten la operación errónea de un equipo y mitiguen el riesgo en las instalaciones de una compañía logrando que sus procesos sean sostenibles bajo una mínima probabilidad de falla.

3. DESARROLLO CURRICULAR DEL PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

Teniendo en cuenta la necesidad de crear una asignatura que fortalezca los conocimientos de un egresado de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, específicamente en el área de mantenimiento, primeramente se identificó el perfil del estudiante, para a continuación determinar los propósitos y contenidos del programa de la asignatura. Este programa se diseñó basado en un “perfil por competencias” del egresado de acuerdo a las nuevas directrices de la Vicerrectoría Académica de la Universidad y con base en los libros: Concepciones sobre competencias [2] y Estrategias de enseñanza y aprendizaje [3], publicados por el Centro para el Desarrollo de la Docencia en la Universidad Industrial de Santander (CEDEUIS).

3.1 PERFIL DEL ESTUDIANTE MATRICULADO

Para la asignatura se propone el perfil de un estudiante de Ingeniería Mecánica con habilidades, conocimientos y destrezas en matemáticas, interpretación de datos y análisis de resultados, tecnologías de información, comportamiento de los materiales y resistencia de materiales, estadística, probabilidad e investigación, y que desee adquirir conocimientos sobre las nuevas metodologías, filosofías y herramientas sobre mantenimiento enfocadas a la integridad y confiabilidad operacional, bien sea por interés personal, curiosidad o preparación para su vida laboral. En este sentido, el único requisito para poder cursar la asignatura electiva sería haber aprobado la asignatura de octavo semestre “Ingeniería de Mantenimiento”, ya que en este nivel el estudiante ya posee un conocimiento adecuado y cumple con los requerimientos para poder cursar la asignatura.

3.2 PROPOSITOS DE LA ASIGNATURA

Los propósitos de la asignatura, los cuales están descritos en el programa de la asignatura (Ver Anexo A: “Programa de la Asignatura: Integridad y Confiabilidad de Equipos”), se listan a continuación:

- Proporcionar al estudiante las bases conceptuales, procedimentales y actitudinales para abordar el campo de la Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos.
- Presentar los principales conceptos asociados a las fallas de equipos y procesos industriales.
- Explicar los modelos estadísticos más utilizados en la Ingeniería de la Confiabilidad y presentar algunos ejemplos prácticos de cálculo y análisis de estos modelos.
- Presentar de forma detallada los conceptos teóricos y prácticos de los principales indicadores del mantenimiento industrial: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Riesgo.
- Presentar los distintos conceptos, enfoques, y metodologías para evaluar la integridad de equipos y procesos industriales.
- Familiarizar al estudiante con el uso de herramientas computacionales aplicables en la Ingeniería de Mantenimiento.

3.3 CONTENIDO DE LA ASIGNATURA

Para el diseño del programa y el contenido de la asignatura “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos”, se realizó una investigación exhaustiva en varias universidades nacionales e internacionales, consultando el programa de pregrado en Ingeniería Mecánica así como programas de posgrado buscando alguna asignatura cuyo nombre o enfoque fuera similar al deseado. A nivel de especialización dentro de la misma Universidad Industrial de Santander encontramos la especialización en Integridad de Equipos y Ductos de la Escuela de Metalúrgica [4] y la asignatura de Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos impartida en la especialización en Gerencia de Mantenimiento de la Escuela de Ingeniería Mecánica [5]. Así mismo, se revisaron los contenidos de los principales libros y trabajos de investigación orientados hacia la confiabilidad operacional de equipos e integridad de activos, para determinar cuáles deberían ser los temas a tratar para cumplir con los propósitos de la asignatura. Durante el transcurso de la elaboración del programa de la asignatura, su contenido estuvo sujeto a varias modificaciones con el fin de proporcionar un orden lógico y claro en su estructura.

Al finalizar el proceso se realizó una selección de acuerdo a las necesidades del estudiante de pregrado y el entorno industrial para un primer acercamiento al contenido programático de la asignatura, éste fue revisado junto con el resto del programa por el director del trabajo de grado para, a continuación, ser sometido a discusión por los profesores encargados del área de mantenimiento, cuyos aportes y modificaciones ya fueron realizadas. Actualmente el plan de estudios de la asignatura de “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos” se encuentra en evaluación por parte del Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica. Además se fijó como intensidad horaria de la asignatura 4 horas semanales presenciales con 8 horas de trabajo independiente por parte del estudiante para dar lugar a una asignatura con carga académica de 3 créditos y poder así adecuarse a la normativa de la Escuela en cuanto a asignaturas electivas. Debido a esto fue necesario realizar

un cronograma de la asignatura para distribuir de manera aproximada la intensidad horaria de las clases destinadas a cada capítulo, teniendo en cuenta su peso e importancia dentro de la formación de un estudiante de Ingeniería Mecánica.

4. DESARROLLO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA

4.1 CONTENIDO DEL LIBRO GUÍA DE LA ASIGNATURA

Una vez definidos los contenidos de la asignatura se amplió el catálogo bibliográfico y se revisaron todas las referencias útiles para el desarrollo de los temas de cada capítulo del libro guía, proyectos de investigación, nuevas tendencias y filosofías, herramientas y metodologías, que permitieran mejorar y profundizar los temas a tratar en cada uno de ellos. El libro de la asignatura está compuesto por 9 capítulos descritos a continuación:

4.1.1 Capítulo 1. Introducción. En el primer capítulo se introduce al lector sobre la importancia y la responsabilidad del aseguramiento de la integridad y confiabilidad operacional para una operación con probabilidad mínima de falla, alta confiabilidad, disponibilidad y seguridad. Se presenta una serie de eventos catastróficos, que se hubiesen podido evitar con un buen programa de integridad, para motivar al estudiante a asumir con total rigurosidad, profesionalismo y sentido humano, ambiental y social su función como coordinador de integridad y confiabilidad operacional de activos al tomar decisiones que mitiguen la afectación a las personas y al medio ambiente, destrucción de activos físicos y pérdidas de producción. Intensidad horaria: 2 horas.

