

UNIVERSIDAD ANTONIO RUIZ DE MONTOYA

Facultad de Ingeniería y Gestión



MEJORA DE LA CONFIABILIDAD DEL SISTEMA DE BOMBAS, EN LA UNIDAD DE DESTILACIÓN PRIMARIA, MEDIANTE LA APLICACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC), EN UNA EMPRESA DE REFINACIÓN DE HIDROCARBUROS

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

Presentan los bachilleres

FREDY CORZO RUIZ
CHRISTIAN ANIBAL CHICANA DIAZ

Presidente: Luis Alberto Sampen Alquizar

Asesor: Maria Elizabeth Laban Salguero

Lector: Javier Edilberto Mosqueira Loayza

Lima – Perú

Mayo 2024



UARM
Universidad
Antonio Ruíz
de Montoya

Anexo N.º 3 - Reglamento General de Grados y Títulos de Pregrado y Posgrado
Aprobado por Resolución Rectoral N° 150-2023-UARM-R

INFORME DE ORIGINALIDAD

Sres.
CONSEJEROS
Pte.

De nuestra consideración:

Por la presente nos dirigimos a Ustedes para saludarlos e informar al Consejo Universitario sobre el producto académico elaborado por CHICANA DIAZ Christian Anibal y CORZO RUIZ Fredy, quienes solicitan la obtención de su título profesional a través de la sustentación de una tesis.

El producto académico elaborado tiene como título "Mejora de la confiabilidad del sistema de bombas en la unidad de destilación primaria, mediante la aplicación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) en una empresa de refinación de hidrocarburos".

Por tanto, en nuestra condición de Asesora de producto académico y de integrante de la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Gestión respectivamente, declaramos que el producto académico de CHICANA DIAZ Christian Anibal y CORZO RUIZ Fredy, ha sido examinado con el programa antiplagio *Turnitin* para identificar su nivel de coincidencias.

El resultado que arroja el programa es de 18% de similitud, el cual proviene de fuentes de información que han sido debidamente citadas o reconocidas utilizando las normas del sistema APA.

Sin otro particular, quedo de ustedes.

Firmado en Lima, el 15 del mes de mayo del 2024

Atentamente,

Maria Elizabeth Laban Salguero
Asesora



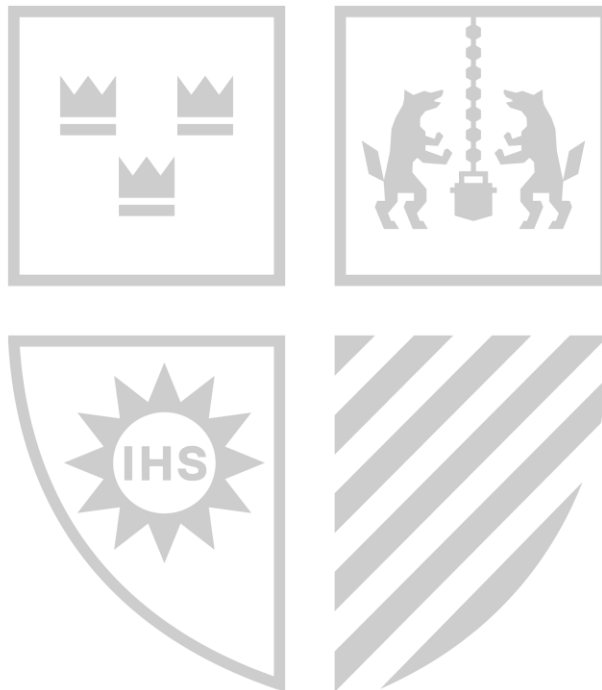
Bernardo Leonardo Meza Guzmán
Presidente
Comisión de Grados y Títulos
Facultad de Ingeniería y Gestión

*Conforme a lo establecido en el documento de identidad

EPÍGRAFE

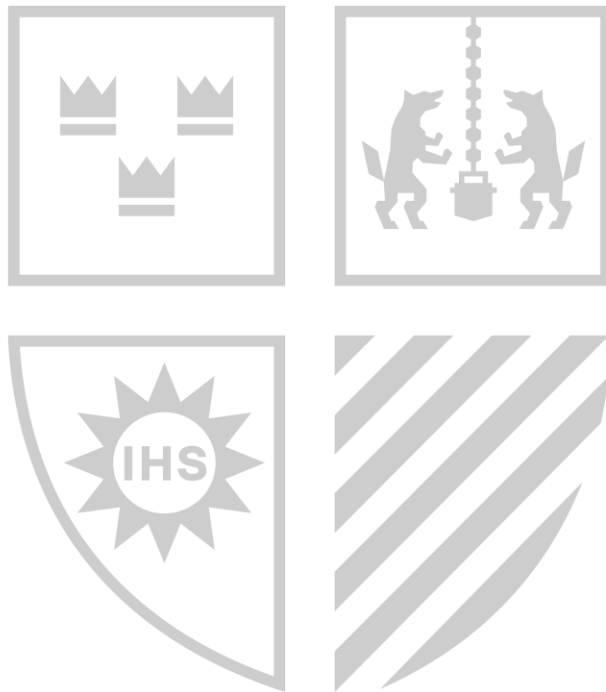
“Mantenimiento Centrado en Confiabilidad: un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”

