

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTA DE MEJORAS A LOS EQUIPOS ESTÁTICOS
CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE GAS DE
SÍNTESIS (SECCIÓN 4100) DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
METANOL, SUPERMETANOL C.A., MEDIANTE UN MCC.**

Realizado por:

LEANDRO DAVID PARAVIA POMONTI

Trabajo de Grado Presentado ante la Universidad de Oriente Como
Requisito Parcial para Optar al Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, mayo de 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTA DE MEJORAS A LOS EQUIPOS ESTÁTICOS
CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE GAS DE
SÍNTESIS (SECCIÓN 4100) DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
METANOL, SUPERMETANOL C.A., MEDIANTE UN MCC.**

Revisado y Aprobado por:

Prof. Darwin Bravo
Asesor Académico

Ing. Eduardo Deliso
Asesor Industrial

Barcelona, mayo de 2025

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**PROPUESTA DE MEJORAS A LOS EQUIPOS ESTÁTICOS
CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE GAS DE
SÍNTESIS (SECCIÓN 4100) DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE
METANOL, SUPERMETANOL C.A., MEDIANTE UN MCC.**

JURADO

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

**Prof. Darwin Bravo
Asesor Académico**

**Prof. Félix Payares
Jurado Principal**

**Prof. Francisco García
Jurado Principal**

Barcelona, mayo de 2025

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado:

“Los Trabajos de grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”



DEDICATORIA

Primeramente, a Dios porque siempre me acompañan en todos mis pasos y me guía por el camino correcto para poder cumplir todas mis metas, en este caso la más importante de mi vida hasta hoy.

A mis padres Rosangel Pomonti y Sergio Paravia, mis pilares fundamentales y mejores amigos, que me acompañaron y apoyaron incondicionalmente en todo este recorrido. Son mi inspiración, los amo muchísimo.

A mi hermano Samuel Paravia, el mejor de todos, el que siempre me apoya en cualquier decisión y situación, sé que puedo contar con él siempre. Te amo hermano.

A mi hermosa familia, que creyó en mí, que con su apoyo incondicional, dedicación, entusiasmo y alegría lograron que esta meta se cumpliera.

¡¡SE LOS DEDICO CON MUCHO AMOR!!

AGRADECIMIENTOS

Trabajo de mi esfuerzo que no hubiese sido posible concretar sin el apoyo de muchas personas. A Dios que me dio la fortaleza y seguridad de seguir con pasos firmes en mi vida y darme la sabiduría necesaria para superarme.

A mis padres que con su gran esfuerzo y dedicación me han podido dar todo lo que está a su alcance y mucho más, formando parte fundamental de este logro. Los amo con mi vida.

A mi hermano por acompañarme, apoyarme y guiarme en cada paso de todo este camino recorrido, siendo mi gran compañero.

A la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, por darme la oportunidad de convertirme en un profesional. Esta respetable institución albergó entre sus espacios, a todo profesor que hace vida en el núcleo en especial a los del Departamento de Mecánica, a quienes agradezco enormemente por compartir sus sabios conocimientos y contribuir a mi formación como persona y profesional. En especial agradezco a mi asesor académico Darwin Bravo por la disponibilidad de su tiempo y espacio, optimismo y seriedad en todo momento, así como los conocimientos emitidos que hicieron de este proyecto un gran aprendizaje.

A mis amigos y compañeros de la universidad, en especial a Yafeh Koury por ser mi compañero y amigo desde el primer semestre, así como también menciones especiales a Antonio Ladera, Luis Rondón, Barbara Martínez y Orianny Faría, quienes cada semestre me acompañaron en la continua lucha por alcanzar nuestras metas.

A mi primo Alessandro Da Costa por apoyarme en todo momento, aconsejarme y cuidarme en toda mi etapa universitaria, siendo uno de mis mayores ejemplos a seguir, además de ser un verdadero amigo.

A Supermetanol, C.A, cuyas instalaciones fueron para mí un sueño hecho realidad en donde pude poner en práctica conocimientos ya obtenidos y aprendí muchísimas cosas nuevas. En especial agradezco a mi tutor industrial Eduardo Deliso, por dedicarme parte de su tiempo en la orientación y elaboración de este trabajo. Principal autor de la adquisición de conocimientos muy valiosos en mi vida como profesional. Gracias por todos sus consejos.

Asimismo, agradezco a mis compañeros David Agostini, Cesar Gallardo, Oramay Guariato, Jhorman Parra, Ana Carrasquero, Miguel Cabrices, Rosa Infante y Richard Goatache por su amistad, apoyo brindado y conocimientos compartidos durante mi estadía en la empresa, la cual se volvió muy amena. También agradezco a todas las personas que de alguna u otra manera ayudaron en el desarrollo de este trabajo, los cuales fueron muchísimos gracias a Dios; su apoyo siempre fue vital para mí. Millones de gracias.

A las diversas personas que estuvieron atentos, interesados en mi superación como profesional sin recibir nada a cambio, amigos, compañeros y colegas. Muchas gracias.

¡¡¡¡INMENSAMENTE AGRADECIDO!!!!

RESUMEN

En el presente trabajo se propuso las mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100) de la planta de producción de metanol de Supermetanol. Para ello se describió el contexto operacional de la sección, posteriormente se jerarquizaron los equipos estáticos usando una matriz de criticidad, luego se determinó las causas por las cuales se presentan las fallas por medio de un AMEF, a partir de ello se identificaron las raíces físicas, humanas y latentes de los equipos estáticos críticos por medio de un ACR y finalmente se propusieron mejoras a los equipos críticos. Para describir el contexto operacional, en primer lugar, se debió conocer cuáles son los equipos estáticos que conforman la sección y su situación actual. En el trabajo se determinó que las fallas que dificultan el buen desarrollo del proceso son, deterioro notable del horno y presencia de altas temperaturas en el mismo, fugas en los intercambiadores, presencia de corrosión en diversos equipos, deterioro de sistemas de protección mecánicos, así como también material refractario deteriorado en diversos equipos. Al realizar la jerarquización resultaron críticos el horno reformador y el rehervidor con un índice de riesgo de 204 y 52 respectivamente. El ACR aplicado arrojó en cuanto al horno reformador que las raíces latentes involucradas fueron, gestión de mantenimiento inadecuado, falta de procedimientos, falta de adiestramiento del personal e incumplimiento de plan de inspección, y respecto al rehervidor, falta de supervisión, falta de entrenamiento, falta de supervisión e incumplimiento del plan de inspección. En cuanto a la propuesta de mejoras, es de alta prioridad sustituir en el horno reformador los tubos catalíticos por lo que se debe realizar la procura de los mismos, así como también reparar e instalar material refractario donde amerite, y en el rehervidor se debe instalar un parche en zonas donde se presentan las fugas y también

remover sistema de protección mecánica deteriorado e instalar nuevo donde se requiera.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS	vi
RESUMEN.....	viii
ÍNDICE GENERAL.....	x
ÍNDICE TABLAS	xv
ÍNDICE FIGURAS.....	xix
INTRODUCCIÓN	xxiii
CAPÍTULO I.....	25
EL PROBLEMA.....	25
1.1 Planteamiento Del Problema.....	25
1.2 Objetivos	26
1.2.1 Objetivo General.....	26
1.2.2 Objetivos Específicos.....	26
1.3 Justificación.....	26
1.4 Generalidades De La Empresa	27
1.4.1 Reseña historica	27
1.4.2 Ubicación geográfica	28
1.4.3 Visión	29
1.4.4 Misión	30

1.4.5	Objetivos de calidad de la empresa	30
1.4.6	Estructura organizacional de la empresa	31
1.4.7	Proceso productivo	32
1.4.7.1	Sección 4000. Preparación de la alimentación: recepción, hidrodesulfuración y saturación del gas natural.	33
1.4.7.2	Sección 4100. Producción del gas de síntesis: reformación de gas natural, recuperación de calor de gases de combustión y enfriamiento del gas reformado.	33
1.4.7.3	Sección 4200 – Síntesis del metanol crudo.	34
1.4.7.4	Sección 4300 – Producción de metanol refinado: Destilación (purificación de metanol crudo y purificación de metanol producto)	34
1.4.8	Diagrama del proceso productivo	34
CAPÍTULO II		36
MARCO TEÓRICO		36
2.1	Antecedentes de la Investigación	36
2.2.	Fundamentos Teóricos	39
2.2.1.	Producción de Metanol	39
2.2.2.	Producción de gas de síntesis	39
2.2.3.	Equipos	40
2.2.4.	Recipientes a presión	40
2.2.5.	Intercambiadores de calor	41
2.2.6.	Hornos	41
2.2.7.	Mantenimiento	48

2.2.8. Mantenimiento Predictivo.....	48
2.2.9. Mantenimiento Preventivo	48
2.2.10. Mantenimiento Correctivo	49
2.2.11. Plan de Mantenimiento	49
2.2.12. Tareas de Mantenimiento.....	49
2.2.13. Métodos de Inspección	50
2.2.14. Sistema.....	51
2.2.15. Falla	51
2.2.16. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad	51
2.2.17. Análisis de Fallas	53
2.2.18. Confiabilidad $R(t)$	53
2.2.19. Confiabilidad operacional.....	53
2.2.20. Herramientas para mejorar la Confiabilidad.....	53
2.2.21. Análisis de Riesgo.....	54
2.2.22. Matriz de criticidad Supermetanol.....	56
2.2.22.1 Consideraciones generales para el Análisis de Riesgo	57
2.2.22.2 Nivel de Consecuencias o impacto	58
2.2.22.3 Nivel de probabilidad.....	61
2.2.22.4 Niveles y Códigos de Riesgo de la Matriz	62
2.2.23. Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)	65
2.2.24. Análisis Causa Raíz (ACR)	66
2.2.25. Análisis de Pareto	67

2.2.26. Árbol de Fallas	67
2.2.27. Diagrama de Causa y Efecto	67
CAPITULO III	68
MARCO METODOLÓGICO	68
3.1 Tipo De Investigación	68
3.1.1 Según nivel de conocimiento	68
3.1.2 Según la estrategia	68
3.1.3 Según su propósito	69
3.2 Población y muestra	69
3.2.1 Población	69
3.2.2 Muestra	69
3.3 Técnicas de Investigación	70
3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	70
3.4 Etapas de la Investigación.....	72
CAPÍTULO IV.....	75
DESARROLLO DEL PROYECTO.....	75
4.1 Descripción Del Contexto Operacional De La Sección De Producción De Gas De Síntesis (Sección 4100).	75
4.1.1 Estructuración del Equipo Natural de Trabajo (ENT)	75
4.1.2 Descripción general de la sección de producción de gas de síntesis	76
4.1.3 Equipos estáticos pertenecientes a la sección de producción de gas de síntesis.	78

4.2 Jerarquización de los equipos estáticos de la sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100).	122
4.2.1 Procedimiento del análisis de riesgo	122
4.2.2 Premisas.....	123
4.2.3 Resultado	124
4.3 Determinación de las causas de las fallas a los equipos estáticos críticos por medio de un AMEF.	129
4.4 Identificación las raíces físicas, humanas y latentes a los equipos estáticos críticos por medio de un ACR.....	137
4.5 Propuestas de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.	147
CAPÍTULO V.....	157
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
5.1 Conclusiones.....	157
5.2 Recomendaciones.....	158
BIBLIOGRAFÍA.....	160
8.1. Bibliografía Citada	160
8.2. Bibliografía Adicional	161
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO	162

ÍNDICE TABLAS

Tabla 2.1. Matriz de criticidad Supermetanol.	57
Tabla 2.2. Categorías Consecuencia.	59
Tabla 2.3. Factor de Mitigación en Seguridad y Ambiente.	60
Tabla 2.4. Factor de Mitigación en Gastos y Producción.	60
Tabla 2.5 Categoría frecuencia de fallas.	61
Tabla 2.6. Niveles de riesgo Matriz Supermetanol.	62
Tabla 2.7. Jerarquización de Niveles de riesgo en función de la diagonal de la Matriz.	63
Tabla 2.8. Formato para el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF). .	65
Tabla 4.1. Equipo Natural de trabajo.	76
Tabla 4.2. Equipos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.	78
Tabla 4.3. Total de inspecciones realizadas al horno H-4101 desde el año 2014 al año 2024.	81
Tabla 4.4. Características técnicas de los calentadores de agua E-4101A/B.	88
Tabla 4.5. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4101A desde el año 2014 al año 2024.	88
Tabla 4.6. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4101B desde el año 2014 al año 2024.	89
Tabla 4.7. Características técnicas de los calentadores de mezcla E-4112A/B/C.	92
Tabla 4.8. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112A desde el año 2014 al año 2024.	93

Tabla 4.9. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112B desde el año 2014 al año 2024.	94
Tabla 4.10. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112C desde el año 2014 al año 2024.	94
Tabla 4.11. Características técnicas del Precalentador de Desulfuración E-4113.	96
Tabla 4.12. Características técnicas del Precalentador de Aire de Combustión E-4114.	97
Tabla 4.13. Total de inspecciones realizadas al precalentador E-4113 desde el año 2014 al año 2024.	97
Tabla 4.14. Total de inspecciones realizadas al precalentador E-4114 desde el año 2014 al año 2024.	98
Tabla 4.15. Características técnicas de los rehervidores E-4102 y E-4103.	100
Tabla 4.16. Total de inspecciones realizadas al rehervidor E-4102 desde el año 2014 al año 2024.	101
Tabla 4.17. Total de inspecciones realizadas al rehervidor E-4103 desde el año 2014 al año 2024.	101
Tabla 4.18. Características técnicas de las calderas E-4120A/B.	104
Tabla 4.19. Total de inspecciones realizadas a la caldera E-4120A desde el año 2014 al año 2024.	105
Tabla 4.20. Total de inspecciones realizadas a la caldera E-4120B desde el año 2014 al año 2024.	106
Tabla 4.21. Características técnicas del atemperador de vapor E-4121.	109
Tabla 4.22. Total de inspecciones realizadas al atemperador E-4121 desde el año 2014 al año 2024.	110

Tabla 4.23. Características técnicas de los sobrecalentadores de vapor E-4110 y E-4111.	112
Tabla 4.24. Total de inspecciones realizadas al sobrecalentador E-4110 desde el año 2014 al año 2024.	113
Tabla 4.25. Total de inspecciones realizadas al sobrecalentador E-4111 desde el año 2014 al año 2024.	113
Tabla 4.26. Características técnicas del Tambor de vapor de alta presión V-4101.....	115
Tabla 4.27. Características técnicas del Tambor de separación de gas reformado V-4103.	116
Tabla 4.28. Total de inspecciones realizadas al tambor V-4101 desde el año 2014 al año 2024.	117
Tabla 4.29. Total de inspecciones realizadas al tambor V-4103 desde el año 2014 al año 2024.	117
Tabla 4.30. Total de inspecciones realizadas a la chimenea L-4101 desde el año 2014 al año 2024.	120
Tabla 4.31. Jerarquización de equipos los estáticos a partir de la matriz Supermetanol.....	128
Tabla 4.32. Fallas asociadas al horno reformador H-4101. Fuente: Meridium (2024).	130
Tabla 4.33. Fallas asociadas al rehervidor E-4103. Fuente: Meridium (2024).	130
Tabla 4.34. AMEF aplicado al horno reformador H-4101.	132
Tabla 4.35. AMEF aplicado al rehervidor E-4103.....	135
Tabla 4.36. Fallas recurrentes del horno reformador H-4101.....	138

Tabla 4.37. Fallas recurrentes del rehervidor E-4103.	138
Tabla 4.38. Propuestas de mejoras para el horno H-4101.....	149
Tabla 4.39. Propuestas de mejoras para el rehervidor E-4103.	152

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la empresa.....	29
Figura 1.2. Ubicación geográfica del complejo “General de División José Antonio Anzoátegui”.....	29
Figura 1.3. Organigrama de la estructura de la empresa.....	32
Figura 1.4. Diagrama de bloques del proceso de obtención de metanol.	35
Figura 2.1. Esquema de la Sección de Producción de Gas de Síntesis en la Planta de Producción Metanol, Supermetanol, C.A.	40
Figura 2.2. Componentes principales de un horno.	42
Figura 2.3. Horno tipo caja.....	43
Figura 2.4. Horno tipo cilindro vertical.....	43
Figura 2.5. Subdivisiones de hornos según posición de los tubos.....	44
Figura 2.6. Esquema de horno tiro natural.....	45
Figura 2.7. Esquema de horno tiro inducido.	45
Figura 2.8. Esquema de horno tiro forzado.....	46
Figura 2.9. Esquema de horno tiro forzado e inducido.	46
Figura 2.10. Componentes de un quemador.....	47
Figura 2.11. Tipos de quemadores a gas.	47
Figura 2.12 Diagrama de flujo para la realización del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).....	52
Figura 2.13. Herramientas para mejorar la Confiabilidad.....	54
Figura 2.14. Diagrama de flujo del análisis de riesgo.	55

Figura 4.1. Esquema representativo de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.	78
Figura 4.2. Horno Reformador.	80
Figura 4.3. Esquema de los Quemadores del Horno Reformador.	81
Figura 4.4. Pared de la zona convectiva lado superior.	82
Figura 4.5. Pasillo de zona convectiva entre E-4112A y E-4112B.....	83
Figura 4.6. Pared de la zona convectiva lado norte.	83
Figura 4.7. Agrietamiento del material refractario de pared oeste.....	84
Figura 4.8. Caída de cepas de fibra cerámica de quemadores.	84
Figura 4.9. Desprendimiento de material en mirilla superior lado norte.	85
Figura 4.10. Deformación del tubo catalítico número 64.....	86
Figura 4.11. Incidencia de llama en tubos catalíticos.	86
Figura 4.12. Abombamiento de paredes de túneles zona inferior.	87
Figura 4.13. Corrosión leve en tornillería asociada a la tapa este. Abolladuras en el sistema de aislamiento del E-4101A.	90
Figura 4.14. Corrosión leve en la estructura metálica de soporte del E-4101A.	90
Figura 4.15. Corrosión leve en tornillería asociada a la tapa este y deterioro en el sistema de aislamiento del E-4101B.	91
Figura 4.16. Señales de corrosión bajo aislamiento (CUI) en el E-4101B. ...	91
Figura 4.17. Deformación plástica de placa tubular intermedia del E-4112A.95	
Figura 4.18. Sedimentos presentes en tubos y placa tubular del E-4112C... 95	
Figura 4.19. Agrietamiento presente en placa tubular final del E-4113.	98
Figura 4.20. Sedimentos presentes en placas del intercambiador E-4114. ...	99

Figura 4.21. Filtración presente en techo del E-4114.....	99
Figura 4.22. Deterioro del sistema de protección del rehervidor E-4102, lado noreste.....	102
Figura 4.23. Abertura y abolladuras de la chaqueta metálica ubicada en cabezal inferior del E-4102.	103
Figura 4.24. Óptimas condiciones internas del intercambiador E-4102, observado desde el orificio de medición de espesor.....	103
Figura 4.25. Deterioro y aberturas del sistema de protección en cabezal superior del E-4103.....	104
Figura 4.26. Abolladuras y desprendimiento de la chaqueta metálica del intercambiador E-4103.....	104
Figura 4.27. Vista panorámica de las calderas E-4120A/B.....	107
Figura 4.28. Desprendimiento de chaqueta metálica de protección mecánica en zona localizada del E-4120A.....	107
Figura 4.29. Corrosión leve localizada bajo aislamiento en orificio de medición de espesor del E-4120A, a causa de falta de tapón.	108
Figura 4.30. Deformación y desprendimiento de chaqueta metálica de protección mecánica en zona inferior del E-4120B.....	108
Figura 4.31. Corrosión moderada generalizada por ausencia de pintura en el intercambiador E-4120B.	109
Figura 4.32. Desprendimiento de chaqueta metálica.....	111
Figura 4.33. Presencia de óxido en las láminas protectoras contra lluvia del atemperador E-4121.....	111
Figura 4.34. Sedimentos existentes en el fondo del equipo.....	112
Figura 4.35. Corrosión presente en los tubos del intercambiador E-4110. ..	114

Figura 4.36. Oxidacion en placa tubular intermedia y relleno de fibra ceramica en orificio existente en el intercambiador E-4111.....	115
Figura 4.37. Oxidación y deterioro en el sistema de protección mecánica del tambor V-4101.	118
Figura 4.38. Corrosión leve presente en el paso de hombre del cabezal lado Oeste del tambor V-4101.	118
Figura 4.39. Vista panorámica del tambor de separación de gas V-4103....	119
Figura 4.40. Desprendimiento de sistema de aislamiento en tambor V-4103.	119
Figura 4.41. Vista panorámica de la chimenea L-4101.....	121
Figura 4.42. Grietas y roturas de material refractario en piso.	121
Figura 4.43. Árbol lógico de fallas del horno reformador H-4101.....	139
Figura 4.44. Alto patron de llama.	140
Figura 4.45. Desprendimiento de modulo refractario en techo de zona radiante.	141
Figura 4.46. Agrietamiento de material refractario en pared de zona radiante.	142
Figura 4.47. Árbol lógico de fallas del rehervidor E-4103.	143
Figura 4.48. Vista panoramica del rehervidor E-4103.....	144
Figura 4.49. Deterioro de la chaqueta metálica y falta de reemplazo.	145
Figura 4.50. Brida del cabezal del rehervidor E-4103.....	146
Figura 4.51. Soporte en sitio del rehervidor E-4103.....	147

INTRODUCCIÓN

En un entorno empresarial cada vez más dinámico y competitivo, la gestión eficiente de los activos se ha convertido en un imperativo estratégico para garantizar la continuidad operativa, optimizar los costos y maximizar el retorno de la inversión. Las organizaciones que buscan asegurar su posición en el mercado deben adoptar un enfoque proactivo en el mantenimiento de sus equipos e infraestructuras, priorizando la confiabilidad, la disponibilidad y la seguridad. Estos pilares son fundamentales para la óptima eficiencia de los procesos productivos, lo que se traduce en la minimización de los tiempos de inactividad y la maximización de la producción.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) emerge como una estrategia esencial, siendo un enfoque sistemático que busca comprender cómo fallan los equipos, cuáles son las consecuencias de esas fallas y qué se puede hacer para prevenirlas o mitigarlas. Ante esto, Supermetanol, en su búsqueda constante de optimización de procesos, reconoce la importancia estratégica del MCC para garantizar la máxima disponibilidad y confiabilidad de sus activos.