4.1.2 Capítulo 2. Fallas. Este capítulo busca que el estudiante comprenda los fundamentos sobre las fallas: definición, implicaciones, tipos, metodologías y conceptos importantes para su estudio. Intensidad horaria: 2 horas.

4.1.3 Capítulo 3. Análisis de fallas. En este capítulo se presentan las fuentes principales que pueden causar la falla de un equipo describiendo cada una de ellas con sus ejemplos. Seguidamente, se presenta un proceso de investigación que permite al coordinador de integridad hacer un análisis detallado de la falla, cada

etapa del proceso está comprendida por su actividad y descripción para facilitar la detección de su causa y tomar acciones correctivas con el fin de evitar la recurrencia de la falla. Intensidad horaria: 4 horas.

4.1.4 Capítulo 4. Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad. Una vez el estudiante tiene claro que las fallas de un equipo pueden aparecer durante la etapa de diseño, de puesta en servicio y/o durante su vida útil, este capítulo abarca los conceptos fundamentales y métodos estadísticos enfocados a la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad de los equipos y sistemas, se centra en el cálculo de la efectividad para encontrar cuál componente influye negativamente en la medición del desempeño, y proporciona la fundamentación del esquema de operación del RCM. Intensidad horaria: 10 horas.

4.1.5 Capítulo 5. Mecánica de la fractura. Este capítulo presenta una introducción a la teoría que se conoce con el nombre de mecánica de la fractura elástica lineal, abarcando diferentes fundamentos teóricos que permiten el estudio de la propagación de las grietas, como la teoría de Griffith, la mecánica de fractura de Irwin, la intensidad del factor de tensiones, la velocidad de liberación de Energía mecánica. Cada modelo se presenta con su respectiva descripción y recomendación de uso, con el fin de que cada teoría sea aplicable correctamente de acuerdo a la condición de fractura que se presente. Intensidad horaria: 4 horas.

4.1.6 Capítulo 6. Daño y mecanismos de daño. Este capítulo abarca los principales mecanismos de daño presentes en la industria, como la fractura frágil, fatiga mecánica, erosión, erosión-corrosión, deformación de materiales a alta temperatura y el creep, describiendo cada uno de ellos desde las causas, la propagación, afectación, impacto y métodos que mitiguen y eviten la presencia de un mecanismo de daño en un equipo. Intensidad horaria: 4 horas.

4.1.7 Capítulo 7. Tribología. Este capítulo abarca el estudio de tres fenómenos: la fricción entre dos cuerpos en movimiento, el desgaste como efecto natural de este fenómeno y la lubricación como un medio para evitar el desgaste. Para esto se vale del estudio del sistema tribológico y su importancia en la tribología, del análisis ingenieril de los fenómenos de fricción en las máquinas para determinar si las causas que lo generan son mecánicas, operacionales o de lubricación, se identifican los diferentes tipos de desgaste, las causas que los originan, su medición y prevención, y se estudian las principales propiedades de los lubricantes e identifican los regímenes de lubricación. Intensidad horaria: 4 horas.

4.1.8 Capítulo 8. Análisis de criticidad y RBI. Este capítulo abarca las técnicas y metodologías que permiten identificar los riesgos que ponen en peligro a los equipos de una determinada instalación, identificando los más críticos, utilizando técnicas cualitativas, semi-cuantitativas y cuantitativas que permitan hacer un análisis de criticidad de un determinado equipo, así mismo se presenta la metodología necesaria para realizar una inspección basada en riesgo, con el fin de crear planes de inspección enfocados en mitigar y evitar todos los riesgos que pongan en peligro la operación de un equipo crítico de una instalación. Intensidad horaria: 6 horas.

4.1.9 Capítulo 9. Metodología de evaluación de Integridad. Para finalizar la asignatura, se presentan las metodologías de evaluación de integridad (Ishikawa, AMEF, FTA, Pareto, Método Kepner-Tregoe, Cinco porqués, HAZOP, Método de Maxer) comúnmente encontradas en aplicaciones industriales con el fin de que el estudiante tenga el conocimiento adecuado para tomar decisiones basado en resultados que le permitan evitar la operación errónea de un equipo, mitigar el riesgo en las instalaciones y diagramar las reparaciones y/o acciones de mantenimiento necesarias para garantizar la seguridad y confiabilidad de los equipos. Intensidad horaria: 16 horas.

Actualmente, el libro guía de la asignatura “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos”, cuenta con total aprobación del director del trabajo de grado. Se pretende posteriormente hacer su socialización con varios profesores de la Escuela de Ingeniería Mecánica, afines al área, y el objetivo final será su posterior publicación por parte de la Universidad.

5. DESARROLLO DE LOS TALLERES PRACTICOS

5.1 CONTENIDO DE LOS TALLERES

Teniendo en cuenta la necesidad de realizar una conexión entre la parte teórica, vista en clase, y la práctica, se desarrollaron talleres basados en casos reales presentes en la industria. Para esto se realizó una exhaustiva búsqueda en trabajos de grado, proyectos de investigación realizados por empresas y trabajos realizados por grupos RCA enfocados en 6 temas principales: Pareto, Ishikawa, Árbol de Fallas, Análisis de Fallas, Análisis de Criticidad, y Weibull. Técnicas fundamentales dentro de la metodología de evaluación de integridad y de mayor uso práctico a nivel industrial. Se realizó un proceso de filtración que permitiera seleccionar los mejores datos para ser utilizados como base en la elaboración de los ejemplos y planteamiento de problemas en cada taller.