John Moubray



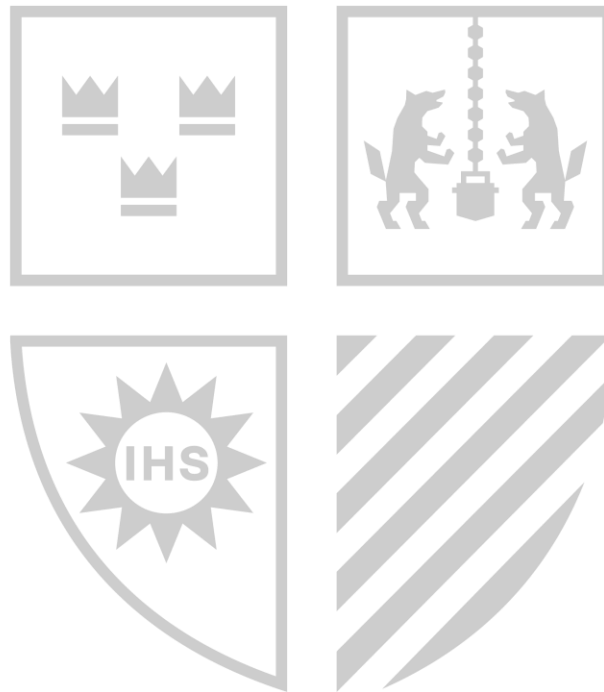
DEDICATORIA

A nuestras familias, que en todo momento han sido nuestro aliento inacabable para la terminación de este trabajo.



AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios, a nuestros docentes y en especial a nuestra Asesora por su disposición y oportuna orientación.



RESUMEN

El mantenimiento en una empresa de Refinación de hidrocarburos juega un papel de elevada relevancia ya que en la actualidad el hecho de aplicar estrategias de mantenimiento basadas en la prevención no garantizan una adecuada confiabilidad de los activos que son parte de las líneas de producción, por esta razón nace la necesidad de implementar estrategias de mantenimiento centradas en la confiabilidad que nos permitan garantizar y optimizar los costos para que un equipo se encuentre en condiciones operativas aceptables dentro de su contexto operacional, frente a esta necesidad se presenta el presente trabajo como una alternativa de solución.

El presente trabajo desarrolla las herramientas necesarias para la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad en el sistema de bombas de la Unidad de destilación primaria en una empresa de hidrocarburos.

La correspondiente implementación ha requerido la recopilación de datos operacionales, técnicos y el análisis de datos históricos de fallas para establecer la condición actual de los equipos. Posteriormente, se realizó la jerarquización de los equipos críticos y su correspondiente análisis de los probables modos de falla que presenten, como resultado se definieron las estrategias de mantenimiento necesarias y los planes de mantenimiento y se elaboraron los procedimientos de intervención, dando como resultado la optimización de los recursos materiales y humanos de la empresa.

Palabras clave: Disponibilidad; Mantenibilidad Confiabilidad; AMEF; MTTR; MTBF.

ABSTRACT

Maintenance in a hydrocarbon refining company plays a highly relevant role since currently the fact of applying maintenance strategies based on prevention does not guarantee adequate reliability of the assets that are part of the production lines, for this reason This is why the need to implement maintenance strategies focused on reliability arises that allow us to guarantee and optimize costs so that a piece of equipment is in acceptable operating conditions within its operational context, faced with this need, the present work is presented as an alternative of solution.

The present work develops the necessary tools for the implementation of maintenance focused on reliability in the pump system of the Primary Distillation Unit in a hydrocarbon company.

The corresponding implementation has required the collection of operational and technical data and the analysis of historical failure data to establish the current condition of the equipment. Subsequently, the hierarchization of the critical equipment and its corresponding analysis of the probable failure modes that they present were carried out, as a result, the necessary maintenance strategies and maintenance plans were defined and the intervention procedures were elaborated, resulting in the optimization of the material and human resources of the company.