La planta de producción de metanol en Supermetanol posee cuatro secciones de producción, en las que se encuentra la sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100), la cual es de suma importancia ya que este gas es el requerido e indispensable para poder obtener el metanol como producto final y en la actualidad está presentando fallas en algunos de los equipos que la conforma, por lo que se realizó una jerarquizaron los equipos, se determinaron las causas de las fallas utilizando un AMEF, se identificaron

las raíces físicas, humanas y latentes a las fallas más recurrentes de los equipos más riesgosos y finalmente se realizaron propuestas de mejoras.

El trabajo está estructurado en cinco capítulos, como se describe a continuación:

Capítulo I. El problema: Se dan a conocer los aspectos generales de la empresa Supermetanol, su reseña histórica, misión y visión, así como también el planteamiento de problema, la justificación y los objetivos específicos necesarios para lograr el objetivo general propuesto.

Capítulo II. Marco Teórico: Se enumeran antecedentes que sirvieron de apoyo para la realización del proyecto; también, se especifican los fundamentos teóricos requeridos para el desarrollo de la investigación.

Capítulo III. Marco Metodológico: Comprende los aspectos metodológicos del trabajo realizado, tipo de investigación, población y muestra estudiada, técnicas empleadas para la recolección y análisis de los datos, así como también las etapas de la investigación.

Capítulo IV. Desarrollo de la investigación: Se desarrollan todos los objetivos, presentando los resultados obtenidos a cada uno de los objetivos establecidos en la investigación.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones: Se emiten las conclusiones y recomendaciones más relevantes, producto del análisis de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento Del Problema

La Empresa Supermetanol C.A., fue constituida el 07 de agosto de 1991 cuyos accionistas principales son Petroquímica de Venezuela, S.A. (PEQUIVEN) con un 42,5%, ECOFUEL S.p.A. con un 42,5%, y, el Banco Intesa de San Paolo como socio minoritario con el 15%. Está ubicada, dentro del Complejo Petroquímico General de División José Antonio Anzoátegui, en el estado Anzoátegui – Venezuela. Inicia sus operaciones en octubre de 1994 con una capacidad nominal de 2000 TMPD (toneladas métricas por día) de Metanol refinado, con un porcentaje de pureza superior al 99.85%, siendo un producto que cumple con las especificaciones de referencia para Metanol de grado AA. Esta planta actualmente cuenta con una capacidad de producción instalada de 2175 TMPD y dos tanques de almacenamiento, que alojan hasta 40.000 toneladas métricas de producto para su comercialización y entrega a través del terminal marítimo de este complejo. Dentro de sus áreas de producción se encuentran la preparación de la alimentación (recepción, hidrosulfuración), producción del gas de síntesis, síntesis del metanol crudo y el sistema de generación de vapor.

El área de producción de gas de síntesis, se encuentra constituida por varias unidades de procesos entre las que está presente la sección de reformación de gas natural (Sección 4100), la cual se encarga de la producción de gas de síntesis como principal objetivo, y a su vez de la recuperación de calor de gases de combustión y enfriamiento del gas reformado. La producción del gas síntesis es posible a partir de exponer al gas natural, proveniente de la

sección de preparación de la alimentación (Sección 4000), de alto contenido de metano, con vapor de agua a alta temperatura y moderada presión.

El gas de síntesis se produce a partir del reformador de gas natural, que consta principalmente de un horno reformador, dividido en una zona convectiva y una zona radiante, equipadas con tubos catalíticos, quemadores e intercambiadores de calor. El resto de la sección de reformación de gas natural, está constituida por bombas, tambor de vapor, calderas y tanques, Estos equipos han experimentado problemas debido a diversas causas, como altas temperaturas en la zona radiante, fallas en la caldera y daños en los sistemas de tuberías y equipos, entre otras, ocasionando paradas de producción no programadas en la planta y caídas en la eficiencia de la misma, causando cantidades no deseadas de pérdidas a la empresa por los altos índices de mantenimientos correctivos, tiempo de paradas de planta extensas, originando cambios de planes en el proceso productivo y retraso de los planes estratégicos pautados por la empresa.

Por lo anteriormente expuesto, la gerencia técnica desea realizar una propuesta de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis (Sección 4100) de la planta de producción de metanol mediante un MCC (Mantenimiento centrado en confiabilidad), buscando garantizar el proceso productivo. Por lo que se describirá el contexto operacional de la Sección de Producción de Gas de Síntesis, luego se jerarquizarán los equipos estáticos. Posteriormente, se determinarán las causas de las fallas a los equipos estáticos críticos por medio de un AMEF, luego se identificarán las raíces físicas, humanas y latentes a los equipos estáticos críticos, y finalmente se realizará la propuesta de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis, para el mejoramiento de su desempeño.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Proponer mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis (Sección 4100) mediante un MCC.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Describir el contexto operacional de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.
2. Jerarquizar los equipos estáticos por medio de una matriz de criticidad.
3. Determinar las causas de las fallas a los equipos estáticos críticos por medio de un AMEF.
4. Identificar las raíces físicas, humanas y latentes a los equipos estáticos críticos por medio de un ACR.
5. Realizar la propuesta de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

1.3 Justificación

Reducir las fallas de los equipos es un objetivo primordial para las empresas ya que de esta manera se reducen las probabilidades de que ocurran paros no programados en el proceso productivo y accidentes no deseados. Para ello es necesario la aplicación de técnicas de estudio y análisis, con la finalidad de mejorar la confiabilidad de los equipos y así evitar lo anteriormente mencionado, traduciéndose en disminución de costos de producción y seguridad del personal y el ambiente.

La presente investigación se justifica a partir de la importancia en la gerencia técnica de Supermetanol, C.A, en la confiabilidad de los equipos

estáticos críticos de la Sección de reformación de gas natural, incrementando el rendimiento de los mismos para lograr satisfacer los requerimientos y exigencias de la empresa, así como garantizar la seguridad, rentabilidad, mantenibilidad y calidad. Obteniendo a su vez beneficios en el aspecto económico resultante de la toma acciones que sean necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos, lo cual admite una disminución de los costos, evitando actividades innecesarias. Y para finalizar, desde el aspecto académico se justifica porque esta investigación servirá de base para futuras citas y referencias en el futuro.

1.4 Generalidades De La Empresa

1.4.1 Reseña historica

En marzo de 1991, con la participación accionaria de los socios industriales PEQUIVEN y ECOFUEL S.P.A, cada uno con 34,5% y dos socios financieros, Methanol holding Limited (Chemical Bank) y Banca Commerciale Italiana, cada uno con 15,5 %, se constituye la empresa SUPERMETANOL, C.A.

El arranque de la planta, y la necesidad de satisfacer los requerimientos de calidad de los clientes, motivó la necesidad de iniciar la aplicación de normas y controles que permitirán trabajar con calidad y eficiencia a la empresa, es por ello que se implementó el sistema de calidad ISO 9002/94. Este sistema se basa en la implantación del manual de procedimiento de calidad e intrusiones de trabajo, estos documentos sustentan el desarrollo de la empresa una vez realizado los ajustes y las auditorias pertinentes.

El costo estimado de la inversión fue de unos 320 millones de dólares, el 39 % de este monto provino del capital aportado por los accionistas; parte

de este aporte se originó de los socios financieros y fue efectuado a través del programa de Conversión de Deuda Pública Externa Venezolana en inversión. El 61 % restante del costo total de la inversión se obtuvo de tres fuentes de financiamiento internacional, lideradas por Banca Commerciale Italiana, Chemical Investment Bank Limited y la Corporación Andina de Fomento.

Como proyecto, la planta culmina con gran éxito antes de la fecha establecida y la primera gota de metanol a especificación se produjo el 11 de octubre de 1994, durante ese mes también se efectuó el primer embarque de producto hacia Texas, Estados Unidos. Supermetanol inicia sus operaciones comerciales el 14 de enero de 1995. La Planta de Supermetanol fue inaugurada el 18 de febrero de 1995, por el Presidente de la República, Dr. Rafael Caldera.

La planta se diseñó con una capacidad de 2000 TMPD (toneladas métricas por día) de metanol, utilizando la tecnología de la Imperial Chemical industries (ICI). En agosto de 1998, se ejecutó el proyecto de ampliación de la planta (Debottlenecking), con el objeto de aumentar la producción de metanol a 2300 TMPD.

1.4.2 Ubicación geográfica

Supermetanol es una de las empresas constituyentes del complejo PEQUIVEN (ver Fig. 1.1), localizado dentro del complejo Industrial, Petrolero y Petroquímico “General de División José Antonio Anzoátegui”, ubicado en la Autopista Gran Mariscal de Ayacucho (ver Fig. 1.2).



Figura 1.1. Ubicación geográfica de la empresa. Fuente: Supermetanol.



Figura 1.2. Ubicación geográfica del complejo “General de División José Antonio Anzoátegui”. Fuente: Supermetanol.

1.4.3 Visión

Ser una empresa de clase mundial en la producción de metanol, reconocida por su amplia trayectoria en el mercado de la Industria Petroquímica, para

generar valor económico y social a nuestros trabajadores, accionistas, clientes, entorno y contribuir con el progreso del país.

1.4.4 Misión

Producir y despachar metanol de alta pureza, cumpliendo con estrictas normas de seguridad, ambiente y calidad, mediante el mejoramiento continuo del proceso y la especialización de nuestro talento humano, para asegurar la competitividad y reconocimiento en la Industria Petroquímica.

1.4.5 Objetivos de calidad de la empresa

- Actualizar y mantener el Sistema de Aseguramiento de la Calidad basado en la norma ISO 9001 2000, capacitando al personal para que responda a las exigencias del mejoramiento continuo de los procesos, a través de la adquisición de técnicas y herramientas para el análisis de los procesos.
- Satisfacer permanentemente las expectativas de nuestros clientes, cumpliendo con la especificación de calidad requerida, con las fechas acordadas y con los costos establecidos.
- Cumplir con los planes de adiestramiento formulados para el personal de la organización, e incentivar programas para promover su motivación y sentido de pertenencia.
- Cumplir con las normas de seguridad, higiene industrial y prevención de accidentes, manteniendo permanente vigilancia en la preservación del medio ambiente.
- Mejorar los procesos, respondiendo adecuadamente a los cambios del mercado, de tecnologías y de necesidades de los clientes.

1.4.6 Estructura organizacional de la empresa

Desde el punto de vista organizacional, como empresa mixta, Supermetanol posee una junta directiva conformada por un grupo de directores principales junto con sus suplentes, que pertenecen a Pequiven, Ecofuel y el resto de los socios financieros. Uno de los directores principales actúa como presidente de la junta. La dirección de la empresa está a cargo del Gerente General, quien es elegido por la Junta Directiva, y que conjuntamente con un equipo de gerentes y superintendentes, completan el organigrama columna principal de la empresa (ver Fig. 1.3).

La empresa cuenta con trabajadores entre gerentes, supervisores, especialistas, operadores y personal de mantenimiento, con vasta experiencia para operar la planta. El grado de instrucción del personal se divide de la siguiente manera: 26% trabajadores con nivel de Bachiller y Técnico medio, 41% Técnico Superior y 33% restante de Profesionales Universitarios, algunos de ellos con post-grado.

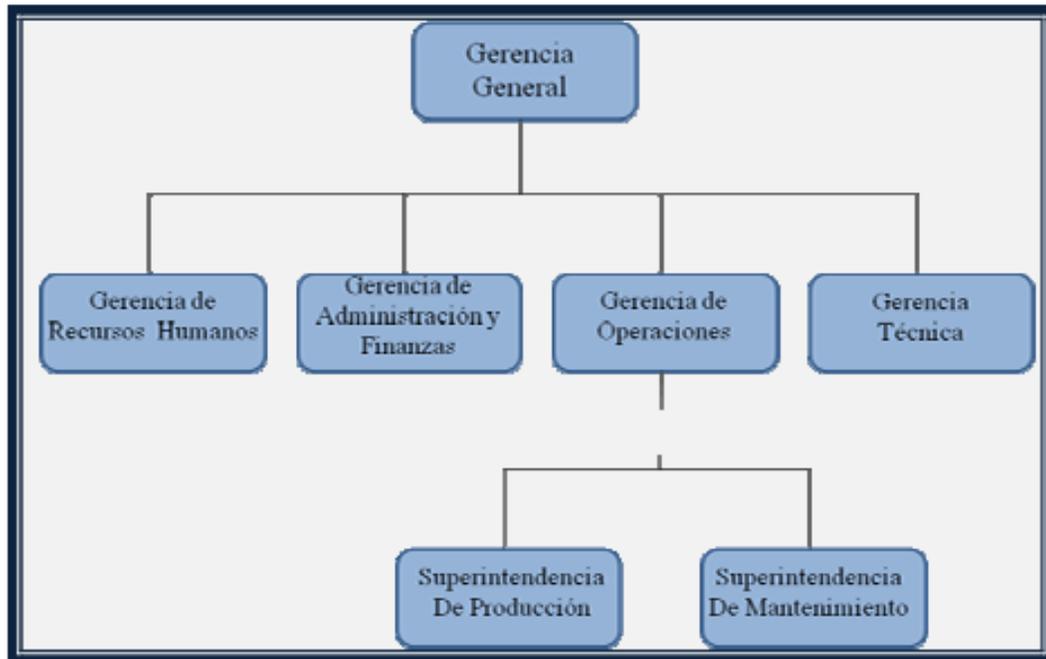


Figura 1.3. Organigrama de la estructura de la empresa. Fuente: Supermetanol.

1.4.7 Proceso productivo

El gas natural, es una mezcla de gases que se encuentran frecuentemente en yacimientos fósiles, sólo, acompañando al petróleo o a los depósitos de carbón. Aunque su composición varía en función al yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 o 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, etano, CO_2 , H_2S , butano, propano, y trazas de hidrocarburos.

La producción de metanol refinado por parte de Supermetanol C.A, se genera a partir de gas natural y vapor de agua como materias primas. La planta cuenta con cuatro secciones principales, las cuales constituyen las etapas para la producción de metanol (Ver Fig. 1.4).

1.4.7.1 Sección 4000. Preparación de la alimentación: recepción, hidrodesulfuración y saturación del gas natural.

Petróleos de Venezuela S.A. (PDVSA), suministra a Supermetanol 83,08 MMPCSD de gas natural, equivalentes a 77.858 Kg/h, con una presión aproximada de 17,0 Kgf/cm²g y una temperatura entre 22 y 28°C, de acuerdo a las condiciones climatológicas.

El gas natural rico en Metano CH₄ y con óxidos de carbonos, contiene además pequeñas cantidades de compuestos de azufre los cuales deben ser removidos antes de que el gas sea admitido al Reformador, para evitar envenenamiento del catalizador. El gas natural es entonces alimentado a la sección de HDS (Hidrodesulfuración) en donde en un primer reactor, los compuestos de azufre son convertidos en Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) en presencia de un catalizador de óxido de níquel y óxido de molibdeno soportado en alúmina. Posteriormente, la corriente de salida de este reactor rica en H₂S, pasa a uno o dos recipientes con catalizador de óxido de zinc, en donde el H₂S es absorbido sobre el óxido de zinc.

1.4.7.2 Sección 4100. Producción del gas de síntesis: reformación de gas natural, recuperación de calor de gases de combustión y enfriamiento del gas reformado.

La corriente desulfurada es saturada con agua y posteriormente mezclada con el vapor requerido para la reformación. En esta etapa (Producción de Gas de Síntesis) y en presencia de un catalizador de níquel, el vapor reacciona con los hidrocarburos gaseosos produciendo un gas reformado (gas de síntesis) constituido por CO₂, CO, H₂, CH₄. Esta reacción requiere de gran cantidad de calor (reacción endotérmica) el cual es suministrado por quemadores que utilizan gas natural y gas de purga proveniente de la sección de síntesis como combustible. El gas de síntesis sale de esta sección a aprox. 880°C, lo cual se

aprovecha para producir vapor (en una caldera de recuperación de calor) y proveer el calor necesario en el resto del proceso (proceso de recuperación de calor o enfriamiento del gas reformado).

1.4.7.3 Sección 4200 – Síntesis del metanol crudo.

Después del proceso de recuperación de calor, el gas de síntesis es comprimido desde 16 Kg/cm²g hasta 84 Kg/cm²g en dos etapas de compresión con el propósito de acondicionar este gas para luego ser alimentado al reactor de síntesis de metanol en donde se producirá el metanol crudo. La síntesis del metanol se realiza a una presión cercana a los 82 Kg/cm²g y temperaturas de aprox. 240° C sobre un catalizador de Cobre/Zinc. Otros de los productos de esta sección de síntesis, además de metanol, son agua y gas de purga (rico en H₂) el cual es usado como reciclo al reactor, como combustible y como parte de la alimentación a la sección de HDS.

1.4.7.4 Sección 4300 – Producción de metanol refinado: Destilación (purificación de metanol crudo y purificación de metanol producto)

El metanol crudo es ahora alimentado a la sección de purificación que consta de dos columnas de destilación. En la primera el metanol crudo es despojado de los compuestos livianos y el resultado de esta primera destilación es un metanol mezclado con agua. En la segunda etapa de purificación, la mezcla metanol – agua es alimentada a otra columna de destilación en donde se separa el agua del metanol resultando un metanol con un porcentaje de pureza >99.85% peso. Este metanol es el resultado final de todo el proceso y es almacenado en tanques fabricados para tal fin.

1.4.8 Diagrama del proceso productivo

En la Fig. 1.4 se muestra simplificado en diagrama de bloques el proceso de obtención de metanol de las etapas antes descritas.

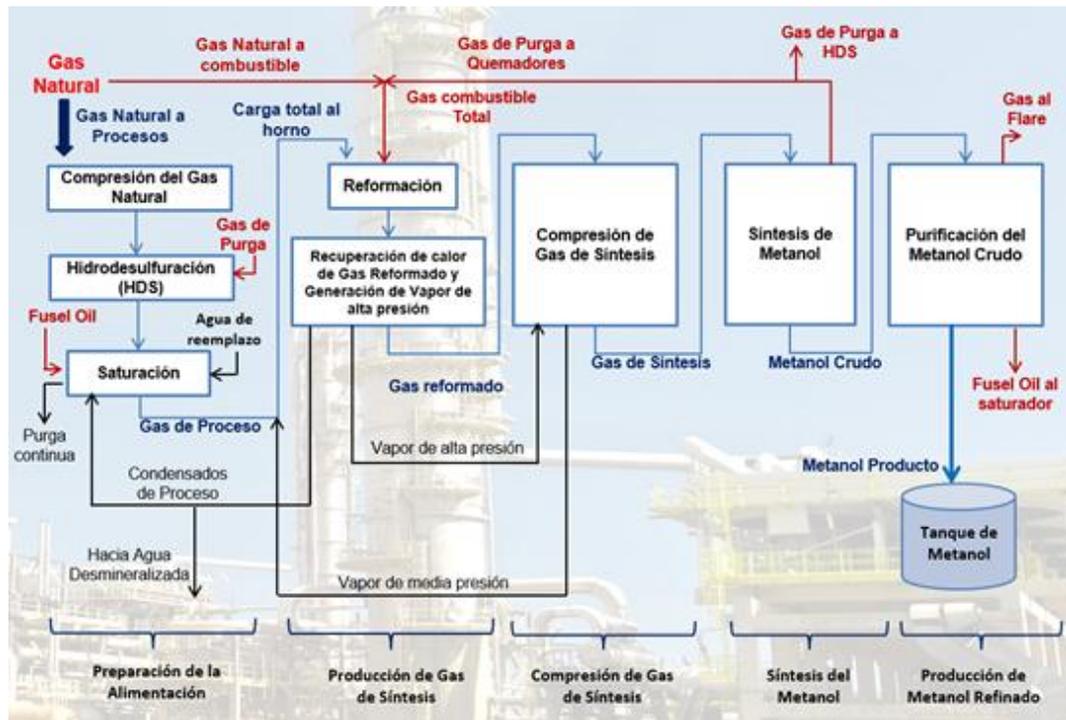


Figura 1.4. Diagrama de bloques del proceso de obtención de metanol.