Durante el transcurso del semestre se aplicarán 6 talleres prácticos, cada uno contará con dos horas de clase asignadas para su desarrollo, con objetivos, marco teórico y sección de problemas propuestos. Su contenido se describe a continuación:

5.1.1 Taller de Análisis de Criticidad. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación o de sus sistemas y componentes, está asociado con cuatro aspectos fundamentales: la confiabilidad humana, la confiabilidad del proceso, la confiabilidad del diseño y la confiabilidad del mantenimiento. Lamentablemente, difícilmente se disponen de recursos ilimitados para poder mejorar al mismo tiempo estos cuatro aspectos en todas las áreas de una empresa. Entonces, ¿Cómo establecer que una planta, proceso, sistema o equipo es más crítico que otro?, ¿Qué criterio se debe utilizar?, ¿Todos los que toman decisiones, utilizan el mismo criterio? Este taller se centra en responder estos interrogantes, aplicando las metodologías de análisis de criticidad (cualitativa y

semi-cuantitativa) el estudiante debe desarrollar con su grupo de trabajo una lista ponderada desde el elemento más crítico hasta el menos crítico del total del universo analizado según sea el caso, realizar su respectiva jerarquización a partir del modelo de criticidad total por riesgo basado en los factores ponderados de seguridad, ambiente, producción, costos de operación y mantenimiento, rata de fallas y tiempo de reparación principalmente. De esta forma se busca que el estudiante adquiera habilidades en el uso de herramientas para el análisis de criticidad e interprete sus resultados para establecer prioridades, mitigar el riesgo del proceso y focalizar el esfuerzo que garantice el éxito del mismo maximizando la rentabilidad de la compañía.

5.1.2 Taller de Análisis de Pareto. El diagrama de Pareto es una herramienta avanzada de mantenimiento que permite identificar y jerarquizar datos, con el fin de realizar un análisis de los elementos que componen el sistema. Mediante una representación gráfica se puede identificar aquellos factores que tienen mayor relevancia, mayor ponderación o frecuencia, los cuales según el análisis de Pareto representan los “pocos vitales”, aquellos factores que son pocos pero que son graves. Debido, entonces, este taller está enfocado en casos reales de plantas industriales donde los grupos de RCA destinan sus esfuerzos y recursos para encontrar los “pocos vitales” de un equipo, para así aumentar la confiabilidad y disminuir la probabilidad de falla generada por la aparición de cualquier factor que conforma los “pocos vitales”. El taller muestra como ejemplo y guía de desarrollo para los estudiantes las fallas de un compresor de una central termoeléctrica, realizando el procedimiento por medio de Excel contribuyendo a que los estudiantes mejoren sus habilidades informáticas para el desarrollo y solución de diferentes problemas asociados al mantenimiento. Al finalizar el ejemplo el estudiante podrá aplicar el procedimiento mediante la realización de 5 problemas propuestos, buscando que el estudiante conozca diferentes casos y realice paso a paso la construcción del diagrama de Pareto para que identifique los pocos vitales y saque las conclusiones correspondientes al caso.

5.1.3 Taller de Análisis de Weibull. La distribución de Weibull es la distribución continua y triparamétrica más empleada en el campo de la confiabilidad, pero a pesar de su popularidad la mayoría de artículos y literatura técnica se remiten a una distribución biparamétrica con ejemplos que presentan como datos conocidos los dos parámetros, cobrando importancia las siguientes preguntas: ¿Cómo se calculan los parámetros? y ¿Por qué se omite el cálculo del tercer parámetro? El tercer parámetro es el parámetro de localización, es decir, el parámetro que localiza la abscisa a partir de la cual se inicia la distribución. Este taller se centra en responder a las dos preguntas anteriores, presentando una de las cinco metodologías analíticas existentes para el cálculo de los parámetros (método de los Mínimos Cuadrados) y algunos criterios para determinar si es necesario tener en cuenta el tercer parámetro. También se presentan dos ecuaciones para calcular el estimador Rango de mediana, aproximada y exacta, siendo la primera la que generalmente se usa en la literatura técnica. Preocupándonos por brindar al estudiante una fundamentación sólida es la segunda la que se emplea, para ello, y debido a su complejidad, se presenta el código fuente — en el lenguaje VBA (Visual Basic para Aplicaciones) — para crear una función definida por el usuario en Excel. Igualmente se usan las funciones “pendiente” e “intersección.eje”, de Excel, para calcular la pendiente y el intercepto de la línea de regresión. De esta forma se busca que el estudiante adquiera habilidades en el uso de herramientas informáticas para el análisis de datos de fallas en mantenimiento, comprenda la metodología de cálculo de los parámetros Weibull e interprete sus resultados para una toma de decisiones rápida y confiable.

5.1.4 Taller de Árbol de fallas. El Árbol de fallas es una herramienta de confiabilidad operacional que permite representar gráficamente las relaciones de causa y efecto que conduce a descubrir un evento indeseable e identificar cuál fue la causa raíz del problema. A nivel industrial el árbol lógico es utilizado por el grupo RCA, el cual por medio de una serie de pasos necesariamente ordenados realiza una toma de decisiones que deben ser verificadas por hechos sustentables para así

garantizar que al final del diagrama se va encontrar la respuesta correcta que da origen a la falla o problema. Debido, entonces, el taller muestra como ejemplo un árbol de fallas realizado por un grupo RCA, donde se realiza paso a paso, identificando el mal actor, modos de falla, hipótesis, verificación de hipótesis, causas físicas, causas humanas y causas latentes de las fallas que presenta un sistema compuesto por unos ventiladores, creando una conexión entre los casos reales que llamen la atención e investigación de los estudiantes y generando una atención importante sobre como los grupos de RCA plantean hipótesis que pueden ser erróneas pero que al final son las correctas. Al finalizar el ejemplo el estudiante puede aplicar el procedimiento aprendido en la realización de 5 problemas, donde va a tomar decisiones y realizar la correspondiente verificación con el fin de llegar a la respuesta correcta.