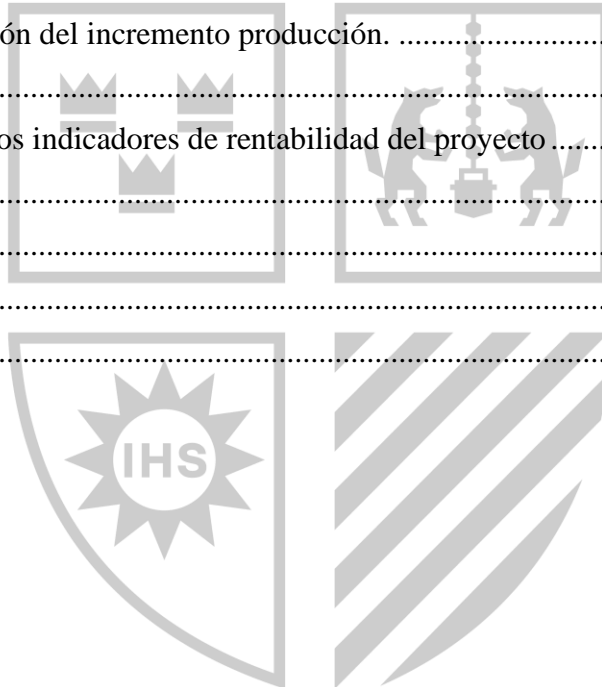
Keywords: Availability; maintainability reliability; FMEA; MTTR; MTBF

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	15
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	17
1.1. Determinación del problema de la investigación	19
1.2. Pregunta de investigación.....	21
1.3. Problema principal.....	21
1.3.1. Problemas específicos:	21
1.4. Justificación de la investigación.....	22
1.5. Objetivo general de la investigación	23
1.5.1. Objetivos específicos de la investigación.....	24
1.6. Limitaciones de la investigación	24
1.7. Viabilidad del estudio.....	24
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	25
2.1 Antecedentes Internacionales	25
2.2. Antecedentes Nacionales.....	26
2.3. Marco teórico.....	29
2.3.1. Rol desde el mantenimiento: organización y metas	30
2.3.2. Indicadores de rendimiento: parámetros RAM	40
2.3.3 Mantenimiento Centrado en la confiabilidad (MCC).....	58
2.3.4. Equipo de bombeo (Motor eléctrico y reductor) de la DP1.	75
2.3.5. Unidad de destilación primaria.....	76
2.4. Glosario de términos.....	78
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	84
3.1. Tipo de Investigación	84
3.2. Diseño de la Investigación.....	84
3.3. Nivel de la Investigación:	84
3.4. Variables de estudio	84
3.5. Población y muestra	85
3.5.1. Descripción de la población	85
3.5.2. Selección de la muestra	85

3.5.3. Unidad de investigación	87
3.5.4. Técnicas de recolección de datos	87
3.5.5. Matriz de consistencia	88
3.6. Desarrollo de la experiencia	89
3.6.1. Descripción de la situación actual	89
3.6.2. La Unidad de Destilación Primaria (DP1).....	93
3.6.3. Componentes del sistema de la DP1	94
3.6.4. Evaluación de los sistemas que componen la DP1.....	95
3.6.5. Diagrama de Proceso Mantenimiento	99
3.6.6. Análisis causa - efecto del problema principal.....	100
3.1.6. Priorización de causas raíz	102
3.6.7. Contexto operacional sistema de bombas en la DP1	102
CAPÍTULO IV: DIAGNOSTICO SITUACIONAL.....	107
4.1. Indicadores actuales.....	107
4.2. Tiempos de operación y mantenimiento programado anuales	111
4.3. Cálculo de indicadores de mantenimiento.....	111
4.3.2 Calculo del MTBF de los equipos	113
4.3.3. Cálculo del MTTR de los equipos.....	114
4.3.4. Cálculo de la Confiabilidad de flota.....	114
4.6. Pérdida de producción actualizada.....	115
4.7. Determinación de la brecha	116
4.8. Análisis de distribución de planta de la DP1	118
4.9. Alternativas de solución	119
4.9.1. Planificación de la propuesta.....	119
4.10. Entrevistas a expertos	121
4.10.1. Entrevista a Experto N° 1	121
4.10.2. Entrevista a Experto N° 2	124
4.11. Diagrama Gantt	126
CAPÍTULO V: IMPLEMENTACIÓN DE LA MEJORA.....	127
5.1. Plan de mantenimiento centrado en confiabilidad (MCC).....	127
5.1.1. Desarrollo de la metodología de análisis de criticidad.....	130
5.1.2. Desarrollo de la metodología AMEF	145
5.2. Panel de indicadores de mantenimiento en la DP1	183
5.2.1. Indicador de disponibilidad	183
5.2.2. Indicador de Confiabilidad.....	183