Fuente: Supermetanol.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la Investigación

Para la elaboración del presente proyecto, se citan a continuación los resúmenes de los trabajos de grado que proporcionan información referencial:

En el año 2022, Velásquez, L [1], propuso mejoras a las bombas de exportación de crudo (P-5003-A/B/S) adscritas a Petrocedeño S.A., para ello se describió el contexto operacional de las bombas de cavidad progresiva de exportación de crudo (P-5003-A/B/S) a través de la búsqueda de información del estado de funcionamiento de los equipos que conforman dicho sistema, luego, se ejecutó un análisis de criticidad de las bombas, seleccionando para ello la metodología D.S., posteriormente se aplicó un análisis modo y efecto de falla (AMEF) de los equipos con mayor nivel de criticidad para ello se identificó la función, las fallas funcionales de los equipos y los modos de fallas, inmediatamente se realizó un análisis de causa raíz para la identificación de las causas de las fallas en las bombas para ello se usó como herramienta el árbol lógico de fallas y finalmente se elaboró la propuesta de mejoras para las bombas (P-5003-A/B/S). Este trabajo arrojó que el sistema de Bombeo de Cavidad Progresiva (BCP) está conformado por tres equipos y tres componentes, de los cuales dos equipos y dos componentes fueron objeto de estudio, una vez identificada la situación actual, se logró determinar que los planes de mantenimiento diseñados para el sistema BCP no son aplicados correctamente, también se constató la falta frecuente del mantenimiento preventivo y las condiciones en las cuales se encontraban los cabezales KUDU del sistema BCP donde se evidenció correas desgastadas, falta de lubricación en los componentes que conforman los cabezales y sobrecalentamiento en el sistema de frenado del ACR se pudo determinar que

las raíces latentes más importantes que generan los problemas las BCP son, falta de adiestramiento al personal de operación, ausencia de repuestos en almacén, falta de supervisión, falta de actividades de mantenimiento, finalmente se propusieron mejoras. Esta propuesta de mejoras sirvió de apoyo en cuanto a la aplicación de la metodología DS, del AMEF y del ACR.

En el Año 2017, Guzman, J. [2], propuso mejoras a los equipos críticos del turbogenerador TG-6 ubicado en la planta termoeléctrica en guanta, estado Anzoátegui, esto con la finalidad de disminuir el alto índice de fallas que ha presentado dicho turbogenerador y así garantizar la disponibilidad del mismo. Para ello, se realizó la identificación de la situación actual de los equipos que lo conforman, donde se obtuvo una descripción total de ellos, así como también una visión del funcionamiento del sistema, seguidamente se realizó una clasificación haciendo uso de un análisis de criticidad mediante la aplicación de la "Metodología D.S" donde se pudo conocer cuáles son los equipos que presentan mayor nivel de criticidad en todo el sistema, dichos equipos fueron el compresor axial perteneciente al sub sistema operacional y la bomba recíproca perteneciente al sub sistema de aceite de lubricación. Se aplicó un análisis de modos y efectos de fallas (AMEF), estableciendo las funciones, fallas funcionales, modos de fallas y efectos de fallas de los equipos con más alto índice de criticidad. Se realizó el análisis de Causa Raíz (ACR), estructurado por un árbol lógico basado en la información obtenida de entrevistas no estructuradas al personal que integró el ENT y de la información suministrada por el análisis de los modos y efectos de falla (AMEF) realizado. Para finalizar, se propuso mejoras a la unidad turbogeneradora con base a todos los datos que se obtuvieron en la aplicación del AMEF y el ACR a los equipos críticos del sistema. Esta propuesta de mejoras sirvió de apoyo en cuanto a la aplicación de la metodología DS, del AMEF y del ACR.

En el año 2016, Fernández, E. [3], propuso Mejoras a los Equipos Críticos del Sistema de Compresión de Gas de la Planta Compresora Orocual 05, Distrito Furrial, mediante el análisis de falla, con la finalidad de establecer estrategias que permitan minimizar la ocurrencia de fallas y mejorar la eficiencia de los equipos, mediante la disminución de paradas no programadas, permitiendo así tener un sistema de compresión de gas confiable. Para esto, se realizó un diagnóstico de la situación actual de los equipos que conforman el sistema de compresión, recopilando información referente a sus características y funcionamiento, seguidamente, se utilizó la Metodología D.S para jerarquizar los equipos del sistema de compresión, determinándose como críticos el compresor centrífugo y enfriador de aceite. A partir de allí, a los equipos críticos se les realizó un Análisis de Modos y Efectos de Fallas, el cual permitió identificar las causas por las que pueden estos equipos fallar y los efectos que estas fallas tienen sobre los mismos. Posteriormente, buscando fortalecer las propuestas se aplicó un Análisis Causa Raíz, aplicando la técnica de árbol de fallas, que permitió obtener información que indican las causas matrices por las cuales se presentan las fallas. En base a lo obtenido en el AMEF y ACR se generaron tres propuestas, basadas en mejoras a las actividades operacionales y de mantenimiento actual, entre ellas, se sugirió nuevas tareas relacionadas a los equipos críticos, se realizó un instructivo para instalación de cojinetes para el compresor centrífugo y se ordenó la aplicación de ensayos no destructivos al enfriador de aceite y la instalación de rejillas protectoras para los ventiladores, con el fin de garantizar la disminución de paradas no programados y cumplir con el alto nivel de productividad que requiere la Empresa. Esta propuesta de mejoras sirvió de apoyo en cuanto a la aplicación de la metodología DS, del AMEF y del ACR.

2.2. Fundamentos Teóricos

Las bases teóricas son esenciales para cualquier proyecto de investigación, establecen un marco sólido que apoya el análisis de los datos recopilados. Sin una base teórica robusta, los estudios y análisis resultantes no serían válidos. Por lo tanto, es crucial detallar las teorías que permitirán una correcta interpretación de los hallazgos de la investigación.

2.2.1. Producción de Metanol

El metanol, también conocido como alcohol metílico (CH_3OH), se fabrica a partir de gas de síntesis, que se produce por el reformado con vapor que da como resultado gas natural y dióxido de carbono. El metanol se sintetiza bajo presión en un proceso catalítico y el metanol crudo se purifica a grado químico por destilación. El gas natural es el producto intermedio que se usa en la mayoría de plantas de producción mundiales. [4].

2.2.2. Producción de gas de síntesis

En el reformado con vapor, el gas natural se mezcla con vapor de agua y se somete a altas temperaturas (aproximadamente $700\text{-}1000^\circ\text{C}$) en presencia de un catalizador, el más habitual es óxido de níquel (Ni). Donde, el metano reacciona con el vapor de agua. La producción de hidrógeno se ve favorecida por la eliminación del dióxido de carbono y el mantenimiento de un exceso de vapor de agua para desplazar el equilibrio hacia la formación de hidrógeno. El gas de síntesis resultante contiene hidrógeno, monóxido de carbono y dióxido de carbono. Este gas en la industria se usa principalmente para la producción de metanol. El reformador de gas de síntesis está constituido principalmente por un horno reformador, una zona convectiva y una zona radiante, tambores de vapor, intercambiadores de calor, líneas de transferencia, bombas, tubos catalíticos, quemadores, así como otros equipos [4]. En la Fig. 2.1, se observa

el esquema general de la Sección de Producción de Gas de Síntesis en la Planta de Producción de Metanol, Supermetanol, C.A. [4].

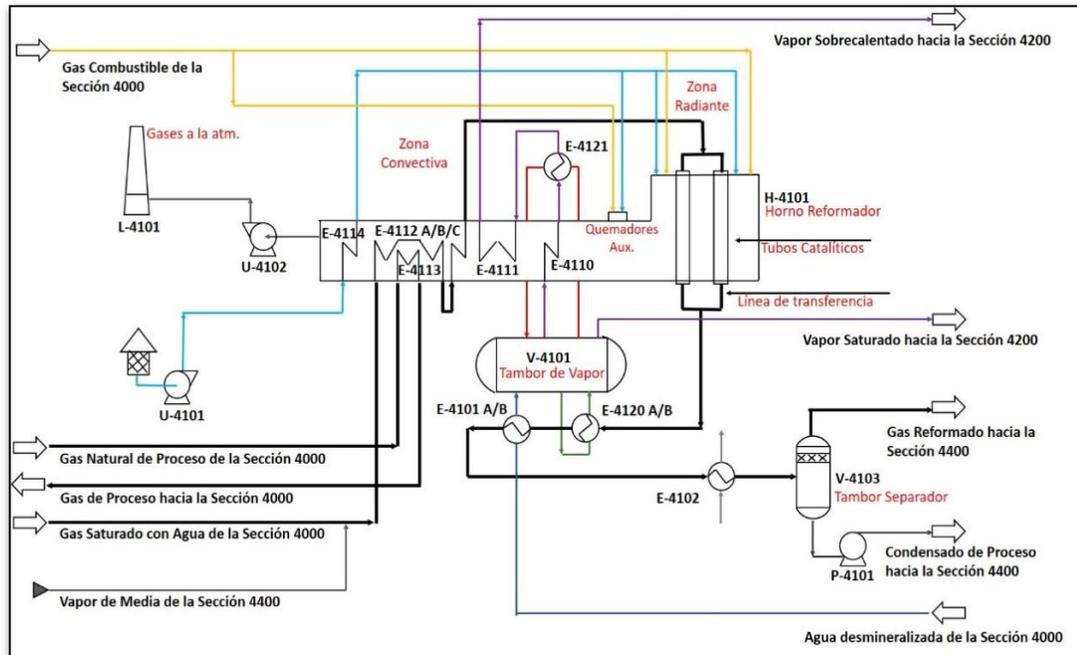


Figura 2.1. Esquema de la Sección de Producción de Gas de Síntesis en la Planta de Producción Metanol, Supermetanol, C.A. Fuente: Supermetanol.

2.2.3. Equipos

Es un bien económico, técnico, y sujeto a mantenimiento. Se establece que estos pueden presentarse bajo una serie de conexiones formando un sistema o actúan de manera individual. No es componente, parte o pieza (ejemplos: sello mecánico, manómetros, haz de tubo, tarjeta electrónica, entre otros).

2.2.4. Recipientes a presión

Un recipiente diseñado para soportar presiones internas o externas. Esta presión puede ser impuesta por una fuente externa, por la aplicación de calor

de una fuente directa o indirecta, o por cualquier combinación de ambas. Esta definición incluye los intercambiadores de calor, los enfriadores de aire, los generadores de vapor sin combustión y otros recipientes generadores de vapor que utilizan el calor procedente del funcionamiento de un sistema de procesamiento u otra fuente de calor indirecta.

2.2.5. Intercambiadores de calor

Son dispositivos diseñados para transferir calor entre dos fluidos, encontrándose éstos en contacto o separados por una barrera sólida. Se trata de componentes esenciales en los sistemas de climatización o refrigeración, acondicionamiento de aire, producción energética y procesamiento químico. [6].

2.2.6. Hornos

Un horno puede definirse como un intercambiador de calor en el que el fluido de proceso fluye dentro de tubos y se calienta por radiación procedente de una llama de combustión y por convección gracias a los gases calientes de esta. Los hornos de proceso constituyen equipos esenciales de la mayoría de las refinerías, los complejos petroquímicos y las plantas de procesamiento. Usados para calentar hidrocarburos (crudos o residuales) antes de su procesamiento en columnas de destilación, procesos catalíticos, conversión parcial o total, reformación térmica, pirólisis, etc.

Normalmente los hornos se dividen en tres zonas:

- Sección Radiante: En esta zona los tubos están en presencia de la llama y así la transmisión de calor ocurre aproximadamente en un 80% por radiación y en el 20% restante por convección de la circulación de gases calientes alrededor de los tubos.

- **Sección Convectiva:** Los tubos se encuentran fuera del alcance de la llama. Los gases calientes se dirigen a través del paquete de tubos y el calor transmitido es principalmente por convección de los gases calientes. En esta zona, los tubos están equipados con aletas para mejorar las condiciones de transmisión de calor.
- **Sección de Blindaje (Shield):** Se refiere a las primeras filas de tubos del área de convección, llamada también zona de choque, en ella los tubos no tienen aletas y reciben la misma cantidad de calor por ambos mecanismos.

Los Hornos de proceso (Fig. 2.2) están constituidos básicamente por:

- El serpentín de calentamiento (haces de tubos).
- La estructura de carcasa (secciones radiante y convectiva, chimenea).
- Los quemadores.

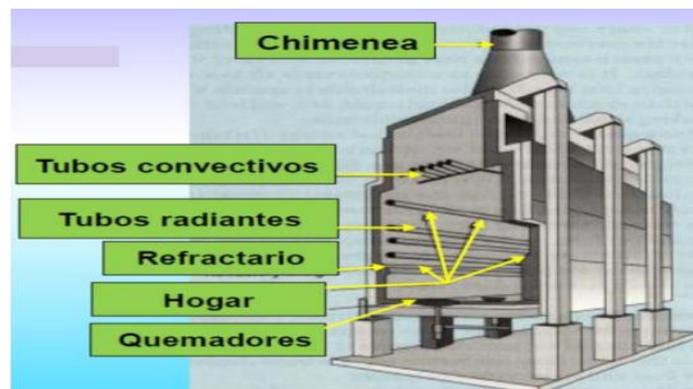


Figura 2.2. Componentes principales de un horno. Fuente: ESENTERM (2014)

Los hornos se pueden clasificar principalmente en:

- **Horno tipo caja o cabina:** Consiste en un set de cuatro paredes y un techo generalmente de acero con aislamiento interior de ladrillos refractarios. La sección de convección se sitúa en la parte superior y

seguidamente se encuentra la chimenea. Los tubos de la sección radiante se encuentran a lo largo de las paredes y la llama se genera a través de unos quemadores (Ver Fig. 2.3).



Figura 2.3. Horno tipo caja. Fuente: FOSTER WHEELER (2013)

- **Horno tipo cilindro vertical:** Consiste en un casco cilíndrico aislado colocado verticalmente con piso aislante y techo generalmente plano. Los quemadores se sitúan en el suelo, los tubos se sitúan verticalmente con flujo ascendente-descendente. La sección de convección es similar a la de los de tipo caja o cabina (Ver Fig. 2.4).



Figura 2.4. Horno tipo cilindro vertical. Fuente: FOSTER WHEELER (2013)

Sin embargo, dependiendo de la posición de los tubos se pueden encontrar más subdivisiones, algunas de ellas se presentan esquemáticamente en la Fig. 2.5.

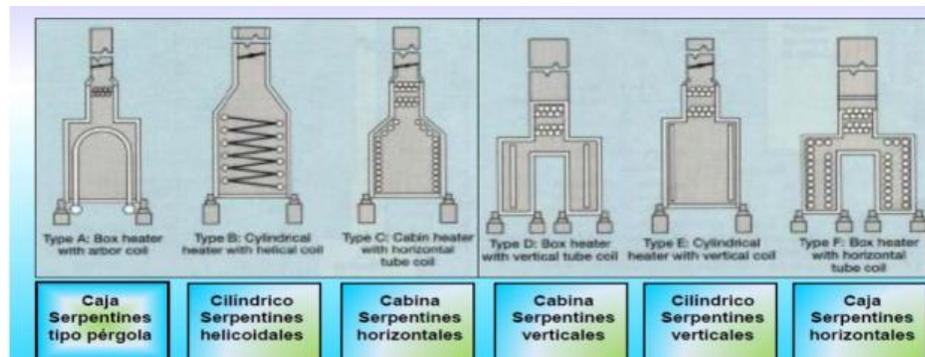


Figura 2.5. Subdivisiones de hornos según posición de los tubos.

Fuente: ESENERM (2014)

Por otro lado, según el tiro o modo como el aire y los gases de combustión fluyen hacia y dentro del horno, se pueden clasificar en:

- **Hornos de Tiro Natural.** Son aquellos en los cuales el efecto de flotabilidad ("buoyancy"), producido por el flujo de los gases de combustión a través de la chimenea, es suficiente para inducir el flujo de aire hacia el interior de la cámara de combustión y mantener la presión interna del horno en valores negativos (menores que la presión atmosférica) (Ver Fig. 2.6).



Figura 2.6. Esquema de horno tiro natural. Fuente: ESENTERM (2014)

- **Hornos de Tiro Inducido.** Cuando las obstrucciones al flujo de gases de combustión producen una condición de tiro positivo (presión mayor que la atmosférica) en alguna sección del horno, es necesario el empleo de un ventilador para crear tiro y mantener la presión del horno en valores negativos. El ventilador induce el flujo de aire de combustión y posibilita la salida de los productos gaseosos de combustión. Éste se ubica normalmente entre el tope de la sección de convección y a la entrada de la chimenea (Ver Fig. 2.7).



Figura 2.7. Esquema de horno tiro inducido. Fuente: ESENTERM (2014)

- **Hornos de Tiro Forzado.** El aire de combustión es suministrado bajo presión positiva, por un ventilador de tiro forzado. La cámara de combustión, la zona convectiva y el resto del calentador deben ser mantenidos a presión negativa mientras que los gases de combustión deben ser desalojados por el efecto de la chimenea (Ver Fig. 2.8).



Figura 2.8. Esquema de horno tiro forzado. Fuente: ESENERM (2014)

- **Hornos de Tiro Forzado e Inducido.** Estos hornos están dotados de ventiladores de tiro forzado e inducido. El ventilador de tiro inducido permite mantener el horno a presión negativa y remover los gases de combustión. La mayoría de los hornos equipados con precalentadores de aire son de este tipo (Ver Fig. 2.9).

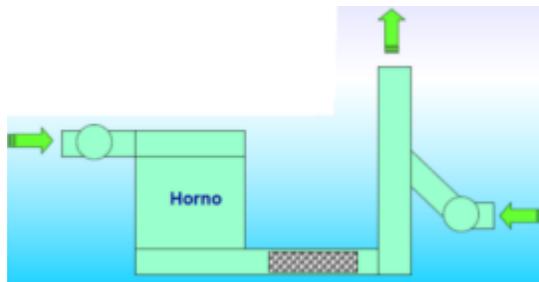


Figura 2.9. Esquema de horno tiro forzado e inducido. Fuente: ESENERM (2014)

Quemadores

Un quemador es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable de tamaño y forma predecible. El quemador posibilita la utilización controlada del calor liberado por el proceso de combustión.

Las funciones de un quemador son:

- Posicionar la llama en una zona útil para la liberación de calor.

- Iniciar y mantener la ignición.
- Mezclar el combustible con el aire.
- Volatilizar los combustibles sólidos y líquidos.
- Suministrar el combustible y el aire a las velocidades y presiones adecuadas para facilitar las funciones descritas de manera segura y cualquier nivel de requerimiento térmico del proceso.

La Fig. 2.10 hace referencia a los componentes de un quemador:

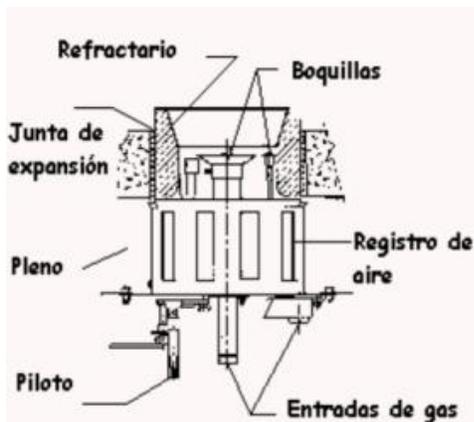


Figura 2.10. Componentes de un quemador. Fuente: ESENTERM (2014)

Las boquillas, lanzas o anillos para gas permiten la mezcla del gas con la corriente de aire. La Fig. 2.11 muestra esquemáticamente los tipos de quemadores a gas.