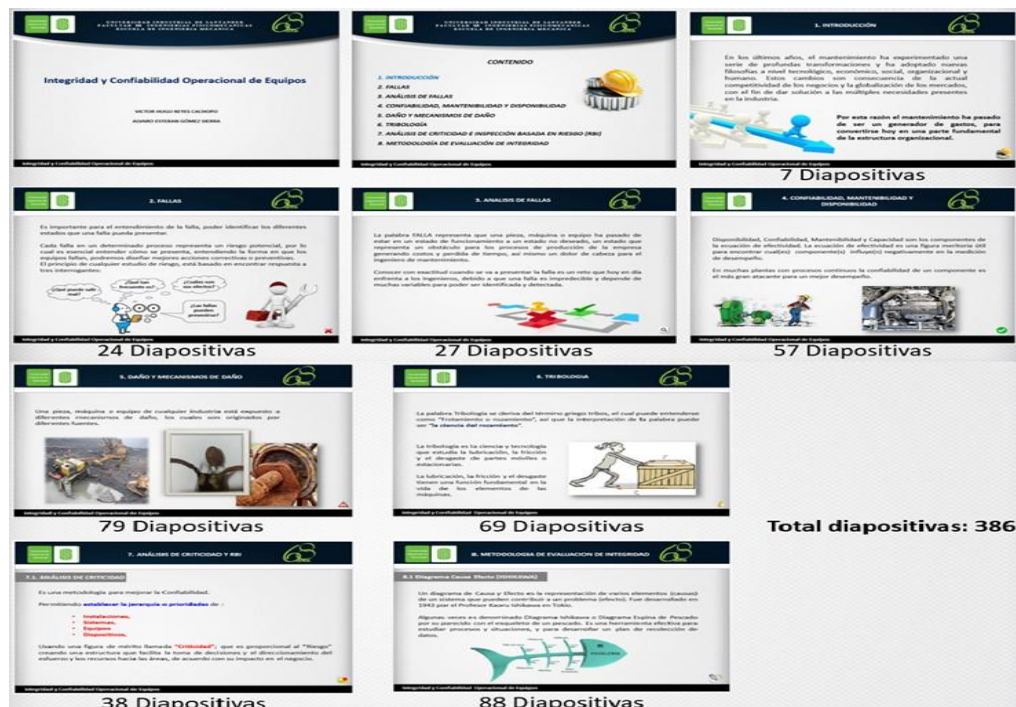
5.1.5 Taller de Análisis de Fallas. La falla de un equipo puede traer graves consecuencias económicas, y en ocasiones la pérdida de vidas humanas, de allí que su análisis sea un complejo “sistema forense” que revela las causas del problema para lograr producciones o componentes más eficientes, reducir costos de mantenimiento y los casos de lucro cesante, apoyar el cumplimiento de las metas de producción, aminorar las probabilidades de pérdidas tanto financieras como humanas e incrementar la disponibilidad del sistema o equipo. Este taller se convierte en el éxito del sistema forense, se centra en la identificación de las causas que originan las fallas a través de la implementación del procedimiento detallado del análisis de fallas y el desarrollo de soluciones que permitan mejorar la confiabilidad del producto o proceso. De esta forma se busca que el estudiante adquiera habilidades para la identificación de las causas que originan las fallas, comprenda la metodología del análisis de fallas e interprete sus resultados para la implementación óptima del plan de acción neutralizador, desarrollando sus capacidades para la implementación adecuada de un análisis de falla debidamente estructurado.

5.1.6 Taller de Diagrama causa y efecto Ishikawa. Un diagrama de causa y efecto es la representación de varios elementos (causas) de un sistema que puede contribuir a un problema. El diagrama permite que los grupos encargados de encontrar las causas de la falla puedan organizar grandes cantidades de información y luego verificarlas con el fin de determinar exactamente las causas que generan el problema. El diagrama aumenta la probabilidad de identificar las causas principales y es empleado a nivel industrial con el fin de aumentar la confiabilidad operacional de los equipos al mitigar las causas y evitar que recurran en el futuro. De manera que el taller muestra los pasos necesarios para la construcción del diagrama, los cuales están conformados por la selección del problema, el dibujo del diagrama, lluvias de ideas, verificación de las hipótesis y demás que permitan llegar a identificar las causas principales, además, se presenta como ejemplo un diagrama de Ishikawa realizado por un grupo RCA de las fallas de una bomba centrífuga de una planta de tratamiento de agua. Al finalizar el ejemplo el estudiante conocerá el procedimiento que realizó el grupo RCA, entenderá los pasos dados teóricamente y podrá aplicar los conocimientos aprendidos en la realización de 5 problemas propuestos.

6. DESARROLLO DEL MATERIAL DE APOYO DIDACTICO DEL DOCENTE

A partir del contenido de la asignatura y el libro guía desarrollado, junto con toda la bibliografía recolectada, se diseñaron en PowerPoint un total de 386 diapositivas con un diseño llamativo para captar la atención de los estudiantes. Teniendo en cuenta la numeración de los capítulos del libro guía se desarrollaron las diapositivas siguiendo el mismo orden y lineamiento (los capítulos Mecanismos de daño y Mecánica de la fractura, se consolidaron en uno para dar continuidad) adicionando únicamente información clave y concisa que sirva de apoyo al docente para cada clase. El material contiene gráficos y mímicos que permiten generar una conexión entre la información suministrada textualmente y la imaginación de los estudiantes, mejorando su comprensión hacia los temas desarrollados por el docente. Los estudiantes podrán tener acceso a este material ya que va a estar disponible en la plataforma basada en TIC, una vez sea aprobada la asignatura por las directivas.