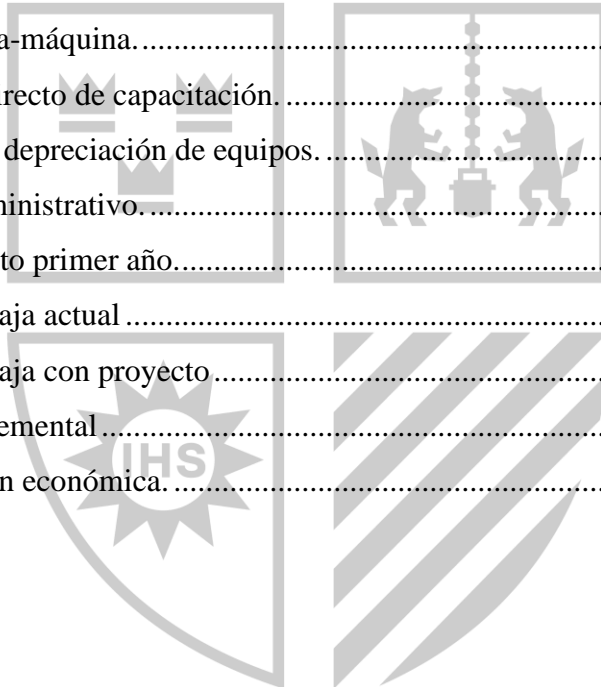
5.2.3. Indicador de Mantenibilidad.....	184
5.3. Procedimientos de trabajo de los principales procesos de mantenimiento del sistema de bombas (motor eléctrico – bomba centrífuga).....	185
5.3.1. Procedimiento mantenimiento predeterminado de motores eléctricos.....	185
5.3.2. Procedimiento mantenimiento predictivo de motores eléctricos.....	195
5.3.3. Procedimiento mantenimiento preventivo de bombas centrífugas.....	204
5.4. Adquisición de equipos de medición adecuados para el monitoreo de parámetros de control del sistema de bombas.....	209
5.5. Evaluación de la mejora (Comparar el antes y el después).....	214
5.5.1. Evaluación técnica.....	214
5.6. Evaluación económica.....	219
5.6.1. Determinación de la producción actual.	219
5.6.2. Determinación del incremento producción.	220
5.6.3. Costos	220
5.6.7. Cálculo de los indicadores de rentabilidad del proyecto	228
Conclusiones.....	229
Recomendaciones	230
Bibliografía	231
Anexos	233



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Terminología en uso para el análisis FMEA.	69
Tabla 2. Comparación de Políticas de Mantenimiento.	75
Tabla 3. Resultado de criticidad de motores y bombas centrífugas de la DP1.	85
Tabla 4. Histórico de fallas de la Refinería 2021.	90
Tabla 5. Listado de equipos y componentes del DP1.	95
Tabla 6. Criterios de evaluación y escala de impacto, para componentes en la DP1.	95
Tabla 7. Impacto de los equipos en sistemas funcionales de la DP1.	96
Tabla 8. Producción DP1.	97
Tabla 9. Proceso de Priorización.	100
Tabla 10. Modos de operación DP1.	102
Tabla 11. Condiciones de operación de las bombas de carga y mezcla.	105
Tabla 12. Tabla histórica de fallas.	107
Tabla 13. Datos usados para el cálculo de indicadores.	111
Tabla 14. Producción actualizada de la DP1.	116
Tabla 15. Brecha actual de la DP1.	117
Tabla 16. Cuadro de propuestas de mejora.	119
Tabla 17. Clasificación grupos funcionales.	132
Tabla 18. Índice de peligro NFPA.	133
Tabla 19. Peligros según NFPA.	134
Tabla 20. Probabilidades.	135
Tabla 21. Criticidad por procesos.	136
Tabla 22. Factor de respaldo de equipos de proceso.	137
Tabla 23. Categorías de probabilidades procesos.	137
Tabla 24. Matriz de riesgo de procesos.	138
Tabla 25. Matriz de riesgo total.	138
Tabla 26. Jerarquización de los equipos de bombeo de la DP1.	139
Tabla 27. Tabla resumen de nivel de criticidad.	144