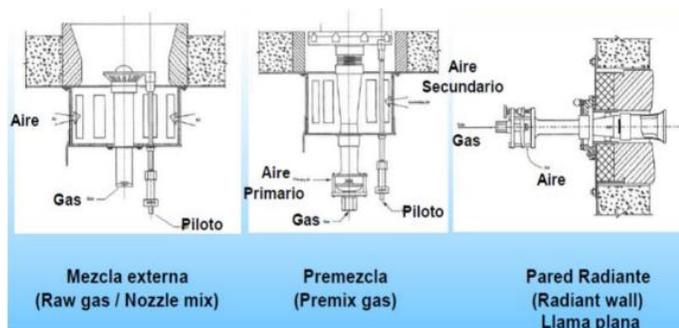


Figura 2.11. Tipos de quemadores a gas. Fuente: ESENTERM (2014)

2.2.7. Mantenimiento

Los procesos industriales tienen como visión el optimizar costos en instalaciones, sistemas industriales y mano de obra para así obtener la rentabilidad, la calidad y cantidad esperada, la alta productividad se logra con el uso racional y eficaz de la compañía para lograr un beneficio económico tangible, dentro de esto se encuentra el mantenimiento de las máquinas e instalaciones en condiciones óptimas de funcionamiento. La labor primordial de mantenimiento es asegurar la mayor disponibilidad de los sistemas técnicos, previniendo o prediciendo cualquier tipo de evento que pueda alterar su óptimo desempeño. Por lo que puede definirse como el conjunto de acciones destinadas a mantener o reacondicionar un componente, equipo o sistema, en un estado en el cual sus funciones pueden ser cumplidas. Entendiendo como función cualquier actividad que un componente, equipo o sistema desempeña, bajo el punto de vista operacional. [7].

2.2.8. Mantenimiento Predictivo

Es una técnica que utiliza herramientas y técnicas de análisis de datos para detectar anomalías en el funcionamiento y posibles defectos en los equipos y procesos, de modo que puedan solucionarse antes de que sobrevenga el fallo. Al igual que el análisis predictivo permite anticipar, por ejemplo, los movimientos de los mercados o las fluctuaciones en la demanda de energía, el mantenimiento predictivo utiliza el análisis de datos para adelantarse a los fallos de los sistemas. [8].

2.2.9. Mantenimiento Preventivo

Es la acción de revisar de manera sistemática y bajo ciertos criterios a los equipos o activos que conforman los procesos. Se realiza en equipos en condiciones de funcionamiento, incluye inspecciones regulares, lubricación, limpieza, calibración y reemplazo de componentes según las

recomendaciones del fabricante o intervalos establecidos, guiado por el desarrollo e implementación de un plan integral de mantenimiento. [8].

2.2.10. Mantenimiento Correctivo

Es una actividad que se realiza después de la ocurrencia de una falla. El objetivo de este tipo de mantenimiento consiste en llevar los equipos después de una falla a sus condiciones originales, por medio de restauración o reemplazo de componentes o partes de equipos, debido a desgastes, daños o roturas, este tipo de mantenimiento se puede planificar, pero no programar debido a que ocurre de forma imprevista. [8].

2.2.11. Plan de Mantenimiento

Es un documento que indica cuales son los trabajos que se deben ejecutar en los equipos para mantenerlos en condiciones operacionales. Incluyen información acerca del número de la orden de trabajo, ubicación del equipo, frecuencia, personal, duración y ejecución de la actividad tanto estimada como real, responsable de las acciones de mantenimiento y observaciones. [9].

2.2.12. Tareas de Mantenimiento

Son actividades que indican qué acción, o conjunto de acciones, se supone que debe realizar un técnico de mantenimiento para completar una orden de trabajo. [10]. Se asignan diferentes tareas de mantenimiento en función del tipo de equipo que necesita mantenimiento. Los tipos de tareas de mantenimiento son:

- Tarea de búsqueda de fallas: Utilizadas en el mantenimiento centrado en la confiabilidad, revelan fallas ocultas o fallas potenciales. Una tarea de detección de fallas es parte de un programa integral de mantenimiento de rutina. Afecta a los componentes de un sistema que no se ven fácilmente

durante una inspección de rutina o que no se abordan durante el trabajo de mantenimiento preventivo.

- Inspección: Como componente clave de un programa de mantenimiento, las inspecciones incluyen tareas que verifican el estado del equipo y determinan qué herramientas, materiales y mano de obra se requieren para repararlos. Muchas inspecciones deben llevarse a cabo mientras una línea de producción está funcionando o el equipo está funcionando. Las inspecciones no pueden interrumpir los procesos de fabricación o producción.
- Tarea de descarte programada: Implica reemplazar una pieza o componente específico de un equipo a intervalos de tiempo regulares, independientemente de la calidad de su desempeño. Las empresas de fabricación u otras empresas que ejecutan líneas de producción programarán tareas de descarte en piezas clave de equipos y máquinas.
- Tarea de restauración programada: es una revisión completa de maquinaria o equipo que se realiza en un programa predeterminado, independientemente de la condición del equipo. Están diseñados para devolver un equipo o maquinaria a su estado original de funcionamiento. A diferencia de las tareas de mantenimiento de rutina, no se centran en la reparación, inspección o limpieza para simplemente mantener las cosas funcionando y en buen estado de funcionamiento.

2.2.13. Métodos de Inspección

Consiste en definir la forma en que debe inspeccionarse un componente mecánico o eléctrico. [8]. Estos pueden ser:

- Visual: Para detectar fugas, niveles de aceite, suciedad, entre otras.
- Auditivo: Para oír ruidos, golpes, entre otras.
- Ensayos no destructivos.

- Uso de accesorios simples de medición: como reglillas para detectar rectitud, desnivel.
- Uso de plantillas: para determinar deformaciones en piezas, irregularidades.
- Uso de herramientas simples de medición: como compas, cinta métrica, vernier.

2.2.14. Sistema

Es un conjunto organizado de procesos donde la tecnología, el talento, la información, los equipos y las materias primas conFiguran productos que serán comercializados una vez se terminen de fabricar. [7].

2.2.15. Falla

Ocurrencia en un ítem que impide su funcionamiento. Se dice que un equipo ha fallado cuando no puede o ha perdido la capacidad para cumplir su objetivo a satisfacción, ya sea en cantidad, calidad u oportunidad. [7].

2.2.16. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

Consiste en la aplicación de una serie de pasos apoyados en la utilización de diversas herramientas para alcanzar la confiabilidad a nivel componente, sistema y planta, con la finalidad de lograr y mejorar la productividad de la central. La Fig. 2.12 muestra el diagrama de flujo del MCC, el cual consta de tres fases. La primera fase la integran la recopilación de información, después se analiza la situación actual del sistema dividiendo el proceso general de producción en subprocesos y, por último, se selecciona el equipo que estará bajo análisis del MCC mediante una evaluación para identificar el equipo importante que integra al subsistema.

La segunda fase esta direccionada al equipo importante en donde se incluye el análisis de modo y efecto de fallas (AMEF), el cual permite identificar las funciones del equipo, el modo de falla y las causas de la misma las cuales están asociadas a otra etapa de la fase que consiste en la clasificación del impacto de la falla; continuando con el AMEF se identifican los efectos de las fallas y finaliza con el análisis de los componentes críticos que tiene por objetivo clasificar los riesgos como alto, medio o bajo. Los riesgos clasificados como alto y medio, continúan con análisis de causa raíz para descubrir las causas que originan las fallas e identificando los elementos asociados. Y, por último, la tercera fase corresponde a la selección de la estrategia de mantenimiento [11].

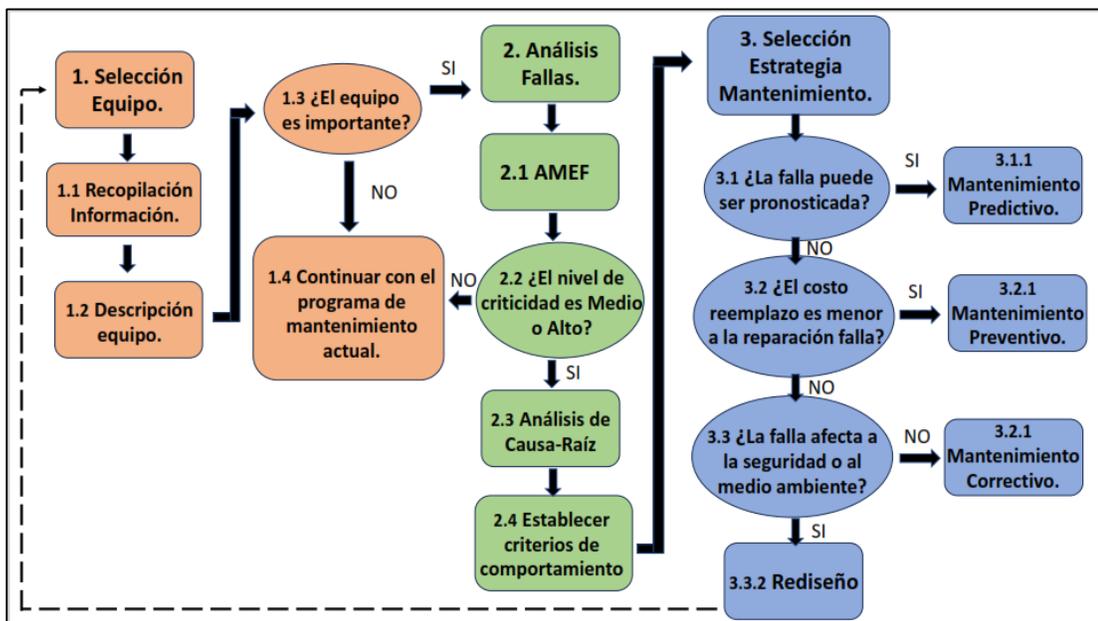


Figura 2.12 Diagrama de flujo para la realización del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC). [11].

2.2.17. Análisis de Fallas

Es un proceso de sucesivas acciones de integración y desintegración de eventos, en el cual se aplican razonamientos cuantitativos y lógicos logrando determinar a cabalidad el qué, cómo, y el por qué ocurrió la falla. [10].

2.2.18. Confiabilidad R(t)

Es la probabilidad de que un equipo o sistema desempeñe en forma satisfactoria la función que le fue asignada, bajo ciertas condiciones de uso, durante un intervalo de tiempo dado $[0,t]$. (Ver ecuación 2.1):

$$R_{(t)} = Prob(T > t) \quad (\text{Ec. 2.1})$$

2.2.19. Confiabilidad operacional

La Confiabilidad Operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, para optimizar la gestión, planeación, ejecución y control de la producción industrial. La Confiabilidad Operacional lleva implícita la capacidad de una instalación (procesos, tecnología, gente), para cumplir su función o el propósito que se espera de ella, dentro de sus límites de diseño y bajo un específico contexto operacional.

2.2.20. Herramientas para mejorar la Confiabilidad

La confiabilidad como metodología de análisis debe soportarse en una serie de herramientas que permitan evaluar el comportamiento del activo de una forma sistemática a fin de poder determinar el nivel de operatividad, la cuantía del riesgo y las demás acciones de mitigación que se requieren, para asegurar su integridad y continuidad operacional. Son múltiples las herramientas de que se sirve la confiabilidad con el fin de formular planes estratégicos para lograr

la excelencia en las actividades de mantenimiento. Las seis que se muestran en la Fig. 2.13, a continuación, son las más utilizadas:

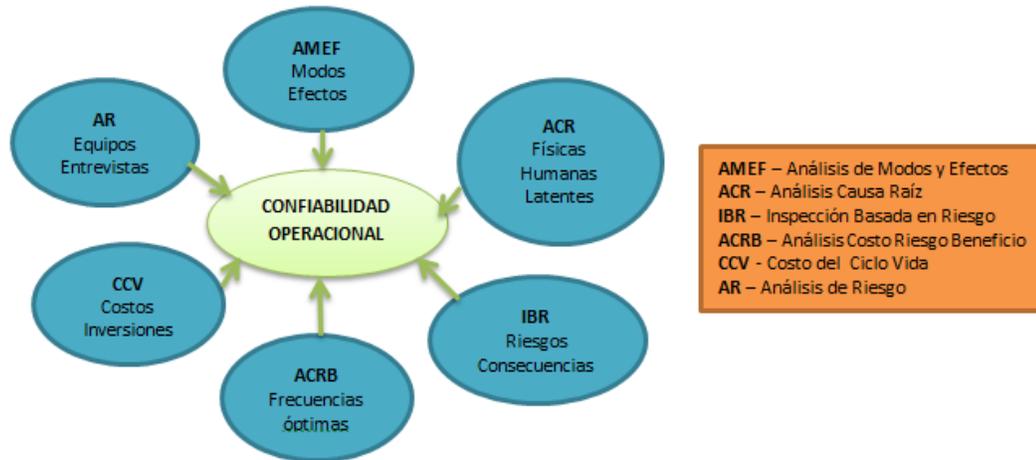


Figura 2.13. Herramientas para mejorar la Confiabilidad. Fuente: Espinosa, Fernando (2011).

2.2.21. Análisis de Riesgo

Es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

A continuación, en la Fig. 2.14 se especifica los pasos a seguir para realizar efectivamente el análisis de riesgo.



Figura 2.14. Diagrama de flujo del análisis de riesgo. Fuente: Supermetanol, C.A.

Beneficios del análisis de riesgo:

- Direccional prioridades para la asignación de recursos y toma de decisiones en la organización:
 - Proyectos de inversión.
 - Gestión de inventario.
 - Estrategias de Mantenimiento.
 - Estrategias de Confiabilidad.
 - Detectar oportunidades de mejora del desempeño.
- Controlar riesgos que podrían generar un alto impacto en el negocio.

Estructura para la elaboración del análisis de riesgo:

1. **Definir Facilitador de la metodología.** Personal encargado de liderar el proceso de análisis de riesgo a implementar.

2. **Conformación de equipo multidisciplinario.** Representa el equipo natural de trabajo que conformará el proceso de análisis; se requerirá participación de personal de cada una de las siguientes disciplinas: Seguridad, Ambiente, Mantenimiento, Producción, Procesos e Ingeniería.
3. **Revisión y Definición de Equipos.** A partir del listado total de equipos estáticos a evaluar, se dividirán de acuerdo a las áreas en donde encuentran ubicados y de este modo se desarrollará el análisis por áreas de proceso.
4. **Inducción.** Se realizará al equipo multidisciplinario una inducción referente al proceso de análisis de riesgo y las mejores prácticas adecuadas a éste. Asimismo, se mostrará la matriz de riesgo actual de la organización.
5. **Evaluación del riesgo.** Se evaluará el impacto que pueda generar cada uno de los equipos a nivel de: daños personales, ambiente, equipos y materiales.
6. **Resultados.** Distribución de los equipos en la Matriz (Matriz de riesgo con la calificación del riesgo asociado a cada activo analizado) y generar lista jerarquizada de equipos.

2.2.22. Matriz de criticidad Supermetanol.

Una matriz de criticidad constituye una herramienta de control y de gestión normalmente utilizada para identificar las actividades (procesos y productos) de una empresa, el tipo y nivel de riesgos inherentes a estas actividades y los factores exógenos y endógenos relacionados con estos riesgos (factores de riesgo). Se establecen rangos relativos para representar las probabilidades y/o frecuencias de ocurrencia de eventos y sus consecuencias. Ambas magnitudes, frecuencias y consecuencias, se registran en la matriz, que es

diseñada en base a un código de colores que denotan la menor o mayor intensidad del riesgo relacionado con la instalación, sistema, equipo o dispositivo bajo análisis.

En Supermetanol para realizar el análisis de riesgo de los activos, se emplea la matriz gerencial (Ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Matriz de criticidad Supermetanol. Fuente: Supermetanol, C.A.

		ÍNDICE DE RIESGO				
		1	2	4	6	8
SEVERIDAD	40	B16	B32	A64	A96	A128
	10	C8	B16	B32	A48	A64
	4	D4	C8	B16	B24	B32
	2	D2	D4	C8	C12	B16
	1	D1	D2	D4	C6	C8
		1	2	4	6	8
		PROBABILIDAD				

2.2.22.1 Consideraciones generales para el Análisis de Riesgo

- Este estudio es una técnica semicuantitativa del riesgo soportada principalmente en el concepto de la riesgo total por riesgo, entendido como el resultado de multiplicar la frecuencia de un fallo por las consecuencias del mismo. Con esto, se genera un modelo de riesgo

definido por la ecuación Ec. 2.2 y luego se utiliza la matriz de criticidad de Supermetanol (Tabla 2.1).

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

$$\textit{Consecuencia} = (\textit{IDR Daños personales} + \textit{IDR Ambiente} + \textit{IDR Equipos/Materiales}) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde

IDR = Índice de riesgo

- Para el análisis, se utiliza información técnica de los equipos sometidos a estudio, como la pérdida de producción generada por la falla del equipo y los gastos de mantenimiento, cantidad de fallas, historiales de trabajo, de la base de datos cargada en el Sistema de Gestión de Activos Meridium e información recolectada mediante entrevistas con el personal conocedor del área.

2.2.22.2 Nivel de Consecuencias o impacto

Las consecuencias se refieren a los impactos negativos producidos o que se pueden producir en caso de la materialización del riesgo. Se puede estimar en función de los datos obtenidos estadísticos del comportamiento de los equipos, valores referenciales u opinión de expertos. Las categorías de consecuencias a ser consideradas en el análisis, han sido definidas con base en el requerimiento de la aplicación para la medición del impacto de un evento no deseado en Supermetanol, C.A.

Las Consecuencias a considerar en la matriz son: Daños personales, Ambiente y Equipos/Materiales. Los rangos para determinar el nivel de las consecuencias, se muestran en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Categorías Consecuencia. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

SEVERIDAD	DAÑOS PERSONALES			AMBIENTE	EQUIPOS/MATERIALES		ÍNDICE DE RIESGO
	ASP	ACP	F	ESCAPE, EMISIÓN O DERRAME	DAÑOS (MMUSD)	PÉRDIDA PRODUCCIÓN	
CATASTRÓFICO	-	-	≥ 1	Restauración del daño ambiental en más de 30 días y posible interrupción operacional.	>3	≥5 días	16
MAYOR	-	> 1	0	Restauración del daño ambiental entre 7 - 30 días.	0,5 – 3,0	1 día - 5 días	8
SERIO	> 1	1	0	Restauración del daño ambiental entre 3 - 6 días.	0,1 - 0,5	8 horas – 1 día	4
MODERADO	1	0	0	Restauración del daño ambiental en menos de 3 días.	0,01 - 0,1	Hasta 8 horas	2
LEVE	0	0	0	No genera daños al ambiente.	< 0,01	0	1

Donde:

ASP: Accidente(s) sin pérdida de tiempo.

ACP: Accidente(s) con pérdida de tiempo.

F: Fatalidad o inhabilitación definitiva para laborar.

Una vez asignados los valores de las consecuencias, se procede a evaluar si existen factores de mitigación de riesgo que permitan disminuir el

nivel de consecuencias. Para ello se indica si existen opción de proceso o dispositivos de seguridad que permitan mitigar las consecuencias, como se muestra en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Factor de Mitigación en Seguridad y Ambiente. Fuente: Supermetanol, C.A.

Condición	Respuesta	Factor de Mitigación
Existe opción de proceso (Flexibilidad/Maniobra Operacional) o dispositivos de seguridad que permita mitigar las consecuencias.	SI	$CO_{FRSA} = CO_{SA} - 1$
	NO	$CO_{FRSA} = CO_{SA}$

Donde:

CO_{FRSA} : Consecuencias por Seguridad y Ambiente con Factor de Mitigación de Riesgo aplicado.

CO_{SA} : Consecuencias por Seguridad y Ambiente.

El siguiente paso es evaluar si existen factores de mitigación de riesgo que permitan disminuir el nivel de consecuencia de un equipo. Para ello se indica si existe equipo de respaldo que permitan mitigar las consecuencias de la ocurrencia de un evento no deseado, como se muestra en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Factor de Mitigación en Gastos y Producción. Fuente: Supermetanol, C.A.

Condición	Respuesta	Factor de Mitigación
Existe equipo de respaldo que permita mitigar las consecuencias de la ocurrencia de un evento no deseado.	SI	$CO_{FRGP} = CO_{GP} - 1$
	NO	$CO_{FRGP} = CO_{GP}$

Donde:

CO_{FRGP}: Consecuencias por Gastos y Producción con Factor de Mitigación de Riesgo aplicado.

CO_{GP}: Consecuencias por Gatos y Producción.