Figura 2. Material de apoyo didáctico del docente



Fuente: Autores.

7. CONCLUSIONES

- Se elaboró el programa basado en competencias de la asignatura electiva “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos” conformado por 9 capítulos principales teóricos. Una vez incluida dentro del pensum será ofertado a los estudiantes de pregrado de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander, con una carga académica de 3 créditos e intensidad horaria presencial de 4 horas semanales. El requisito para su matriculación será haber aprobado la asignatura de octavo semestre “Ingeniería de Mantenimiento”.
- Se elaboró el libro guía de la asignatura conformado por nueve capítulos teóricos, el cual servirá de apoyo para los estudiantes y el docente, podrá ser consultado por cualquier estudiante de Ingeniería Mecánica y afines que deseen adquirir o reforzar sus conocimientos en los temas que comprenden la Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos.
- Se elaboraron 6 talleres basados en casos prácticos reales, haciendo que los estudiantes adquieran conocimientos sobre los problemas que pueden acontecer en el área de mantenimiento a nivel industrial, sirviéndole de soporte al docente encargado de aplicar y reforzar los conceptos tratados durante el desarrollo de la asignatura.
- La elaboración de la asignatura “Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos” sirve como base para la elaboración de futuras asignaturas electivas que estén enfocadas en profundizar y mejorar el conocimiento de los estudiantes de Ingeniería Mecánica, buscando mantener en alto los estándares de la Escuela y la competitividad de sus egresados en cuanto a las nuevas tendencias, filosofías, metodologías, técnicas y herramientas.

8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al profesor encargado de impartir la asignatura ampliar y profundizar en Mecánica de la Fractura. Es un tema que hasta el momento no se abarca dentro de las asignaturas del plan de estudios y es importante su profundización para la formación del Ingeniero Mecánico UIS.

CITAS

- [1]. BALLESTEROS SANTANA, Gladys Tatiana y CARRILLO GARCIA, Ángela Paola. Estudio de seguimiento a egresados de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial. 2015, 274 p.
- [2]. CORREDOR M, Martha; PÉREZ A, Martha y ARBELÁEZ L, Ruby. Concepciones sobre competencias. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132p.
- [3]. CORREDOR M, Martha; PÉREZ A, Martha y ARBELÁEZ L, Ruby. Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132p.
- [4]. ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS. Plan de estudios. [En línea]. [Consultado 2015-10-27]. Disponible en internet: <<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/programasAcademicos/especializacionGerenciaMantenimiento/planEstudios.html>>.
- [5]. ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA. Plan de estudios. [En línea]. 2015. [Consultado 2015-10-30]. Disponible en internet: <<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoQuimicas/escuela>>.

s/ingenieriaMetalurgica/programaAcademicos/espIntegridadEquipos/planEstudios.html>.

BIBLIOGRAFÍA

ALVAREZ, Ricardo; OLIVERI, Eugenio Sebastián; RUBERTIS, Esteban; SCUDELLER FERNÁNDEZ, Federico y URROZ RODRIGUEZ, Federico. Sistema de gestión de integridad sobre 350 equipos compresores. [En línea]. 2014. [Consultado 2015-11-03], p. 46 - 58. Disponible en internet: <<http://www.petrotecnica.com.ar/agosto2014/xSeparadosinPublicidad/SistGestion.pdf>>.

BALLESTEROS SANTANA, Gladys Tatiana y CARRILLO GARCIA, Ángela Paola. Estudio de seguimiento a egresados de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial. 2015, 274 p.

BECERRA SIERRA, Pedro Alejandro Felipe y FLOREZ VILLABONA, Yesica Fernanda. Elaboración de la asignatura electiva “Diseño de equipos de Intercambio de calor” para el Programa de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico químicas. Escuela de Ingeniería Química. 2015, 43 p.

CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD DE EQUIPOS INDUSTRIALES. [En línea]. 2013. [Consultado 2015-11-04]. Disponible en internet: <<https://www.sites.google.com/site/congresoend/>>.

CORREDOR M, Martha; PÉREZ A, Martha y ARBELÁEZ L, Ruby. Concepciones sobre competencias. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132p.

CORREDOR M, Martha; PÉREZ A, Martha y ARBELÁEZ L, Ruby. Estrategias de enseñanza y aprendizaje. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, Centro para el desarrollo de la docencia en la Universidad Industrial de Santander, CEDEUIS; 2009. 132p.

CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Acuerdo No. 225 de 2010 por el cual se establecen los lineamientos para la creación, modificación, reforma y extensión de los programas académicos [En línea]. 2010. [Consultado 2015-10-27], p. 51 - 53. Disponible en internet: <http://www.ead.uis.edu.co/acreditacion/documentos_tec/Acuerdo%20225%20de%202010C.A%20Establecen%20lineamientos%20para%20la%20creaci%C3%B3n%20y%20extensi%C3%B3n%20de%20los%20programas%20acad%C3%A9micos.pdf>.

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UIS. Plan de estudios. [En línea]. [Consultado 2015-10-27]. Disponible en internet: <<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoMecanicas/escuelas/ingenieriaMecanica/programasAcademicos/especializacionGerenciaMantenimiento/planEstudios.html>>.