Tabla 28. AMEF de motores eléctricos de la DP1.	167
Tabla 29. AMEF de bombas centrífugas de la DP1.	173
Tabla 30. Plan de mantenimiento para los motores eléctricos de la DP1.	178
Tabla 31. Plan de mantenimiento para las bombas centrífugas de la DP1.	181
Tabla 32. Resumen de inversión.	214
Tabla 33. Confiabilidad de la propuesta.	215
Tabla 34. Mantenibilidad de Propuesta.	216
Tabla 35. Disponibilidad de Propuesta.	217
Tabla 36. Comparación de indicadores Totales.	218
Tabla 37. Datos de producción DP1.	219
Tabla 38. Costo de mano de obra directa anual.	220
Tabla 39. Costo hora-máquina.	221
Tabla 40. Costo indirecto de capacitación.	221
Tabla 41. Costo por depreciación de equipos.	222
Tabla 42. Gasto administrativo.	222
Tabla 43. Presupuesto primer año.	223
Tabla 44. Flujo de caja actual.	225
Tabla 45. Flujo de caja con proyecto.	226
Tabla 46. Flujo incremental.	226
Tabla 47. Evaluación económica.	228



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de las unidades de proceso de la Refinería.	20
Figura 2. Gráfico de producción de las unidades de la Refinería.	21
Figura 3. Papel de Mantenimiento en función desde de la fase del ciclo de vida del activo.....	31
Figura 4. Relación jerárquica entre Políticas y Estrategias de Mantenimiento	33
Figura 5. Costos según el nivel de mantenimiento.	35
Figura 6. Rol de la Ingeniería de Mantenimiento.	37
Figura 7. Curva que representa los costos totales en función de la confiabilidad y disponibilidad.....	41
Figura 8. Confiabilidad con ley exponencial negativa.	43
Figura 9. Disponibilidad en función de MTBF y MTTR.	45
Figura 10. Relación entre la Confiabilidad (R), MTBF, MTTR, Mantenibilidad (M) y Disponibilidad (A).	47
Figura 11. Representación de los KPI de confiabilidad y disponibilidad a lo largo del tiempo.	48
Figura 12. Estructura de los costes de mantenimiento.....	49
Figura 13. Costo total de mantenimiento.....	51
Figura 14. Lógica de decisión para la definición del Plan de Mantenimiento de la Producción.	58
Figura 15. Esquemización de la metodología MCC.	60
Figura 16. Clasificación ABC de Pareto.....	64
Figura 17. Diagrama deflujo para realizar el análisis de criticidad.	66
Figura 18. Figura: Matriz de criticidad.....	71
Figura 19. Árbol lógico de decisiones.	73
Figura 20. Equipo de bombeo de carga modelo 3700 y motor eléctrico de 700KW.....	76
Figura 21. Esquema básico de la unidad de destilación primaria en una empresa de hidrocarburos.	77
Figura 22. Curvas de Destilación Típicas.....	77

Figura 23. Producción de las refinerías en el Perú.	89
Figura 24. Diagrama de disponibilidad, mantenibilidad, confiabilidad de la Refinería.	91
Figura 25. Esquema del proceso de destilación atmosférica.	93
Figura 26. Componentes y equipos significativos de la DP1.	94
Figura 27. Diagrama de proceso de mantenimiento.	99
Figura 28. Diagrama causa raíz.	101
Figura 29. Diagrama simplificado de la DP1.	103
Figura 30. Diagrama simplificado del sistema de alimentación de la DP1.	105
Figura 31. Diagrama DOP de la DP1.	106
Figura 32. Gráfico de cantidad de fallas.	109
Figura 33. Gráfico de duración de horas de indisponibilidad por fallas.	110
Figura 34. Cantidad de fallas y tiempos de parada de los equipos.	110
Figura 35. Cálculo de confiabilidad por familia de equipos (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	113
Figura 36. Cálculo de MTBF por familia de equipos (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	113
Figura 37. Cálculo de MTTR por familia de equipos (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	114
Figura 38. Confiabilidad de la flota de equipo.	115
Figura 39. Gráfico de impacto de mejoras propuestas.	120
Figura 40. Metodología de Trabajo para Desarrollo del MCC.	130
Figura 41. Gráfico de nivel de criticidad de los equipos de bombeo DP1.	145
Figura 42. Diagrama EPS.	146
Figura 43. Árbol de Decisiones. Fuente: Norma SAE JA1012.	155
Figura 44. Intervalo P-F.	157
Figura 45. Gráfica de Longevidad.	159
Figura 46. Procedimiento para la aplicación de la Metodología MCC.	162
Figura 47. Estructura del Equipo de Trabajo.	166
Figura 48. Cálculo de confiabilidad por familia de equipos (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	183
Figura 49. Cálculo de MTBF por familia de equipos (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	183
Figura 50. Cálculo de MTTR de flota (Bombas Centrifugas - Motor Eléctrico).	184