2.2.22.3 Nivel de probabilidad

Esta categoría representa el número de ocurrencia de fallas del activo en un tiempo determinado. Para un riesgo concreto, el nivel de frecuencia se puede estimar en función de los datos obtenidos estadísticos del comportamiento de los equipos, valores referenciales u opinión de expertos. Al igual que para el caso de las consecuencias, la categoría de Frecuencia de Fallas ha sido normalizada a las descripciones mostradas en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Categoría frecuencia de fallas. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

1	2	4	6	8
El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada diez años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada cinco años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada dos años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido entre una y tres veces al año.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido más de tres veces al año.
< 0,2 veces por año	Entre 0,2 - 0,5 veces por año.	Entre 0,5 - 1 veces por año.	Entre 1 - 3 veces por año.	> 3 veces por año
Muy poco probable	Poco probable	Posible	Probable	Muy probable
PROBABILIDAD				

Se procede a calcular la Frecuencia de Fallas de los equipos principales, basado en un tiempo establecido, para luego ubicar el índice de riesgo del equipo bajo estudio. La Ecuación 2.4, fue la empleada para el cálculo de dicho valor.

$$f = \frac{N^{\circ} \text{ de Fallas}}{\text{Tiempo}} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

f: Frecuencia de fallas.

2.2.22.4 Niveles y Códigos de Riesgo de la Matriz

La Matriz de Riesgo Supermetanol está conformada por cuatro (4) niveles de riesgo en función de los cuales se establece la toma de decisiones y la definición de las políticas de cuidado de los equipos. La Tabla 2.6 hace referencia a tales niveles de riesgo:

**Tabla 2.6. Niveles de riesgo Matriz Supermetanol. Fuente:
Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.**

NIVEL	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DE RIESGO	ACCIÓN
1	BAJO	D	No requiere una investigación detallada. Documente evento a través de un análisis de falla elemental. Implemente acciones de mejoramiento continuo.
2	MEDIO	C	Iniciar medidas para reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.
3	ALTO	B	Debe tomarse acción para eliminar/reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.
4	CRÍTICO	A	Intolerable. Debe tomarse acción inmediata para eliminar/reducir substancialmente el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.

La Matriz de Criticidad planteada se expresa utilizando un código de tres o cuatro dígitos (Ej. B20 ó A120). El primer dígito, representa la diagonal de riesgo en la matriz (Crítico, Alto, Medio o Bajo). Los dígitos numéricos, representan el resultado de la multiplicación de las Consecuencias por Daños personales y Ambiente, Equipos/Materiales, por la Frecuencia de Fallas presentada en el equipo sometido a estudio. De acuerdo con ello, los niveles de riesgo de la matriz se jerarquizan en función de la diagonal donde se ubique el equipo analizado, como se indica en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7. Jerarquización de Niveles de riesgo en función de la diagonal de la Matriz. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

ÍNDICE DE RIESGO	NIVEL
A128	1
A96	
A64	
A48	
B32	2
B24	
B16	
C12	3
C8	
C6	
D4	4
D2	
D1	

La vista general de la Matriz de Criticidad de Supermetanol se observa en la Fig. 2.15.

SEVERIDAD	DAÑOS PERSONALES			AMBIENTE	EQUIPOS/MATERIALES			ÍNDICE DE RIESGO				
	ASP	ACP	F	ESCAPE, EMISIÓN O DERRAME	DAÑOS (MMUSD)	PÉRDIDA PRODUCCIÓN						
CATASTRÓFICO	-	-	≥ 1	Restauración del daño ambiental en mas de 30 días y posible interrupción operacional.	>10	≥5 días	16	B16	B32	A64	A96	A128
MAYOR	-	> 1	0	Restauración del daño ambiental entre 7 - 30 días.	4,5 - 9,9	1 día - 5 días	8	C8	B16	B32	A48	A64
SERIO	> 1	1	0	Restauración del daño ambiental entre 3 - 6 días.	0,76 - 4,4	8 horas - 1 día	4	D4	C8	B16	B24	B32
MODERADO	1	0	0	Restauración del daño ambiental en menos de 3 días.	0,05 - 0,75	Hasta 8 horas	2	D2	D4	C8	C12	B16
LEVE	0	0	0	No genera daños al ambiente.	< 0,05	0	1	D1	D2	D4	C6	C8
								1	2	4	6	8
BAJO	No requiere una investigación detallada. Documente evento a través de un análisis de falla elemental. Implemente acciones de mejoramiento continuo.						Definición	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada diez años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada cinco años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada dos años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido entre una y tres veces al año.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido más de tres veces al año.
MEDIO	Iniciar medidas para reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.						Frecuencia	< 0,2 veces por año	Entre 0,2 - 0,5 veces por año.	Entre 0,5 - 1 veces por año.	Entre 1 - 3 veces por año.	> 3 veces por año
ALTO	Debe tomarse acción para eliminar/reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.							Muy poco probable	Poco probable	Posible	Probable	Muy probable
CRÍTICO	Intolerable. Debe tomarse acción inmediata para eliminar/reducir substancialmente el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.							PROBABILIDAD				

Figura 2.15. Matriz de criticidad Supermetanol. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

2.2.23. Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF)

Es un conjunto de directrices, un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un proceso, equipo o sistema con el fin de priorizarlos y concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta. [11]. El objetivo del AMEF, es encontrar todas las formas o modos en los cuales puede fallar un activo dentro de un proceso, Para cumplir con esto se debe realizar el AMEF siguiendo la siguiente secuencia:

- Explicar las funciones de los activos del área seleccionada y sus respectivos estándares de funcionamiento.
- Definir las fallas funcionales asociadas a cada función del activo.
- Definir los modos de fallas asociados a cada falla funcional.
- Establecer los efectos asociados a cada modo de falla.

En la Tabla 2.8 se aprecia el formato para aplicar el AMEF.

Tabla 2.8. Formato para el Análisis de Modos y Efectos de Fallas (AMEF). [10].

Empresa	SISTEMA		Realizado por:	Fecha	HOJA 1/4
	SUBSISTEMA		Revisado por:	Fecha	
	EQUIPO				FUNCIÓN
1	A				

2.2.24. Análisis Causa Raíz (ACR)

Es un enfoque sistemático y estructurado para identificar las causas fundamentales de los problemas o incidentes en lugar de simplemente abordar los efectos superficiales. Esta metodología busca llegar a la raíz del problema y eliminarlo de forma efectiva. El análisis de causa raíz es una herramienta clave dentro del proceso de mejora continua y gestión de calidad. Su objetivo es encontrar las causas fundamentales que provocan los problemas y eliminarlas de forma efectiva para evitar que vuelvan a ocurrir. Al identificar y eliminar las causas raíz, las organizaciones pueden mejorar significativamente su eficiencia operativa, reducir costos y, lo que es más importante, mejorar la satisfacción del cliente.

El análisis de causa raíz aplicado al mantenimiento industrial es un proceso esencial para comprender por qué ocurren las fallas en los equipos y sistemas industriales. A diferencia del mantenimiento correctivo tradicional, que solo aborda las consecuencias de una falla, el análisis causa raíz busca identificar las causas fundamentales que originan el problema. Esta metodología permite a los equipos de mantenimiento abordar los problemas de manera más efectiva, evitando recaídas y mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los activos. [12].

El proceso del análisis de causa raíz en el mantenimiento tiene enfoque en las especificidades del mantenimiento. A continuación, las etapas clave del proceso:

- Identificación del Problema de Mantenimiento
- Recopilación de Datos de Mantenimiento
- Análisis de Datos de Mantenimiento
- Identificación de Causas Raíz de las Fallas
- Verificación de Causas Raíz

- Selección de Soluciones de Mantenimiento
- Implementación de Soluciones de Mantenimiento

El análisis de causa raíz en el mantenimiento requiere el uso de herramientas y técnicas específicas para identificar las causas fundamentales de las fallas y un diagrama de flujo del proceso (Ver Fig. 3). Algunas de las herramientas más comunes incluyen:

- Análisis de Pareto
- Árbol de Fallas
- Diagrama de Causa y Efecto.

2.2.25. Análisis de Pareto

Es una técnica formal útil cuando son posibles muchas acciones ante un determinado problema. En esencia, quien trata de solucionar el problema estima el beneficio que produciría cada acción y luego selecciona varias de las acciones más eficaces que proporcionan un beneficio total razonablemente cercano al máximo posible. [12].

2.2.26. Árbol de Fallas

Es un enfoque sistemático para identificar la causa principal de un evento, con el uso de un diagrama de árbol de fallas. También se puede ver como un marco que lo guía a una transformación sistemática de la información disponible en un plan de acción concreto. [12].

2.2.27. Diagrama de Causa y Efecto

Es una representación gráfica que muestra la relación cualitativa e hipotética de los diversos factores que pueden contribuir a un efecto o fenómeno determinado. [12].

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

A continuación, se procederá a describir el marco metodológico de esta investigación, el cual incluye el tipo de estudio, el diseño de investigación, las técnicas de recolección de datos y el análisis de los mismos.

3.1 Tipo De Investigación

3.1.1 Según nivel de conocimiento

El tipo de investigación realizada puede definirse como de tipo Descriptiva, partiendo de que el propósito principal de ésta fue describir, registrar, analizar e interpretar los eventos y situaciones que están directamente relacionadas con las fallas en los equipos estáticos de los sistemas que componen la Sección de Producción de Gas de Síntesis de Supermetanol.

3.1.2 Según la estrategia

Para resolver la problemática planteada se utilizó una investigación mixta, compuesta por:

- **Investigación documental.** Para la recolección y análisis de información relacionada con equipos, sus características y los métodos empleados, se realizó una revisión exhaustiva de diferentes fuentes. Esto incluyó la evaluación de opiniones, técnicas y datos complementarios necesarios para construir un marco teórico sólido. Las fuentes consultadas abarcaron una variedad de documentos, como manuales técnicos, esquemas, literatura académica, guías prácticas, investigaciones previas, regulaciones y otros materiales relevantes, muchos de ellos proporcionados por Supermetanol. Este proceso

- investigativo también contribuyó significativamente a la consolidación y expansión de los conocimientos existentes.
- **Investigación de Campo.** La cual facilitó la obtención de datos esenciales de manera directa desde el sitio específico de interés. Se centró en comprender cómo operan y en qué estado se hallan los equipos estáticos que forman parte de la Sección de Producción de Gas de Síntesis. Durante este proceso, fue posible identificar las verdaderas necesidades físicas de los equipos y, a su vez, permitió elaborar un diagnóstico detallado y fiable del entorno operativo.

3.1.3 Según su propósito

El propósito de la investigación se clasificó como **Aplicada**, basado en los resultados obtenidos, debido a que se hicieron propuestas de mejoras a los equipos estáticos críticos pertenecientes a los sistemas con mayores riesgos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis, para incrementar la confiabilidad, empleando bases teóricas para la resolución de problemas prácticos que se suscitaron en la empresa.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población estuvo constituida por todos los equipos estáticos pertenecientes a la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

3.2.2 Muestra

La muestra estudiada estuvo conformada por los dos (2) equipos que resultaron críticos a partir de la matriz de criticidad aplicada en la jerarquización de los equipos de la sección estudiada.

3.3 Técnicas de Investigación

Para elaborar el presente trabajo se recolectó una serie de datos primarios concernientes a las actividades de planificación y ejecución del mantenimiento, igualmente se realizó una investigación bibliográfica, así se construyó la base necesaria para proponer mejoras ante la problemática en estudio. Para llevar a cabo lo antes expuesto, se aplicaron las siguientes técnicas:

3.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente sección, se describen las técnicas a emplear en el desarrollo de las actividades planteadas para el alcance de los objetivos de este trabajo.

Observación directa

La realización de visitas guiadas a la sección de producción de gas de síntesis permitió recopilar datos de primera mano y más precisos sobre el área de estudio. A través de la toma de fotografías y videos, se documentó de manera detallada el estado actual de los equipos y las instalaciones, lo que fue fundamental para un diagnóstico certero de la situación.

Entrevistas no estructuradas

Mediante esta técnica se llevaron a cabo entrevistas informales y espontáneas con el personal de la sección de producción de gas de síntesis para recopilar información técnica relevante para el desarrollo del proyecto.

3.3.2. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Inmediatamente después de tener toda la información, se usaron las siguientes técnicas de análisis para la clasificación, sistematización y análisis de la información:

Elaboración de gráficas, Tablas y figuras

Esta técnica implicó la generación de Tablas, gráficos y figuras que permitieron evaluar el desempeño de la sección de producción de gas de síntesis. Estas representaciones visuales facilitaron la comprensión, interpretación y análisis de los resultados obtenidos.

Análisis de Riesgo

Se empleó la matriz de Supermetanol para clasificar y jerarquizar los equipos estáticos críticos de la sección de producción de gas de síntesis, considerando su impacto en las operaciones, la seguridad y el medio ambiente. Esta herramienta permitió priorizar los equipos según su nivel de riesgo.

Análisis de modo y efecto de fallas (AMEF)

Esta técnica se utilizó para analizar en detalle las funciones de los equipos estáticos críticos de la sección de producción de gas de síntesis. Se identificaron las posibles fallas asociadas a cada función y se determinaron los modos en que podrían ocurrir estas fallas, así como sus consecuencias en el proceso.

Análisis causa raíz (ACR)

Para el uso de esta técnica se utilizó el árbol lógico de fallas, donde inicialmente se colocó el problema de cada equipo crítico de la sección de producción de gas de síntesis, sus modos de falla y de esta forma se determinó sus raíces físicas, humanas y latente, para con ello determinar el origen de cada falla.

3.4 Etapas de la Investigación

Este trabajo requirió el desarrollo sistemático de las etapas descritas a continuación:

Etapas I: Revisión bibliográfica.

Se llevó a cabo una exhaustiva investigación documental referente a los equipos estáticos de la sección de producción de gas de síntesis. La revisión de manuales técnicos suministrados por la empresa, complementada con la recolección de datos in situ y entrevistas abiertas al personal operativo, permitió caracterizar el funcionamiento de los equipos y establecer una línea base para el diagnóstico del sistema.

Etapas II: Descripción del contexto operacional de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

Se conformó un equipo de trabajo especializado y se llevó a cabo una evaluación exhaustiva de los equipos en la Sección de Producción de Gas de Síntesis (4100), como el horno reformador, diversos intercambiadores de calor, calderas, chimenea y tambores, siendo un total de dieciocho (18) equipos. Mediante observación directa, entrevistas a personal técnico y operativo, y análisis de variables de proceso, se determinó el estado actual de los activos, considerando tanto su contexto operacional como las condiciones de diseño y operación.

Etapas III: Jerarquización de los equipos estáticos por medio de una matriz de criticidad.

Se llevó a cabo un análisis técnico detallado por parte del equipo natural de trabajo (ENT), mediante el cual se clasificaron los equipos de la sección de producción de gas de síntesis según su riesgo. Este estudio permitió identificar

aquellos activos que requerían una evaluación más profunda, resultando el horno reformador H-4101 y el rehervidor E-4103 los seleccionados, con el objetivo de prevenir fallas, mejorar su estado y optimizar el funcionamiento de los sistemas involucrados. Para ello, se empleó la matriz de Supermetanol, una herramienta que permite una evaluación cuantitativa basada en múltiples criterios.

Etapa IV: Determinación de las causas de las fallas a los equipos estáticos críticos por medio de un AMEF.

Se realizó un análisis detallado de los modos de falla y efectos potenciales (AMEF) en los equipos críticos de la sección de producción de gas de síntesis. A partir del contexto operacional, se determinó la función de cada equipo y se identificaron las posibles fallas, sus causas y sus consecuencias en el proceso productivo. Para ello, se utilizó un formato estructurado que permitió recopilar toda la información relevante, tal como se muestra en la Tabla 2.8.

Etapa V: Identificación de las raíces físicas, humanas y latentes a los equipos estáticos críticos por medio de un ACR.

Para identificar las raíces físicas, humanas y latentes se utilizó el análisis causa raíz con el fin de encontrar las causas verdaderas que originan las fallas más críticas de los dos equipos críticos de la sección, se aplicó la técnica del árbol lógico de fallas, esto para elevar el nivel de comprensión del problema estudiado, determinándose así las posibles causas, las cuales fueron variadas tanto para el horno reformador como para el rehervidor, dicha técnica requirió la conformación de un equipo multidisciplinario, con competencia en las áreas de mantenimiento operacional, confiabilidad, seguridad industrial, ambiente e higiene ocupacional, el cual facilitó la recopilación de información asociada a las evidencias del evento y las posibles causas de la falla a partir de entrevistas no estructuradas. Todo esto con la finalidad de buscar acciones específicas

que ayuden a mitigar las fallas recurrentes en estos equipos y de igual manera contribuir con las propuestas de mejoras para el manteniendo.

Etapas VI: Propuesta de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

En esta etapa se establecieron las propuestas de mejoras del comportamiento operacional de los equipos estáticos críticos de la sección de producción de gas de síntesis, que permitirán mitigar las fallas recurrentes y obtener el mayor aprovechamiento del equipo, para así ayudar a incrementar la productividad.

Etapas VII: Redacción y presentación del trabajo de grado.

En esta etapa se realizó la redacción del trabajo final, en el cual se explicó todo el proceso llevado a cabo para la realización de las etapas previas de manera concreta y objetiva, tomando en consideración las normas de redacción, transcripción, estilo, organización y reglas de presentación del trabajo propiamente dicho, de acuerdo con las normas UDO.

CAPÍTULO IV.

DESARROLLO DEL PROYECTO.

4.1 Descripción Del Contexto Operacional De La Sección De Producción De Gas De Síntesis (Sección 4100).

Las circunstancias en las cuales se espera que opere un activo físico o sistema es lo que representa el contexto operacional. Para el desarrollo de este estudio se especificaron las características de operación de cada equipo a partir de la revisión de los manuales de funcionamiento y operación, así como también la condición actual de cada uno.

A partir de la estructuración del Equipo Natural de Trabajo (ENT), se realizaron una serie de entrevistas no estructuradas y reuniones para desarrollar este trabajo.

4.1.1 Estructuración del Equipo Natural de Trabajo (ENT)

En la mayoría de las empresas, el equipo natural de trabajo está integrado por profesionales especializados en el mantenimiento de sistemas y equipos, un experto en inspecciones de equipos, un experto de las normativas de seguridad en el lugar de trabajo (SIAHO), un especialista en procesos con una perspectiva integral de los sistemas, un especialista en la esfera productiva, un experto en la gestión operativa y un experto en Confiabilidad. En el caso de este trabajo quedo conformado como se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. Equipo Natural de trabajo. Fuente: Propia

Cargo	Número de personas
Gerente de Confiabilidad Operacional	1
Confiabilidad de Parada de Planta	1
Ingeniero de Proceso	1
Confiabilidad de Equipos estáticos	2
Control de Procesos	1
Operaciones	1
Ingeniero de Procesos	1
Planificador de Mantenimiento	2
Pasante	1
Total:	11

4.1.2 Descripción general de la sección de producción de gas de síntesis

La sección 4100 de producción de gas de síntesis tiene como responsabilidad principal satisfacer la demanda de gas reformado de alta pureza para la Sección 4200, que se encarga de la compresión del gas de síntesis y la síntesis de metanol. El objetivo final de este proceso es la obtención de metanol refinado, un producto ampliamente utilizado a nivel mundial y con un alto valor comercial. El metanol se genera mediante la reformación del metano presente en el gas natural, en un reactor conocido como reformador. Este proceso se lleva a cabo utilizando vapor de agua y un catalizador a base de óxido de níquel, operando a altas temperaturas. Durante la síntesis de metanol en la Sección 4200, se produce gas de purga, el cual se utiliza como combustible en los quemadores del Horno Reformador (H-4101). Este horno también recibe gas combustible suministrado por Pequiven, así como gas proveniente del intercambiador E-4114. Estos tres componentes constituyen

las principales fuentes de combustión en el proceso de producción de gas de síntesis.

Una vez que se completa la combustión, los gases resultantes son dirigidos al ducto de recuperación de calor. Este ducto tiene como finalidad aprovechar la energía térmica residual, que se transfiere a varios intercambiadores de calor: E-4110, E-4111, E-4112A/B/C, E-4113 y E-4114. Estos equipos forman parte del tren de recuperación de calor y son responsables de generar gas de proceso que alimenta diversos equipos en la Sección 4000, así como vapor sobrecalentado que se envía a la Sección 4200. Además de su función en la producción de gas de síntesis, la Sección 4100 también genera vapor saturado de alta presión. Este vapor es enviado a la Sección 4200, donde el gas reformado pasa a través de la caldera (E-4120A/B) para ser enfriado en una primera etapa. Posteriormente, el gas se dirige al intercambiador E-4101A/B, donde se enfría nuevamente hasta alcanzar su punto de rocío, momento en el cual comienza a condensarse.

La mezcla resultante es posteriormente enfriada en el rehervidor a gas de la columna de refinación E-4102. La mezcla bifásica que sale de este equipo es separada en corrientes de gas y líquido en el tambor separador de gas reformado V-4103. Bajo parámetros operacionales dentro del rango de diseño, el condensado generado se utiliza como reemplazo en el saturador, mediante la bomba de condensado de proceso P-4101. Para ilustrar este proceso, en la Fig. 4.1 se presenta un esquema representativo de la Sección de Producción de Gas de Síntesis, que facilita la comprensión del flujo y las interacciones entre los distintos equipos involucrados.