ESPECIALIZACIÓN EN INTEGRIDAD DE EQUIPOS Y DUCTOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA. Plan de estudios. [En línea]. 2015. [Consultado 2015-10-30]. Disponible en internet: <<http://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/fisicoQuimicas/escuelas/ingenieriaMetalurgica/programaAcademicos/esIntegridadEquipos/planEstudios.html>>.

ANEXOS

Anexo A. PROGRAMA DE LA ASIGNATURA: INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS



FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INFORMACIÓN GENERAL

ASIGNATURA:	INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS
CÓDIGO:	XXXXX
SEMESTRE:	X SEMESTRE 20XX
NÚMERO DE CRÉDITOS:	3
INTENSIDAD HORARIA:	TAD: 4 HORAS TI: 8 HORAS
REQUISITOS:	INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

JUSTIFICACIÓN

La Integridad y la Confiabilidad Operacional de Equipos es una estrategia sistemática para el área de mantenimiento en las industrias, la cual incorpora herramientas avanzadas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas estrategias de mantenimiento, permitiendo asegurar que el equipo está bien diseñado, instalado de acuerdo con las especificaciones, y adecuadamente mantenido, siendo apto para su uso hasta el retiro o fin de la vida útil.

La Integridad y Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad total de la organización (procesos, tecnología y talento), para cumplir su función o el propósito

que se espera de ella, dentro de los límites de diseño y bajo un contexto operacional específico, al tiempo que debe proteger la salud, la seguridad y el medio ambiente.

Es deseable que los ingenieros posean conocimientos en el campo de la integridad y la confiabilidad industrial para que puedan integrarse a un campo de trabajo que está en constante crecimiento y cada vez es más exigente y restrictivo, para lo cual se requiere personal con un alto grado de conocimiento en las técnicas, tecnologías, estrategias y métodos según las nuevas tendencias de la Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento.

PROPÓSITOS

- Proporcionar al estudiante las bases conceptuales, procedimentales y actitudinales para abordar el campo de la Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos.
- Presentar los principales conceptos asociados a las fallas de equipos y procesos industriales.
- Explicar los modelos estadísticos más utilizados en la Ingeniería de la Confiabilidad y presentar algunos ejemplos prácticos de cálculo y análisis de estos modelos.
- Presentar de forma detallada los conceptos teóricos y prácticos de los principales indicadores del mantenimiento industrial: Confiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad y Riesgo.
- Presentar los distintos conceptos, enfoques, y metodologías para evaluar la integridad de equipos y procesos industriales.
- Familiarizar al estudiante con el uso de herramientas computacionales aplicables en la Ingeniería de Mantenimiento.

COMPETENCIAS

COMPETENCIAS COGNITIVAS

Al final del curso el estudiante:

- ✓ Conoce los criterios técnicos y humanos causantes de fallas en equipos y procesos industriales.
- ✓ Identifica los modelos estadísticos de mayor empleabilidad en la Ingeniería de Confiabilidad Industrial.
- ✓ Conoce y describe los parámetros fundamentales para la medición de los indicadores de mantenimiento.
- ✓ Define la teoría básica del Análisis Costo Riesgo Beneficio.
- ✓ Entiende el proceso de selección de frecuencias óptimas de mantenimiento e inspección a partir del uso de distintas herramientas y métodos de análisis de fallas e integridad.
- ✓ Utiliza herramientas informáticas para la solución de problemas asociados a la integridad y confiabilidad operacional.

COMPETENCIAS DEL INGENIERO MECÁNICO

- ✓ Usa representaciones geométricas y gráficas, físicas y modelos virtuales en las diferentes etapas del proceso de diseño.
- ✓ Utiliza información de diferentes fuentes.
- ✓ Considera los aspectos económicos, sociales, medioambientales en los problemas.
- ✓ Define y formula problemas.
- ✓ Genera y evalúa alternativas de solución.
- ✓ Usa un enfoque sistemático para la resolución de problemas.

- ✓ Formula, ejecuta y evalúa proyectos de investigación e innovación de relevancia para el propio avance científico de su área de conocimiento.
- ✓ Identifica problemas, reconoce información relevante, toma las decisiones adecuadas, coordina los recursos disponibles y se provee de aquellos que no tiene; entendiendo las secuencias temporales y las relaciones causa efecto de las decisiones adoptadas.
- ✓ Determina las metas de su tarea/ área/ proyecto estipulando la acción, los plazos, y los recursos requeridos; incluyendo la implementación de mecanismos de seguimiento de la información.
- ✓ Actúa con sentido de oportunidad para modificar o promover cambios en los procesos y/o en las tareas con el propósito de mejorar su calidad, seguridad y eficiencia.
- ✓ Integra equipos de trabajo que buscan metas comunes.
- ✓ Caracteriza el mundo físico a través de modelos matemáticos.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN

2. FALLAS

- 2.1 Definición de fallas y su relevancia
- 2.2 Comportamiento funcional de los equipos
 - 2.2.1 Tres tipos principales de funciones de los equipos
 - 2.2.2 Fallas funcionales u operativas
- 2.3 Fallas exógenas e inherentes al sistema
- 2.4 Clasificación de las fallas
- 2.5 Importancia de las fallas en el mantenimiento