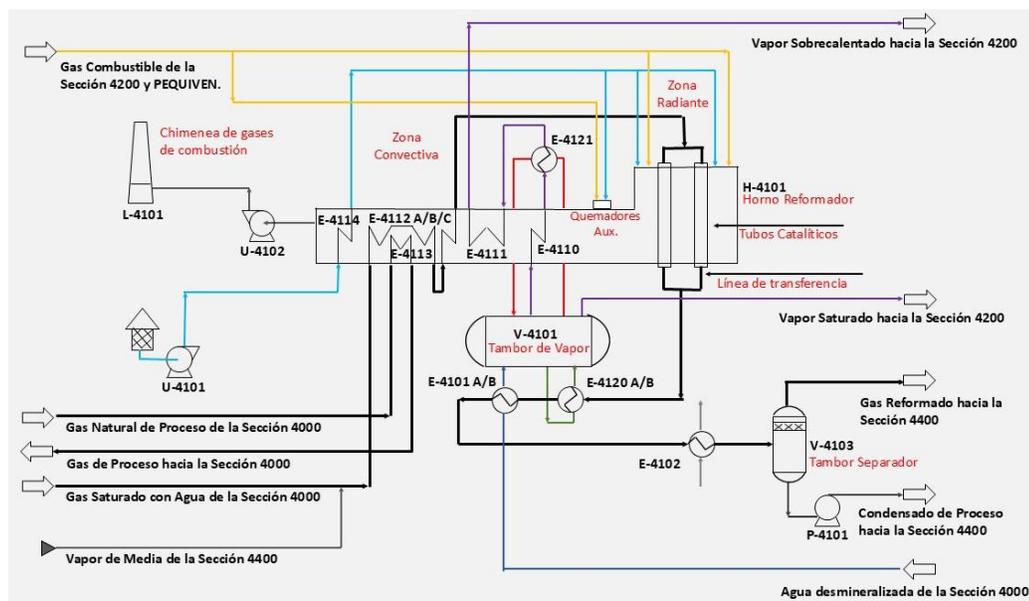


Figura 4.1. Esquema representativo de la Sección de Producción de Gas de Síntesis. Fuente: Supermetanol, C.A

4.1.3 Equipos estáticos pertenecientes a la sección de producción de gas de síntesis.

En la Tabla 4.2 se identifican los equipos pertenecientes a la sección de producción de gas de síntesis con su respectivo código (TAG) dispuesto en el esquema de la Fig. 4.1.

Tabla 4.2. Equipos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

Fuente: Supermetanol, C.A

Nº	TAG	EQUIPO
1	H-4101	Horno reformador.
2	E-4101A	Calentador De Agua De Alimentación.
3	E-4101B	Calentador De Agua De Alimentación.
4	E-4113	Pre calentador De Desulfuración.
5	E-4114	Pre calentador De Aire De Combustión.
6	E-4112A	Calentador de mezcla.
7	E-4112B	Calentador de mezcla.
8	E-4112C	Calentador de mezcla.

Continuación de la Tabla 4.2. Equipos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis. Fuente: Supermetanol, C.A

N°	TAG	EQUIPO
9	E-4110	Sobrecalentador de Vapor No.1.
10	E-4111	Sobrecalentador de vapor no.2.
11	E-4102	Rehervidor.
12	E-4103	Rehervidor.
13	E-4120A	Caldera de recuperación de calor del gas reformado.
14	E-4120B	Caldera de recuperación de calor del gas reformado.
15	E-4121	Atemperador de vapor.
16	V-4101	Tambor de vapor de alta presión.
17	V-4103	Tambor de separación de gas reformado.
18	L-4101	Chimenea de gases de combustión.

1) Horno Reformador

- **Descripción General**

El horno H-4101 (Fig. 4.2) constituye el equipo principal de la sección. Es una unidad de una sola celda radiante, diseñada y fabricada por KIRCHNER ITALIA S.p.a. en 1993, para procesar 64.257 kg/h de gas natural y 111.905 kg/h de vapor, para producir vía catálisis heterogénea y alta presión, 242.010 kg/h de gas reformado. El horno consta de una celda radiante vertical y una zona convectiva horizontal, en la cual se ubica un sobrecalentador de vapor N°1 (E-4110), un sobrecalentador de vapor N°2 (E-4111), un calentador de mezcla (E-4112 A/B/C), un precalentador de desulfuración (E-4113) y un precalentador de aire (E-4114).

La zona radiante, contiene 576 tubos (5,91 pulgadas OD y 45 pies de longitud efectiva) distribuidos en 8 filas, soportados cada uno de ellos de forma vertical. La celda posee 216 quemadores (ver Fig. 4.3) marca John Zink

Company, LLC de combustible dual (gas de refinería y gas de purga). La llama producida es de tipo descendente (“downfired”).



Figura 4.2. Horno Reformador. Fuente: Supermetanol, C.A

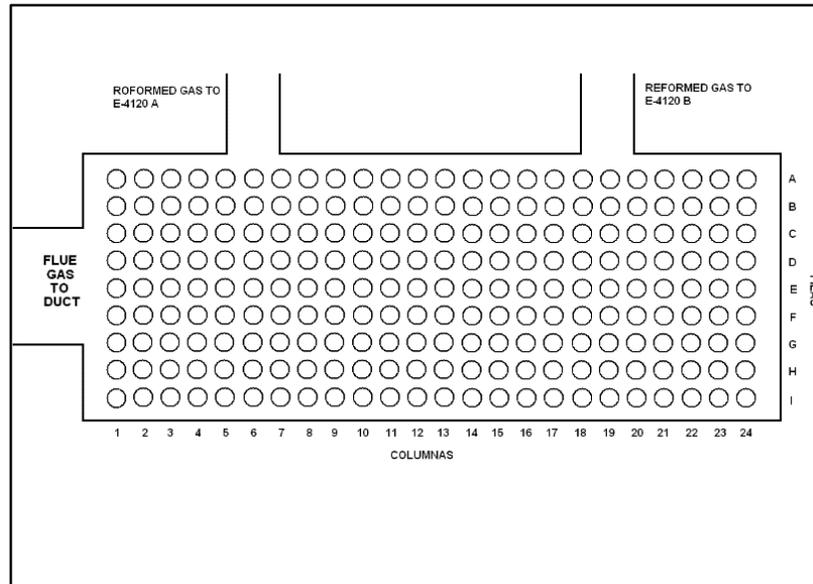


Figura 4.3. Esquema de los Quemadores del Horno Reformador. Fuente: Supermetanol, C.A

- **Inspecciones realizadas**

Durante los últimos diez años se han realizados diversas inspecciones, tanto en servicio como en paradas de planta, las cuales se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Total de inspecciones realizadas al horno H-4101 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones							
63							
Inspecciones programadas				Inspecciones no programadas			
48				15			
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Termografía	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Termografía
4	17	6	21	1	12	1	1

- **Condiciones actuales**

El horno reformador actualmente se encuentra en operación en condiciones normales. Las zonas convectiva y radiante presentan daños como deterioros, oxidación, agrietamiento y puntos calientes, los cuales han ocasionado numerosas fallas en el historial de operación.

Zona convectiva

Esta zona presenta pérdidas del sistema de protección de pintura y oxidación en las paredes externas (Fig. 4.4), grietas de material refractario en pasillos (Fig. 4.5). Asimismo, han surgido puntos calientes en las zonas de las paredes (Fig. 4.6), los cuales indican posible pérdida de capas de material refractario y del calafateo de las grietas adyacentes a las zonas reparadas.

Por otra parte, en la cara externa de las láminas del techo del horno, se observan daños de corrosión moderada como resultado de la combinación de altas temperaturas debido a la transferencia de calor que genera el desprendimiento del refractario.



Figura 4.4. Pared de la zona convectiva lado superior. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.5. Pasillo de zona convectiva entre E-4112A y E-4112B. Fuente: Supermetanol, C.A

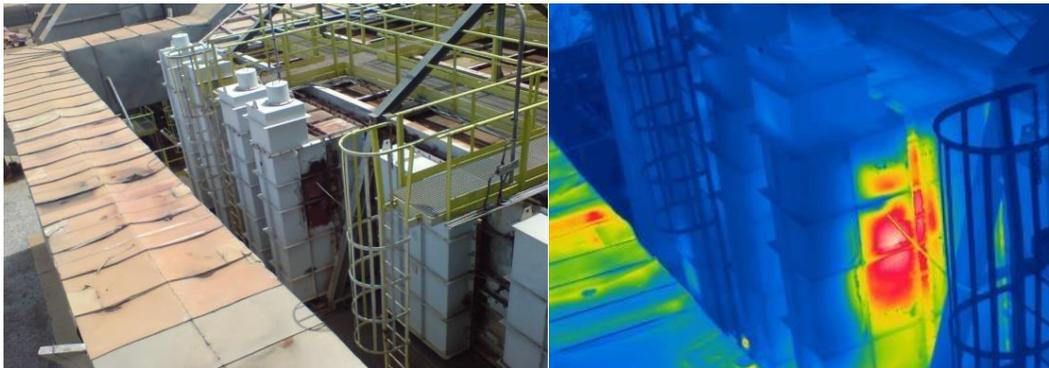


Figura 4.6. Pared de la zona convectiva lado norte. Fuente: Supermetanol, C.A

Zona radiante

Conocido como el hogar del horno, la zona radiante actualmente presenta condiciones óptimas en el techo, a diferencia de las paredes las cuales presentan desprendimiento y agrietamiento (Fig. 4.7) de módulos refractarios. Los quemadores presentan caídas de algunas cepas de fibra cerámica entre módulos y muflas de los quemadores (Fig. 4.8). Algunas mirillas presentan

desprendimiento de material (Fig. 4.9). El tubo catalítico número 64 presenta deformación (Fig. 4.10), originado por exceso en la temperatura de operación o incidencia de la llama del quemador en el tubo (Fig. 4.11), ocasionando esta deformación no deseada ya que pudiera ocasionar una fuga. Algunas secciones de los túneles presentan abombamiento (Fig. 4.12).



Figura 4.7. Agrietamiento del material refractario de pared oeste.

Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.8. Caída de cepas de fibra cerámica de quemadores. Fuente:

Supermetanol, C.A

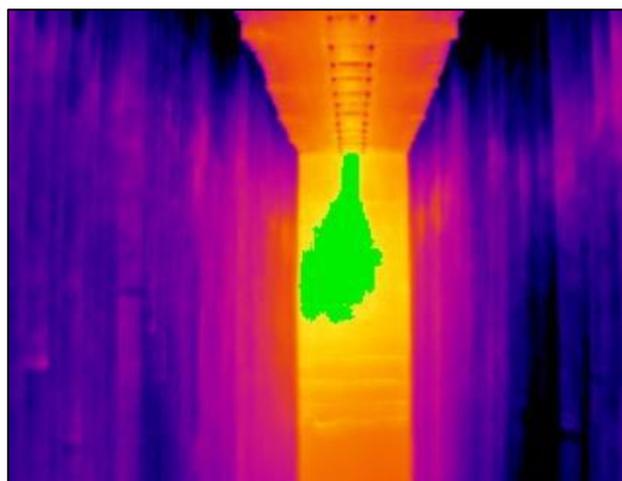


Figura 4.9. Desprendimiento de material en mirilla superior lado norte.

Fuente: Supermetanol, C.A



**Figura 4.10. Deformación del tubo catalítico número 64. Fuente:
Supermetanol, C.A**



**Figura 4.11. Incidencia de llama en tubos catalíticos. Fuente:
Supermetanol, C.A**



Figura 4.12. Abombamiento de paredes de túneles zona inferior. Fuente: Supermetanol, C.A

2) Calentadores de Agua (E-4101A/B).

- **Descripción general.**

Los calentadores E-4101A/B, son intercambiadores de calor de tipo carcasa y haz tubular, diseñados por Davy McKee Ltd en el año 1990. Forman parte del proceso de enfriamiento del gas reformado, posterior al proceso de

enfriamiento previo en la caldera E-4120A/B. Las características técnicas de los calentadores están especificadas en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4. Características técnicas de los calentadores de agua E-4101A/B. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas				
	E-4101A		E-4101B	
Número de Serial	E111A		E111B	
Servicio	Calentador de agua de alimentación de alta presión de caldera		Calentador de agua de alimentación de alta presión de caldera	
Año de fabricación	1992		1992	
Año de instalación	1993		1993	
Lado	Carcasa	Tubo	Carcasa	Tubo
Flujo	218.732 kg/h	222.846 kg/h	218.732 kg/h	222.846 kg/h
Temp. de operación de entrada	380 °C	110 °C	380 °C	110 °C
Temp. de operación de salida	168 °C	236 °C	168 °C	236 °C
Presión de operación	20.1 kg/cm ²	118 kg/cm ²	20.1 kg/cm ²	118 kg/cm ²
Corrosión Permisible (CA)	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm

- **Inspecciones realizadas.**

Durante los últimos diez años se han realizado un total de dos inspecciones a cada calentador, como se muestra en las Tablas 4.5 y 4.6.

Tabla 4.5. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4101A desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
2					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
2			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
1	1	-	-	-	-

Tabla 4.6. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4101B desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
2					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
2			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
1	1	-	-	-	-

- **Condiciones actuales**

Los calentadores E-4101A/B actualmente operan en condiciones óptimas, lo que se ratifica al no haber presentado fallas en su vida de operación. Al ser intercambiadores que están protegidos por sistema mecánicos de aislamiento, como lo son las chaquetas de protección mecánica, no se puede observar directamente el estado de los equipos a menos que se retire el aislamiento de ser requerido, sin embargo, se puede detallar corrosión leve en tornillería asociada a tapas (Figs. 4.13 y 4.15) y en estructura metálica del soporte (Fig. 4.14) y corrosión bajo aislamiento (Fig. 4.16).

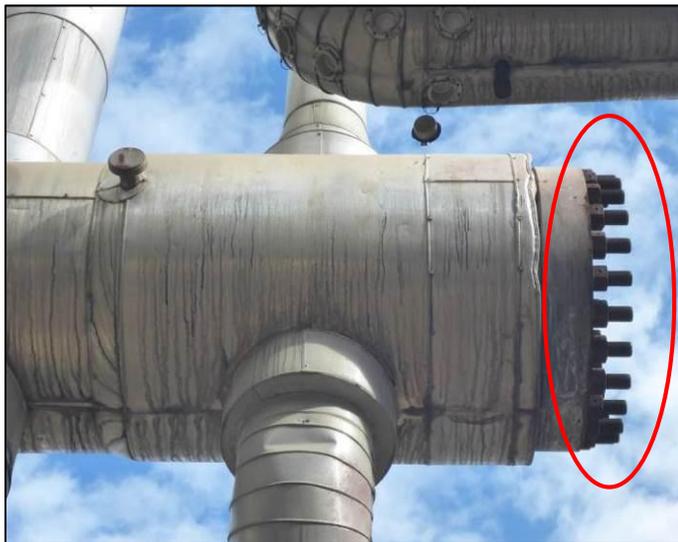


Figura 4.13. Corrosión leve en tornillería asociada a la tapa este. Abolladuras en el sistema de aislamiento del E-4101A. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.14. Corrosión leve en la estructura metálica de soporte del E-4101A. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.15. Corrosión leve en tornillería asociada a la tapa este y deterioro en el sistema de aislamiento del E-4101B. Fuente: Supermetanol, C.A

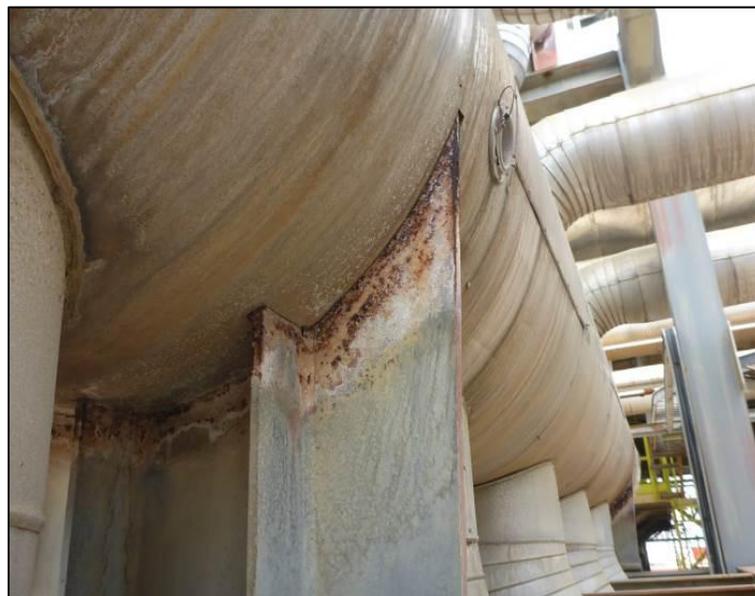


Figura 4.16. Señales de corrosión bajo aislamiento (CUI) en el E-4101B. Fuente: Supermetanol, C.A

3) Calentadores de Mezcla (E-4112A/B/C).

- **Descripción general.**

Los calentadores E-4112A/B/C, son intercambiadores de calor de tipo placas y serpentín, diseñados para precalentar mezcla de gas saturada con vapor, ubicados en la zona convectiva del horno reformador. Las características técnicas de los calentadores están especificadas en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Características técnicas de los calentadores de mezcla E-4112A/B/C. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas			
	E-4112A	E-4112B	E4112C
Fabricante	Davy MckeeLtd	Davy MckeeLtd	Davy MckeeLtd
Tipo de Intercambiador	Serpentín	Serpentín	Serpentín
Número de Serial	E303-1	E303-2	E303-3
Servicio	Calentador de alimentación mixta	Calentador de alimentación mixta	Calentador de alimentación mixta
Año de fabricación	1992	1992	1992
Año de instalación	1993	1993	1993
Flujo (serpentín)	201.551 Kg/h	201.561 Kg/h	201.561 Kg/h
Temp. de operación de entrada (serpentín)	238 °C	321 °C	404 °C
Temp. de operación de salida (serpentín)	321 °C	404 °C	538 °C
Presión de operación (serpentín)	24.90 kg/cm ²	24 kg/cm ²	23.4 kg/cm ²
Flujo (gas de combustión)	430.212 Kg/h	430.212 Kg/h	430.212 Kg/h

Continuación de la Tabla 4.7. Características técnicas de los calentadores de mezcla E-4112A/B/C. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas			
	E-4112A	E-4112B	E4112C
Temp. de operación de entrada (gas de combustión)	459 °C	548 °C	682 °C
Temp. de operación de salida (gas de combustión)	321 °C	477 °C	548 °C
Corrosión Permisible (CA)	1.5 mm	1.5 mm	1.5 mm

- **Inspecciones realizadas.**

En los últimos diez años se han realizado pocas inspecciones a los intercambiadores, las cuales se detallan en las Tablas 4.8, 4.9 y 4.10.

Tabla 4.8. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112A desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
1					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
1			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
1	-	-	-	-	-

Tabla 4.9. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112B desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
2					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
2			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
1	-	1	-	-	-

Tabla 4.10. Total de inspecciones realizadas al calentador E-4112C desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
3					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
3			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	-	1	-	-	-

- **Condiciones actuales.**

Los intercambiadores actualmente operan en condiciones normales, presentando leve deformación en placas tubulares intermedias (Fig. 4.17) debido a la dilatación en los tubos causada por la temperatura de operación, lo que genera un esfuerzo en las placas tubulares. A su vez presentan sedimentos (Fig. 4.18) tanto en las placas tubulares como en los tubos.



Figura 4.17. Deformación plástica de placa tubular intermedia del E-4112A. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.18. Sedimentos presentes en tubos y placa tubular del E-4112C. Fuente: Supermetanol, C.A

4) Precalentadores: de Desulfuración (E-4113) y de Aire de Combustión (E-4114).

- **Descripción general.**

El Precalentador de Desulfuración E-4113 fue diseñado y fabricado por Davy MckeeLtd en 1992, es del tipo tubular y calienta una mezcla de gas natural e hidrógeno (Ver Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Características técnicas del Precalentador de Desulfuración E-4113. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas		
	E-4113	
Fabricante	Davy MckeeLtd	
Tipo de Intercambiador	Tubular	
Número de Serial	E304	
Servicio	Precalentador de desulfuración de gas natural e hidrogeno.	
Año de fabricación	1992	
Año de instalación	1993	
Lado	Gas de combustión	Tubo
Flujo	430.212 Kg/h	399.320 Kg/h
Temp. de operación de entrada	396 °C	329 °C
Temp. de operación de salida	321°C	380 °C
Presión de operación	-	29.3 kg/cm ²
Corrosión Permisible (CA)	1.5 mm	1.5 mm

El Precalentador de Aire de Combustión E-4114 fue diseñado por Davy MckeeLtden 1992, es del tipo de placas y calienta una mezcla de aire para combustión (Ver Tabla 4.12).

Tabla 4.12. Características técnicas del Precalentador de Aire de Combustión E-4114. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas		
	E-4114	
Fabricante	Davy MckeeLtd	
Tipo de Intercambiador	Placas	
Número de Serial	E305	
Servicio	Precalentador de aire de combustión	
Año de fabricación	1992	
Año de instalación	1993	
Lado	Gas de combustión	Tubo
Flujo	430.212 Kg/h	399.320 Kg/h
Temp. de operación de entrada	321 °C	22 °C
Temp. de operación de salida	161 °C	315 °C
Presión de operación de entrada	-	350 mm w.c
Presión de operación de salida	-	150 mm w.c
Corrosión Permisible (CA)	1.5 mm	1.5 mm

- **Inspecciones realizadas.**

Durante los últimos diez años se han realizado diversas inspecciones a cada calentador, como se aprecia en las Tablas 4.13 y 4.14.

Tabla 4.13. Total de inspecciones realizadas al precalentador E-4113 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
4					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
4			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
3	-	1	-	-	-

Tabla 4.14. Total de inspecciones realizadas al precalentador E-4114 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
8					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
5			3		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
3	1	1	-	3	-

- **Condiciones actuales.**

Los intercambiadores E-4113 y E-4114 se encuentran en condiciones normales, operando sin inconvenientes. Al ser los intercambiadores internos del horno que trabajan a menor temperatura, se ven menos afectados por el calor y sus consecuencias, sin embargo, las placas tubulares y tubos presentan agrietamientos (Fig. 4.19), así como también suciedad de sedimentos en tubos y placas (Fig. 4.20). Se evidenció una filtración de agua en el techo (Fig. 4.21) lo cual perjudica al material refractario del mismo.



Figura 4.19. Agrietamiento presente en placa tubular final del E-4113.

Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.20. Sedimentos presentes en placas del intercambiador E-4114.

Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.21. Filtración presente en techo del E-4114. Fuente:

Supermetanol, C.A

5) Rehervidores (E-4102 - E-4103).

- **Descripción general.**

Los rehervidores son intercambiadores de calor, de tipo carcasa y tubo, que conectados a la base de una columna de destilación proporcionan el calor necesario para devolver el vapor al fondo de la columna y permitir así que se lleve a cabo la destilación. Por los tubos fluye gas reformado y por la carcasa fluye el agua y vapor producido (ver Tabla 4.15). El E-4102 es un rehervidor a gas de la columna de refinación y el E-4103 es un rehervidor a gas de la columna tope.

Tabla 4.15. Características técnicas de los rehervidores E-4102 y E-4103.

Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas				
	E-4102		E-4103	
Fabricante	Davy Mckee Ltd		Davy Mckee Ltd	
Tipo de Intercambiador	Tubo y carcasa		Tubo y carcasa	
Número de Serial	RA-E-23018		RA-E-23019	
Servicio	Rehervidor de gas de columna de refinación		Rehervidor de gas de columna tope	
Año de fabricación	1992		1992	
Año de instalación	1993		1993	
Lado	Carcasa	Tubo	Carcasa	Tubo
Flujo	252.000 Kg/h	218.732 Kg/h	191.600 Kg/h	164.966 Kg/h
Temp. de operación de entrada	118.5 °C	168 °C	87 °C	134 °C
Temp. de operación de salida	124.5 °C	134 °C	93 °C	113 °C
Presion de operación	2.31 kg/cm ²	19.6 kg/cm ²	2.21 kg/cm ²	19.23 kg/cm ²

Corrosión Permisible (CA)	3 mm	-	3 mm	-
----------------------------------	------	---	------	---

- **Inspecciones realizadas.**

En los últimos diez años se han realizado diversas inspecciones a los intercambiadores, las cuales se detallan en las Tablas 4.16 y 4.17.

Tabla 4.16. Total de inspecciones realizadas al rehervidor E-4102 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones							
9							
Inspecciones programadas				Inspecciones no programadas			
7				2			
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Medición de espesor	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Medición de espesor
1	4	1	1	-	1	1	-

Tabla 4.17. Total de inspecciones realizadas al rehervidor E-4103 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones							
3							
Inspecciones programadas				Inspecciones no programadas			
2				1			
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Medición de espesor	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Medición de espesor
-	2	-	-	-	-	1	-

- **Condiciones actuales.**

Actualmente en el rehervidor E-4102 se pudo observar deterioro del sistema de protección (Figs. 4.22 y 4.23) y óptimas condiciones de la carcasa a través de un punto de medición de espesor (Fig. 4.24). A su vez el E-4103 presenta daños como deterioro, aberturas, abolladuras y desprendimiento en el sistema de protección mecánica por aislamiento (Figs. 4.25 y 4.26).



Figura 4.22. Deterioro del sistema de protección del rehervidor E-4102, lado noreste. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.23. Abertura y abolladuras de la chaqueta metalica ubicada en cabezal inferior del E-4102. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.24. Optimas condiciones internas del intercambiador E-4102, observado desde el orificio de medición de espesor. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.25. Deterioro y aberturas del sistema de protección en cabezal superior del E-4103. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.26. Abolladuras y desprendimiento de la chaqueta metalica del intercambiador E-4103. Fuente: Supermetanol, C.A

6) Calderas De Recuperación De Calor (E-4120A/B).

- **Descripción general.**

Los intercambiadores E-4120A y E-4120B, son calderas de recuperación de calor diseñadas y fabricadas por BABCOCK ENTREPRISE en 1993 (ver Tabla 4.18). Esta caldera es de tipo pirotubular y de circulación natural.

Tabla 4.18. Características técnicas de las calderas E-4120A/B. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas	
	E-4120A/B
Fabricante	BABCOCK ENTREPRISE
Tipo de Intercambiador	Pirotubular y de circulación natural
Número de Serial	C-2103
Servicio	Caldera de gas reformado
Año de fabricación	1992
Año de instalación	1993

Lado	Carcasa	Tubo
Flujo	1.243.600 Kg/h	109.366 Kg/h

Continuación de la Tabla 4.18. Características técnicas de las calderas E-4120A/B. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas		
	E-4120A/B	
Vapor producido	124.360 Kg/h	-
Temp. de operación de entrada	320 °C	878 °C
Temp. de operación de salida	320 °C	380 °C
Presion de operación	115 kg/cm ²	20.38 kg/cm ²
Factor de suciedad	0.0001 m ² h°C/kcal	0.0005 m ² h°C/kcal
Temperatura de agua de alimentación (NORMAL / MAXIMA)	236 / 320 °C	-
Tasa de transferencia	331.44 kcal/m ² h ² °C	

- **Inspecciones realizadas.**

Durante los últimos diez años se realizaron siete inspecciones al intercambiador E-4120A y 6 al E-4120B, las cuales se detallan en las Tablas 4.19 y 4.20.

Tabla 4.19. Total de inspecciones realizadas a la caldera E-4120A desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
7					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
5			2		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	2	1	-	1	1

Tabla 4.20. Total de inspecciones realizadas a la caldera E-4120B desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
6					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
5			1		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	2	1	-	-	1

- **Condiciones actuales.**

En la actualidad las calderas E-4120A/B (Fig. 4.27) se encuentran operando en condiciones normales, con presencia de sistema de aislamiento mecánico por diseño. En la caldera E-4120A se observa desprendimiento de chaqueta metálica de protección (Fig. 4.28) y corrosión bajo aislamiento localizada leve observada desde un punto de medición de espesor (Fig. 4.29). A su vez, en la E-4120B se observa deformación y desprendimiento del sistema de protección (Fig. 4.30) y corrosión moderada generalizada por ausencia de pintura (Fig. 4.31).



Figura 4.27. Vista panorámica de las calderas E-4120A/B. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.28. Desprendimiento de chaqueta metálica de protección mecánica en zona localizada del E-4120A. Fuente: Supermetanol, C.A

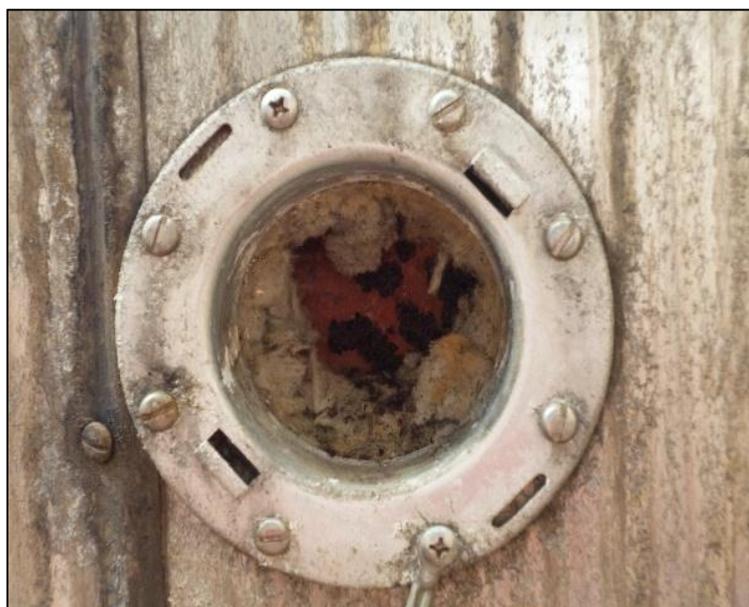


Figura 4.29. Corrosión leve localizada bajo aislamiento en orificio de medición de espesor del E-4120A, a causa de falta de tapón. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.30. Deformación y desprendimiento de chaqueta metálica de protección mecánica en zona inferior del E-4120B. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.31. Corrosión moderada generalizada por ausencia de pintura en el intercambiador E-4120B. Fuente: Supermetanol, C.A

7) Atemperador De Vapor (E-4121).

- **Descripción general.**

El Atemperador De Vapor E-4121 es un intercambiador de calor diseñado y fabricado por BABCOCK ENTREPRISE en 1993, del tipo carcasa y tubo con proceso de circulación natural (ver Tabla 4.21). Este cumple la función de atemperar el vapor sobrecalentado que proviene del sobrecalentador de vapor E-4110 y fluye por los tubos, a partir de la inyección de una mezcla de agua/vapor en el lado de la carcasa, a una temperatura inferior a la del vapor sobrecalentado.

Tabla 4.21. Características técnicas del atemperador de vapor E-4121. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas		
	E-4121	
Fabricante	BABCOCK ENTREPRISE	
Tipo de Intercambiador	Carcasa y tubo	
Número de Serial	C-2104	
Servicio	Atemperador de vapor	
Año de fabricación	1992	
Año de instalación	1993	
Lado	Carcasa	Tubo
Flujo	535.470 Kg/h	219.553 Kg/h
Vapor producido	53.547 Kg/h	-
Temp. de operación de entrada	320 °C	490 °C
Temp. de operación de salida	320 °C	387 °C
Presión de operación	115 kg/cm ²	112 kg/cm ²
Factor de suciedad	0.0001 m ² h°C/kcal	0.0005 m ² h°C/kcal

Temperatura de agua de alimentación (NORMAL / MAXIMA)	236 / 320 °C	-
Tasa de transferencia	796.5 kcal/m ² h ² °C	

- **Inspecciones realizadas.**

En los últimos diez años se han realizado siete inspecciones al atemperador de vapor E-4121, las cuales se detallan en la Tabla 4.22.

Tabla 4.22. Total de inspecciones realizadas al atemperador E-4121 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
7					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
4			3		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	1	1	2	1	-

- **Condiciones actuales.**

Actualmente el atemperador opera en condiciones normales, presentando deterioro y abolladuras en la chaqueta metálica del sistema de protección mecánico (Fig. 4.32), y presencia de óxido en las láminas protectoras contra lluvia (Fig. 4.33). En el interior se encuentra en óptimo estado, a excepción de acumulación de sedimentos en el fondo del equipo (Fig. 4.34).



Figura 4.32. Desprendimiento de chaqueta metálica. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.33. Presencia de óxido en las láminas protectoras contra lluvia del atemperador E-4121. Fuente: Supermetanol, C.A

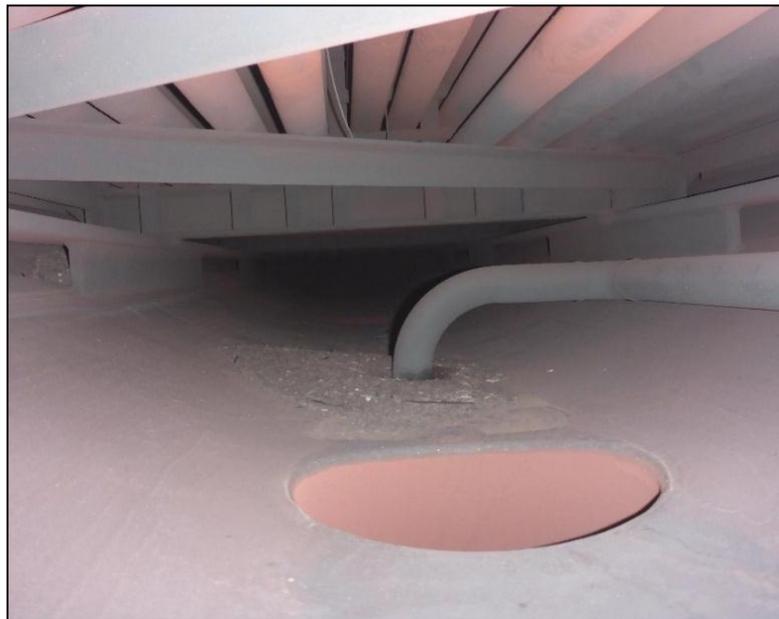


Figura 4.34. Sedimentos existentes en el fondo del equipo. Fuente: Supermetanol, C.A

8) Sobrecalentadores de vapor (E-4110-E-4111).

- **Descripción general.**

Los intercambiadores de calor E-4110 y E-4111 son sobrecalentadores de vapor (ver Tabla 4.23) diseñados y fabricados por KIRCHNER ITALIA S.p.A en 1993, para sobrecalentar el vapor saturado proveniente del tambor de vapor V-4101.

Tabla 4.23. Características técnicas de los sobrecalentadores de vapor E-4110 y E-4111. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas		
	E-4110	E-4111
Fabricante	Davy MckeeLtd	Davy MckeeLtd
Tipo de Intercambiador	Tubular	Tubular
Número de Serial	E3040	E3041

Servicio	Sobrecalentador de vapor.		Sobrecalentador de vapor.	
Año de fabricación	1992		1992	
Año de instalación	1993		1993	
Lado	Gas de combustión	Tubo	Gas de combustión	Tubo
Flujo	430.212 Kg/h	Kg/h	430.212 Kg/h	Kg/h
Temp. de operación de entrada	816 °C	319 °C	738 °C	457 °C
Temp. de operación de salida	738 °C	490 °C	682 °C	510 °C
Presión de operación	-	112 kg/cm ²	-	108 kg/cm ²
Corrosión Permisible (CA)	1.5 mm	-	-	-

- **Inspecciones realizadas**

En el transcurso de los últimos diez años se realizaron cinco inspecciones al sobrecalentador E-4110 y seis inspecciones al E-4111, las cuales se detallan en las Tablas 4.24 y 4.25.

Tabla 4.24. Total de inspecciones realizadas al sobrecalentador E-4110 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
5					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
5			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
4	1	-	-	-	-

Tabla 4.25. Total de inspecciones realizadas al sobrecalentador E-4111 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones	
6	
Inspecciones programadas	Inspecciones no programadas
6	-

Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	-	4	-	-	-

- **Condiciones actuales.**

En la actualidad los sobrecalentadores operan en condiciones normales. El E-4110 presenta corrosión en los tubos (Fig. 4.35); y el E-4111 presenta oxidación en placas tubulares y relleno de fibra cerámica en orificios (Fig. 4.36).



Figura 4.35. Corrosión presente en los tubos del intercambiador E-4110.

Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.36. Oxidación en placa tubular intermedia y relleno de fibra cerámica en orificio existente en el intercambiador E-4111. Fuente: Supermetanol, C.A

9) Tambores: de Vapor de Alta Presión (V-4101) y de Separación de Gas Reformado (V-4103).

- **Descripción general.**

El tambor de vapor de alta presión V-4101 (ver Tabla 4.26) fue diseñado y fabricado por BABCOCK ENTREPRISE en 1993. Posicionado en la parte superior del domo de producción de vapor de la sección 4100. Encargado de almacenar agua desmineralizada para la producción de vapor saturado.

Tabla 4.26. Características técnicas del Tambor de vapor de alta presión V-4101. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas	
	V-4101
Fabricante	BABCOCK ENTREPRISE
Número de Serial	C-2102
Servicio	Tambor de vapor.

Año de fabricación	1992
Año de instalación	1993
Flujo de vapor (MIN. / DISEÑO / MAX.)	91.368 / 228.420 / 262.683 Kg/h
Temperatura de operación	320 °C
Presión de operación	115 kg/cm ²
Temperatura de diseño	333 °C
Presión de diseño	126.5 kg/cm ²
Corrosión Permisible (CA)	1.5
Flujo de agua de alimentación	231837 Kg/h
Temp. de agua de alimentación (NORMAL / MAXIMA)	236 / 320 °C

El tambor de separación de gas reformado V-4103 (ver Tabla 4.27) fue diseñado y fabricado por BABCOCK ENTREPRISE en 1993, con la finalidad de separar el gas reformado y el condensado de proceso.

Tabla 4.27. Características técnicas del Tambor de separación de gas reformado V-4103. Fuente: Supermetanol, C.A

Características Técnicas	
	V-4103
Fabricante	BABCOCK ENTREPRISE
Número de Serial	C-1730
Servicio	tambor de separación de gas reformado
Año de fabricación	1992
Año de instalación	1993
Temperatura de operación	134 °C
Presion de operacion	19.3 kg/cm ²
Temperatura de diseño	200 °C
Presion de diseño	23 kg/cm ²
Corrosión Permisible (CA)	-
Capacidad	38.4 m ³
Aislamiento Externo	SI

- Inspecciones realizadas.

En los últimos diez años se han realizado un total de veinte inspecciones al tambor V-4101 y cuatro inspecciones al V-4103, las cuales se detallan en las Tablas 4.28 y 4.29.

Tabla 4.28. Total de inspecciones realizadas al tambor V-4101 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
20					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
4			16		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	2	-	2	14	-

Tabla 4.29. Total de inspecciones realizadas al tambor V-4103 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
4					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
4			-		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
2	2	-	-	-	-

- **Condiciones actuales.**

El tambor de alta presión V-4101 y el de separación de gas V-4103, actualmente se encuentran en condición de operación normal. El tambor V-4101 presenta oxidación y deterioro en el sistema de protección mecánica (Fig. 4.37) y corrosión leve en el paso de hombre del cabezal lado Oeste (Fig. 4.38). A su vez, el tambor V-4103 (Fig. 4.39) presenta desprendimiento del sistema de aislamiento (Fig.4.40).



Figura 4.37. Oxidación y deterioro en el sistema de protección mecánica del tambor V-4101. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.38. Corrosión leve presente en el paso de hombre del cabezal lado Oeste del tambor V-4101. Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.39. Vista panorámica del tambor de separación de gas V-4103.

Fuente: Supermetanol, C.A



Figura 4.40. Desprendimiento de sistema de aislamiento en tambor V-4103. Fuente: Supermetanol, C.A

10) Chimenea (L-4101).

- **Descripción general.**

La chimenea L-4101 perteneciente al horno reformador fue diseñada y fabricada por KIRCHNER ITALIA S.p.a. en 1993, para la descarga de los gases de combustión del proceso de reformación, gases que al momento de la salida se encuentran a 173 °C y son inducidos por una turbina.

- **Inspecciones realizadas.**

En el transcurso de los últimos diez años se realizaron un total de dos inspecciones a la chimenea L-4101, detalladas en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30. Total de inspecciones realizadas a la chimenea L-4101 desde el año 2014 al año 2024. Fuente: Supermetanol, C.A

Total de Inspecciones					
2					
Inspecciones programadas			Inspecciones no programadas		
1			1		
Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa	Visual Interna	Visual Externa	Visual Interna y Externa
1	-	-	-	-	1

- **Condiciones actuales.**

En la actualidad la chimenea L-4101 (Fig. 4.41) se encuentra operando en condiciones óptimas, ya que, al ser la última etapa del recorrido de los gases de combustión, la temperatura no es un punto crítico. De igual manera, en la última inspección realizada, se pudo observar el mal estado del material refractario del piso (Fig. 4.42).