3. ANÁLISIS DE FALLAS

- 3.1 Fuentes principales de fallas

3.2 Procesos de investigación de las fallas

3.3 Etapas del análisis de fallas

4. CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y DISPONIBILIDAD

4.1 Distribuciones de probabilidad

4.2 Confiabilidad – Reliability

4.3 Disponibilidad – Availability

4.4 Mantenibilidad – Maintainability

4.5 Relación entre Disponibilidad, Confiabilidad y Mantenibilidad

4.6 Resumen indicadores de mantenimiento

4.7 RCM, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

5. MECÁNICA DE LA FRACTURA

5.1 Teoría de Griffith

5.1.1 Resistencia a fractura en grieta elíptica bajo tensión uniforme

5.1.2 El experimento de Obreimoff

5.1.3 Limitaciones del análisis de Griffith

5.2 Propagación de fisuras. Mecánica de fractura de Irwin

5.2.1 Factor de Intensidad de Tensiones

5.2.2 Velocidad de Liberación de Energía Mecánica

5.2.3 Equivalencia entre G y K

5.2.4 Superposición de G y K

5.2.5 Generalización de la Teoría de Griffith

5.2.6 G y K para sistemas específicos

6. DAÑO Y MECANISMOS DE DAÑO

6.1 Fractura frágil

6.1.1 Cómo prevenir una fractura frágil

6.2 Fatiga Mecánica

6.2.1 Fatiga controlada por tensión

- 6.2.2 Fatiga térmica controlada por deformación
- 6.2.3 Desencadenamiento a la fatiga
- 6.2.4 Equipo afectado por fatiga
- 6.3 Erosión, corrosión
- 6.3.1 Desencadenamiento
- 6.3.2 Equipos afectados
- 6.4 Deformación de materiales a alta temperatura
- 6.5 Ensayos de Creep
- 6.5.1 Creep

7. TRIBOLOGÍA

- 7.1 Generalidades de la Tribología
- 7.2 Fricción
- 7.2.1 Estados de fuerzas de fricción
- 7.2.2 Generación de calor
- 7.3 Desgaste
- 7.4 Lubricación
- 7.4.1 Características de los lubricantes
- 7.4.2 Tipos de lubricación
- 7.4.3 El proceso Moderno de Lubricación

8. ANÁLISIS DE CRITICIDAD Y RBI

- 8.1 Análisis de criticidad
- 8.1.1 Definición del riesgo
- 8.1.2 Técnicas de análisis de riesgo
- 8.2 Conceptualización RBI
- 8.3 Por qué se necesita RBI
- 8.4 Alcance del RBI
- 8.5 Medición del riesgo
- 8.6 Niveles del RBI

8.7 Metodología RBI

8.8 Ejemplo de aplicación de la metodología RBI

9. METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE INTEGRIDAD

9.1 Diagrama Causa Efecto Ishikawa

9.1.1 Metodología de elaboración

9.2 Análisis de modo y efecto de la falla AMEF

9.2.1 Etapas del AMEF

9.2.2 Formato y elementos del AMEF

9.3 Árbol Lógico de Fallas FTA – Fault Tree Analysis

9.3.1 Metodología de implementación

9.3.2 Alcances del árbol de fallas

9.4 Diagrama de Pareto

9.4.1 Metodología de implementación

9.5 Método KEPNER – TREGOE. Matriz del perfil competitivo

9.5.1 Metodología de implementación

9.6 Cinco porqués para resolver problemas

9.6.1 Cómo utilizar los cinco porqués

9.7 Hazard and Operability HAZOP

9.7.1 Metodología de implementación

9.8 Método de Maxer

ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE

El docente impartirá el curso a través de lecciones magistrales acompañadas de sesiones de trabajos prácticos para consolidar los conceptos teóricos desarrollados. Las estrategias didácticas y actividades asociadas a ellas, que orientan el curso son:

✓ Expositiva:

- Lectura de textos

- Reportes orales y escritos
- Lectura y análisis de gráficas
- ✓ Asociativa:
 - Trabajo en equipo
- ✓ Deliberativa:
 - Debates y discusión en clase de casos de estudio
 - Análisis de alternativas de solución
- ✓ Interrogativa:
 - Exploración con preguntas sobre el manejo de un tema
- ✓ Investigativa:
 - Solución de situaciones problemáticas contextualizadas
 - Demostraciones orientadas a resolver problemas
- ✓ Tecnológica:
 - Uso de herramientas informáticas para la solución de problemas
 - Trabajos en equipo mediante el uso de herramientas y plataformas colaborativas

SISTEMAS DE EVALUACIÓN

Indicadores de logros

El estudiante:

- ✓ Calcula los índices de mantenimiento aplicados en casos prácticos.
- ✓ Describe los tipos de fallas y las distintas formas de clasificarlas.
- ✓ Emplea modelos estadísticos para predecir y analizar sistemas y equipos en mantenimiento.

- ✓ Calcula e interpreta los principales indicadores de mantenimiento: confiabilidad, mantenibilidad, disponibilidad y riesgo.
- ✓ Aplica metodologías de análisis de fallas de equipos y procesos para sustentar y proponer planes de mejora en los sistemas de mantenimiento orientadas a mitigar las consecuencias de las fallas.
- ✓ Formula planes de mantenimiento soportados en metodologías de evaluación de integridad para casos prácticos reales.
- ✓ Resuelve problemas de la Ingeniería de Mantenimiento haciendo uso de herramientas informáticas.

Estrategias de evaluación

- ✓ Participación en clase mediante comunicación oral y escrita
- ✓ Análisis y resolución de problemas
- ✓ Trabajo en grupo
- ✓ Uso de herramientas computacionales en la solución de problemas
- ✓ Casos de estudio prácticos y elaboración de informes técnicos

Equivalencia cuantitativa

1ª Evaluación: Previo Temas X-X	Valor: XX% Fecha 1
2ª Evaluación: Previo Temas X-X	Valor: XX% Fecha 2
3ª Evaluación: Previo Temas X-X	Valor: XX% Fecha 3
4ª Evaluación: Talleres	Valor: XX%

BIBLIOGRAFIA

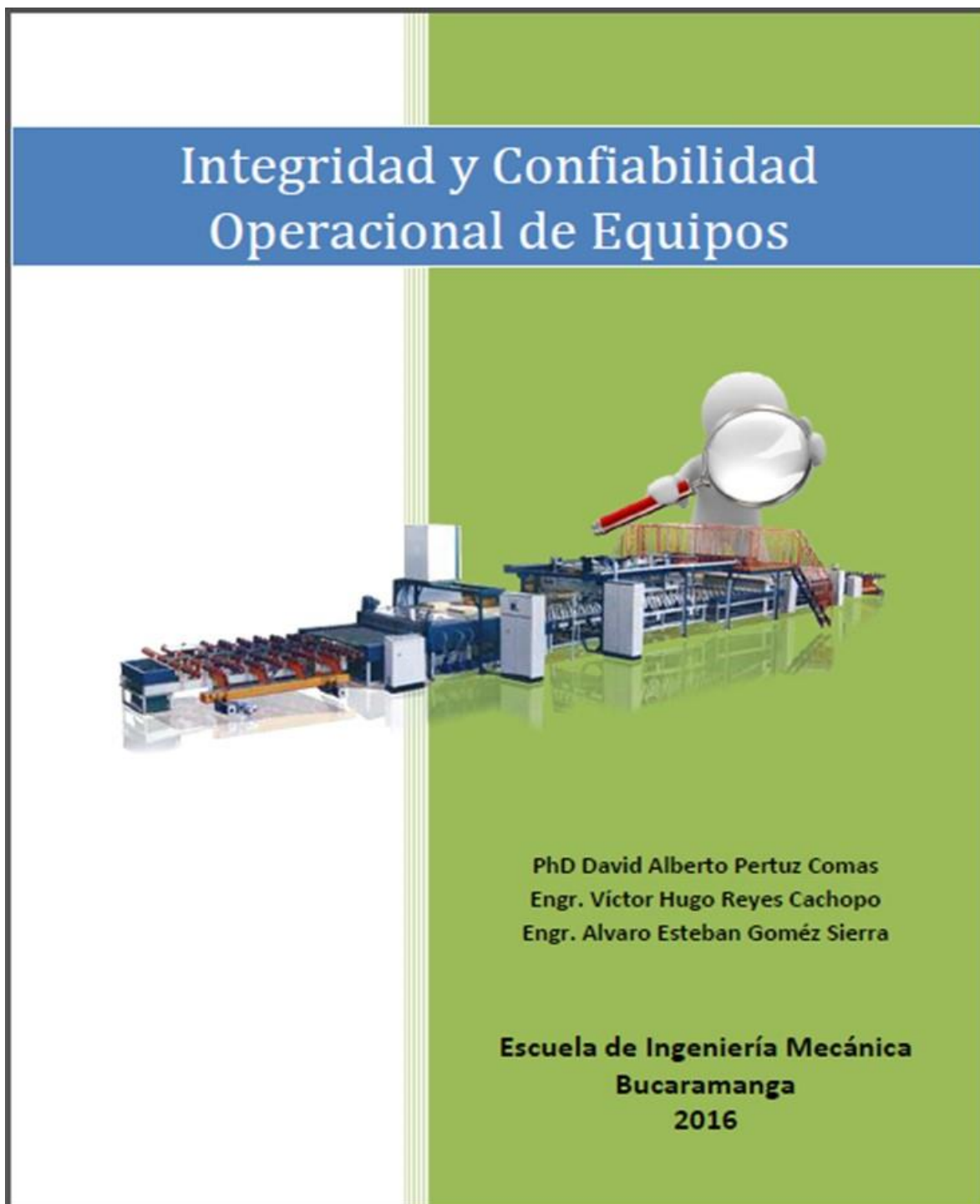
-  Integridad y Confiabilidad Operacional de Equipos. Libro guía de la asignatura.
-  DÍAZ MATALOBOS, Ángel. Confiabilidad en mantenimiento. Caracas: Ediciones IESA - 1992.
-  DOUNCE, Enrique. La productividad en el mantenimiento industrial. Mexico: CECSA. 1998.

- 📖 EBELING, Charles E. An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering. New York: McGraw-Hill. 1997.
- 📖 Morrow. "Maintenance Engineering Handbook". Mc. Graw Hill Book Company Inc. 1957.
- 📖 IBRAHIM, Joseph G. - Chen, Ming-Hui - Shina, Debajyoti - Bayesian Survival Analysis, USA: Springer. 2005.
- 📖 MOUBRAG, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. Aladon Ilc. 2004. 433 p.
- 📖 PINTELON, L.M. Gelders, L.F. Maintenance decision making. Bélgica. 1981.
- 📖 HERNÁNDEZ, Héctor & ESPEJO, Edgar. Mecánica de fractura y análisis de falla. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Colombia: Martha, 2002.
- 📖 REY SACRISTÁN, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial Tecnologías de gerencia y producción SA TGP Hoshin SL. Madrid, España. 1996.
- 📖 SOURÍS, Jean Paul. El mantenimiento: fuente de beneficios. Traducido por Diorki, S.A. Madrid de la obra original la maintenance, source de profits.
- 📖 M. Raussand & A. Hoyland, 2004. System Reliability Theory: Models, Statistical Methods and Applications, Wiley-Interscience.
- 📖 GONZÁLEZ, Jorge. Mecánica de Fractura. 2a ed. Mexico: Limusa, 2004. 188 p.

Webgrafía

- 📖 www.clubdemantenimiento.com.ar
- 📖 www.mantenimientomundial.com
- 📖 www.solomantenimiento.com
- 📖 www.confiabilidad.net

Anexo B. LIBRO GUÍA: INTEGRIDAD Y CONFIABILIDAD OPERACIONAL DE EQUIPOS



Anexo C. APOYO DIDACTICO DEL DOCENTE: 386 DIAPOSITIVAS