**Figura 4.41. Vista panorámica de la chimenea L-4101. Fuente:
Supermetanol, C.A**



**Figura 4.42. Grietas y roturas de material refractario en piso. Fuente:
Supermetanol, C.A**

4.2 Jerarquización de los equipos estáticos de la sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100).

Para el estudio de los equipos estáticos pertenecientes a la sección de producción de gas de síntesis, se aplicó el análisis de riesgo basado en la Matriz de Criticidad Supermetanol (Ver Capítulo 2, punto 2.2.22). El Equipo Natural de Trabajo asignó los pesos ponderados a cada uno de los equipos en estudio de acuerdo a su experiencia en el área y a los conocimientos que poseen del sistema.

4.2.1 Procedimiento del análisis de riesgo

1. Se obtuvo el listado de equipos estáticos de la Sección 4100, para conocer la descripción de cada uno de éstos, levantando una base de datos proveniente del software Meridium.
2. Se realizó un análisis funcional de las unidades a nivel de equipos para definir la catalogación de principales y secundarios. El análisis funcional consiste en agrupar los equipos con base a la función que cumplen. Generalmente, estos grupos de equipos están definidos y/o representados por los equipos principales de la planta. En este caso el equipo principal es el horno reformador H-4101.
3. Se recopiló información técnica sobre los equipos estáticos del sistema, incluyendo datos sobre la pérdida de producción causada por fallos en los equipos, los costos de mantenimiento, la cantidad de fallos y los registros de trabajo de los últimos diez años. Esta información proviene de la base de datos del Sistema de Gestión de Activos Meridium y de la opinión de expertos familiarizados con el área, específicamente los miembros del ENT.

4. Se realizó el análisis de riesgo primeramente para el equipo principal de la sección. La determinación del Nivel de Seguridad y Ambiente, se basó en las definiciones establecidas en la Tabla 2.2. La determinación del Nivel de Producción y Gastos, se basó en las definiciones establecidas en la Tabla 2.3.
5. Se valoró el riesgo tras efectuar la estimación de la frecuencia o probabilidad de fallas y la consecuencia del evento, se procedió a valorar el nivel de riesgo mediante la ecuación 2.2 y finalizando con ello, se ubicó el equipo analizado en la diagonal correspondiente al índice de riesgo de la matriz mostrada en la Tabla 2.1.
6. Se realizó el Análisis de Riesgo a los equipos secundarios de cada grupo de equipos igualmente desde el punto de vista de seguridad y ambiente y de producción y gastos, basados en:
 - La evaluación de riesgo del equipo principal de cada grupo de equipos.
 - La función que desempeña cada equipo secundario.

Posteriormente, se valoró el riesgo de éstos, mediante la ecuación 2.2 y finalizando con ello se ubicó el equipo analizado en la diagonal correspondiente al índice de riesgo de la matriz mostrada en la Fig. 2.1.

4.2.2 Premisas

- El resultado del nivel de riesgo de procesos, sistemas, equipos y/o componentes, se basará en la sumatoria del riesgo de cada uno de los criterios obtenidos a nivel de seguridad y ambiente, producción y gastos.

- Los equipos secundarios serán aquellos que asisten o soportan al equipo principal de un subsistema en el desempeño de su función.
- Generalmente, en el caso de los equipos clasificados como aquellos equipos sin el cual el equipo principal pueda cumplir su función, su consecuencia evaluada será igual al del equipo principal.

4.2.3 Resultado

Se aplicó esta metodología a los dieciocho equipos estáticos que conforman la sección. A continuación, se presenta una muestra del cálculo efectuado para el caso del Horno Reformador H-4101. De la misma forma se procedió para el resto de los equipos estáticos del sistema.

$$\textit{Criticidad} = \textit{Frecuencia} \times \textit{Consecuencia} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

Cálculo de la consecuencia

Para determinar la consecuencia se utiliza la Ecuación 2.3.

$$\textit{Consecuencia} = (\textit{IDR Daños personales} + \textit{IDR Ambiente} + \textit{IDR Equipos/Materiales}) \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Para seleccionar el IDR de daños personales, de ambiente y de equipos/materiales se utiliza la Tabla. 2.2.

Tabla 2.2. Categorías Consecuencia. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

SEVERIDAD	DAÑOS PERSONALES	AMBIENTE	EQUIPOS/MATERIALES	
-----------	------------------	----------	--------------------	--

	ASP	ACP	F	ESCAPE, EMISIÓN O DERRAME	DAÑOS (MMUSD)	PÉRDIDA PRODUCCIÓN	ÍNDICE DE RIESGO
CATASTRÓFICO	-	-	≥ 1	Restauración del daño ambiental en más de 30 días y posible interrupción operacional.	>3	≥ 5 días	16
MAYOR	-	> 1	0	Restauración del daño ambiental entre 7 - 30 días.	0,5 – 3,0	1 día - 5 días	8
SERIO	> 1	1	0	Restauración del daño ambiental entre 3 - 6 días.	0,1 - 0,5	8 horas – 1 día	4
MODERADO	1	0	0	Restauración del daño ambiental en menos de 3 días.	0,01 - 0,1	Hasta 8 horas	2
LEVE	0	0	0	No genera daños al ambiente.	< 0,01	0	1

En el caso de IDR daños personales resultó seleccionado "catastrófico" debido a que, de suceder, podría resultar en una fatalidad o inhabilitación definitiva para laborar, y equipos/materiales se seleccionó de igual manera como severidad "catastrófico" ya que la restauración del daño ambiental sería en más de treinta días y ocurriría posible interrupción operacional, siendo cada una un índice de riesgo de 16. Y el IDR Ambiente, debido a que la restauración del daño ambiental es menor a tres días entonces la severidad es moderada por lo tanto el índice de riesgo es 2.

Sustituyendo estos valores en la Ecuación. 2.3, se obtiene.

$$\text{Consecuencia} = (16 + 2 + 16) = 34$$

Determinación de la probabilidad

Para obtener la probabilidad, inicialmente se calcula f por medio de la Ecuación. 2.4.

$$f = \frac{N^{\circ} \text{ de Fallas}}{\text{Tiempo}} = \frac{13}{10} = 1.3$$

Al obtener el valor de f , se ingresa a la Tabla 2.4, para obtener la probabilidad.

Tabla 2.4 Categoría frecuencia de fallas. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

1	2	4	6	8
El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada diez años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada cinco años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido una vez cada dos años.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido entre una y tres veces al año.	El evento puede ocurrir o ha ocurrido más de tres veces al año.

Continuación de la Tabla 2.4 Categoría frecuencia de fallas. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

1	2	4	6	8
< 0,2 veces por año	Entre 0,2 - 0,5 veces por año.	Entre 0,5 - 1 veces por año.	Entre 1 - 3 veces por año.	> 3 veces por año
Muy poco probable	Poco probable	Posible	Probable	Muy probable
PROBABILIDAD				

Como f se ubica entre 1 y 3 veces por año, entonces la probabilidad es de 6.

Determinación de riesgo

Con los valores de frecuencia y consecuencia se ingresa a la Tabla. 2.1.

Tabla 2.1. Matriz de criticidad Supermetanol. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

		ÍNDICE DE RIESGO				
		1	2	4	6	8
SEVERIDAD	40	B16	B32	A64	A96	A128
	10	C8	B16	B32	A48	A64
	4	D4	C8	B16	B24	B32
	2	D2	D4	C8	C12	B16
	1	D1	D2	D4	C6	C8
		1	2	4	6	8
		PROBABILIDAD				

Debido a que el resultado de riesgo obtenido pertenece al grupo A resulta un equipo crítico (Nivel 4) como se observa en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6. Niveles de riesgo Matriz Supermetanol. Fuente: Procedimiento Evaluación de Riesgos Supermetanol, C.A.

NIVEL	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO DE RIESGO	ACCIÓN
1	BAJO	D	No requiere una investigación detallada. Documente evento a través de un análisis de falla elemental. Implemente acciones de mejoramiento continuo.
2	MEDIO	C	Iniciar medidas para reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.
3	ALTO	B	Debe tomarse acción para eliminar/reducir el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.
4	CRÍTICO	A	Intolerable. Debe tomarse acción inmediata para eliminar/reducir substancialmente el riesgo. Requiere análisis de causa raíz.

En la Tabla 4.31 se muestran la jerarquización de los equipos estáticos según su riesgo obtenido. Resultando entonces, un total de dos equipos críticos, los cuales son: El horno reformador H-4101 y el rehervidor E-4103, el análisis se enfocará en estos equipos.

Tabla 4.31. Jerarquización de equipos los estáticos a partir de la matriz Supermetanol. Fuente: Propia.

Ítem	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	Seguridad	Ambiente	Economía	Total Impacto	Índice de Riesgo
1	H-4101	HORNO REFORMADOR	96	12	96	204	Critico
2	E-4103	REHERVIDOR	16	4	32	52	Critico
3	E-4121	ATEMPERADOR DE VAPOR	8	2	32	36	Alto
4	E-4110	SOBRECALENTADOR DE VAPOR	2	2	32	36	Alto

Continuación de la Tabla 4.31. Jerarquización de equipos los estáticos a partir de la matriz Supermetanol. Fuente: Propia

Ítem	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	Seguridad	Ambiente	Economía	Total Impacto	Índice de Riesgo
5	E-4111	SOBRECALENTADOR DE VAPOR	2	2	32	36	Alto
6	E-4112B	CALENTADOR DE MEZCLA	2	2	32	36	Alto
7	E-4112C	CALENTADOR DE MEZCLA	2	2	32	36	Alto
8	E-4113	PRECALENTADOR DE DESULFURACION	2	2	32	36	Alto
9	E-4114	PRECALENTADOR DE AIRE DE COMBUSTIÓN	2	2	32	36	Alto
10	V-4101	TAMBOR DE VAPOR DE ALTA PRESION	16	2	16	34	Alto
11	E-4102	REHERVIDOR	8	2	16	26	Alto

12	E-4101A	CALENTADOR DE AGUA DE ALIMENTACION A CALDERA DE ALTA PRESION	8	1	16	25	Alto
13	E-4101B	CALENTADOR DE AGUA DE ALIMENTACION A CALDERA DE ALTA PRESION	8	1	16	25	Alto
14	E-4120A	CALDERA DE RECUPERACION DE CALOR DEL GAS REFORMADO	4	1	16	21	Alto
15	E-4120B	CALDERA DE RECUPERACION DE CALOR DEL GAS REFORMADO	4	1	16	21	Alto
16	E-4112A	CALENTADOR DE MEZCLA	1	1	16	18	Alto
17	V-4103	PRIMER TAMBOR DE SEPARACION DE GAS REFORMADO	8	1	8	17	Alto
18	L-4101	CHIMENEA DE GASES DE COMBUSTION	1	1	1	3	Bajo

4.3 Determinación de las causas de las fallas a los equipos estáticos críticos por medio de un AMEF.

Con el apoyo del Equipo Natural de Trabajo se procedió a elaborar el AMEF a los equipos estáticos de alto riesgo. Estos equipos se encuentran descritos en el contexto operacional desarrollado en la primera etapa de este trabajo la cual contiene información concerniente al funcionamiento de éstos y sus parámetros de operación. Se elaboró un AMEF para cada equipo crítico.

Para la definición de las funciones principales de los equipos primeramente se revisaron los manuales del fabricante y la data registrada en el sistema de gestión de activos Meridium, y la Norma ISO 14224 y de este modo definir funciones específicas.

Para identificar los modos y efectos de las fallas, se revisaron manuales de funcionamiento de los equipos en estudio, se hizo uso de la norma API 573 que describe mecanismos de degradación de hornos y calderas y API 510 que

presenta información sobre recipientes a presión; se consultó y entrevistó igualmente al personal de la empresa en general, también se tomaron en cuenta literaturas que hacen referencias a fallas características de estos equipos y el historial de falla de los equipos almacenado en el software Meridium (Ver Tablas 4.32 y 4.33).

Tabla 4.32. Fallas asociadas al horno reformador H-4101. Fuente: Meridium (2024). Fuente: Propia

Horno reformador H-4101		
N°	Enero 2020 / Diciembre 2024	Falla
1	14/5/2020	Falla de refractario
2	1/3/2021	Falla en cabezal

Continuación de la Tabla 4.32. Fallas asociadas al horno reformador H-4101. Fuente: Meridium (2024). Fuente: Propia

Horno reformador H-4101		
N°	Enero 2020 / Diciembre 2024	Falla
3	1/11/2021	Falla en quemadores
4	1/4/2022	Falla en tubos catalíticos
5	1/1/2023	Falla en coletas
6	1/8/2023	Falla de refractario
7	1/9/2023	Falla en tubos catalíticos
8	1/2/2024	Falla de refractario
9	1/3/2024	Falla en tubos catalíticos
10	2/6/2024	Falla en uniones bridadas de tuberías
11	3/7/2024	Falla en tubos catalíticos

Tabla 4.33. Fallas asociadas al rehervidor E-4103. Fuente: Meridium (2024). Fuente: Propia

Rehervidor E-4103

N°	Enero 2020 / Diciembre 2024	Falla
1	24/8/2023	Falla de carcasa
2	3/3/2024	Falla de tubos
3	19/6/2024	Falla de carcasa

A continuación, el Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF) de los equipos que resultaron de alto riesgo se muestran en las Tablas 4.34 y 4.35.

Tabla 4.34. AMEF aplicado al horno reformador H-4101. Fuente: Propia.

	Realizado por: Leandro Paravia	Revisado por: Eduardo Deliso	Fecha: mayo de 2024		
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla		Causa potencial de falla
<p>Producir gas de síntesis mediante la reformación de gas natural a una temperatura de 880°C y una tasa de flujo de 242.010 kg/h.</p>	A. No produce gas de síntesis.	A.1. Alta presión en cabezal de gas natural, gas combustible o vapor.	Generando una relación errónea de vapor/gas para la producción de gas de síntesis. Se genera un efecto cascada en la caída del resto de las áreas operacionales por falta de vapor de alta, lo que se traduce en un gran impacto económico.		Obstrucción del cabezal.
		A.2. Fallas en caldera.	La escasez de agua de alimentación genera la detención de producción de gas de síntesis, lo que resulta en una disminución del suministro de vapor de alta.	Falta de agua DEMI (desmineralizada).	
	B. Se produce gas de síntesis a una temperatura superior a los 880°C.	B.1. Rotura de tubos catalíticos.	Las fugas en los tubos catalíticos provocan una pérdida de la reacción principal responsable de la producción de gas de síntesis, debido al incremento de la pérdida de carga. Como resultado, no se obtiene el producto esperado, lo que se traduce en una disminución de la eficiencia operativa del equipo y retrasos en la producción.	Operación a altas temperaturas en zona radiante. Expiración de vida útil de los tubos catalíticos.	

Continuación de la Tabla 4.34. AMEF aplicado al horno reformador H-4101. Fuente: Propia.

	Realizado por: Leandro Paravia	Revisado por: Eduardo Deliso	Fecha: mayo de 2024	
	Unidad: Producción de gas de síntesis		Hoja: 2 de 3	
	Equipo: Horno reformador	Tag: H-4101	Sección: 4100	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Causa potencial de falla
<p>1. Producir gas de síntesis mediante la reformación de gas natural a una temperatura de 880°C y una tasa de flujo de 242.010 kg/h.</p>	<p>B. Se produce gas de síntesis a una temperatura superior a los 880°C.</p>	B.2. Fluencia de tubos catalíticos.	El sobrecalentamiento de los tubos genera arqueado en los mismos, lo que resulta en pérdida de eficiencia del proceso. Además, que aumenta el riesgo de fractura de los tubos.	Incidencia de llama en los tubos catalíticos.
		B.3. Refractario desprendido y deteriorado prematuramente.	La exposición de las partes externas del horno a altas temperaturas provoca fugas y pérdidas de calor, así como infiltraciones. En general, esto afecta la integridad mecánica, lo que puede llevar a una interrupción operacional. Además, representa riesgos para la seguridad del personal y el medio ambiente.	Condiciones bruscas de operación en la zona radiante.
		B.4. Elevado o bajo patrón de llama.	Genera gases tóxicos que son enviados al medio ambiente generando contaminación.	Combustión deficiente.

Continuación de la Tabla 4.34. AMEF aplicado al horno reformador H-4101. Fuente: Propia.

	Realizado por: Leandro Paravia	Revisado por: Eduardo Deliso	Fecha: mayo de 2024	
	Unidad: Producción de gas de síntesis		Hoja: 3 de 3	
	Equipo: Horno reformador	Tag: H-4101	Sección: 4100	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Causa potencial de falla
1. Producir gas de síntesis mediante la reformación de gas natural a una temperatura de 880°C y una tasa de flujo de 242.010 kg/h.	C. Se produce gas de síntesis a una tasa de flujo superior a 242.010 kg/h.	C.1. Uniones bridadas de las tuberías del horno agrietadas o fracturadas	Disminución en la eficiencia operacional por la existencia de fugas, pérdidas de calor, afectación de la integridad mecánica, así como dificultad en el transporte y suministro del fluido de proceso.	Apriete o ajuste inadecuado.

Tabla 4.35. AMEF aplicado al rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

	Realizado por: Leandro Paravia	Revisado por: Eduardo Deliso	Fecha: mayo de 2024	
	Unidad: Producción de gas de síntesis		Hoja: 1 de 2	
	Equipo: Rehervidor	Tag: E-4103	Sección: 4100	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Causa potencial de falla
Enfriar el gas reformado que proviene del tambor V-4103 a una temperatura de 134 °C y una presión de 19.23 kg/cm ² .	A. No enfría el gas reformado.	A.1. Rotura de tubos que transportan el gas.	La fuga del gas reformado provoca una mezcla del fluido con el condensado de proceso lo que interrumpiría el proceso y ocasionaría daños críticos al equipo y posible fuga posterior al ambiente.	Pérdida de espesor de los tubos, por debajo del mínimo aceptable.
		A.2. Rotura de la carcasa.	La fuga del condensado de proceso hace imposible el intercambio de calor entre los dos fluidos. Además de los daños al medio ambiente que genera la falla y pérdidas económicas significativas ya que se requiere reemplazo del equipo.	Corrosión bajo aislamiento, deterioro o ausencia de aislamiento requerido.
	B. Enfría el gas reformado a una presión superior a 19.23 kg/cm ² .	B.1. Fuga de fluido por brida de cabezales.	Daño en los asientos de las empaaduras.	Vibraciones que lentamente desajustan los pernos y separan las tuberías.

			Escape en el acople de la brida.	Elongación de los pernos.
--	--	--	----------------------------------	---------------------------

Continuación de la Tabla 4.35. AMEF aplicado al rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

	Realizado por: Leandro Paravia	Revisado por: Eduardo Deliso	Fecha: mayo de 2024	
	Unidad: Producción de gas de síntesis		Hoja: 2 de 2	
	Equipo: Rehervidor	Tag: E-4103	Sección: 4100	
Función	Falla funcional	Modo de falla	Efecto de falla	Causa potencial de falla
Enfriar el gas reformado que proviene del tambor V-4103 a una temperatura de 134 °C y una presión de 19.23 kg/cm ² .	C. Enfría el gas a una temperatura superior a 134 °C.	C.1. Obstrucción en la entrada de los tubos.	Disminución en la eficiencia operacional, así como el aumento de la presión interna de los tubos no taponados ocasionando el posible deterioro prematuro o fractura de los mismos.	Partículas provenientes del tambor V-4103.

Una vez realizado el AMEF, para cada uno de los equipos que resultaron críticos en el análisis realizado en el objetivo anterior, se obtuvieron como resultado, en total dos funciones, seis fallas funcionales y once modos de fallas.

De los once (11) posibles modos de fallas identificados en el AMEF que podrían impactar el funcionamiento de la sección, solo dos (2) relacionados con el horno y dos (2) con el rehervidor afectaron el desempeño de la sección durante el período de estudio. Esta información proviene del Equipo Natural de Trabajo (ENT), basado en su experiencia y conocimiento operativo de estos equipos. Por lo tanto, estas fallas serán analizadas en el próximo objetivo.

4.4 Identificación las raíces físicas, humanas y latentes a los equipos estáticos críticos por medio de un ACR.

Para la aplicación del análisis causa raíz (ACR), se realizó un árbol lógico de fallas para las fallas del Horno Reformador H-4101 y del Rehervidor E-4103, respectivamente.

Para ello se seleccionaron las fallas con mayor recurrencia (ver Tablas 4.36 y 4.37) en los equipos, a partir del histórico de fallas obtenido de la base de datos del software Meridium (ver Tablas 4.32 y 4.33).

Tabla 4.36. Fallas recurrentes del horno reformador H-4101. Fuente: Meridium (2024).

Horno reformador H-4101	
Falla	Numero de ocurrencia
Falla de tubos catalíticos	4
Falla de refractario	3

Tabla 4.37. Fallas recurrentes del rehervidor E-4103. Fuente: Meridium (2024).

Rehervidor E-4103	
Falla	Numero de ocurrencia
Falla en carcasa	2
Falla de brida del cabezal	1

De la experiencia del ENT y los registros de mantenimiento correctivo, estas fallas tienen el mayor impacto en términos de producción, costos y seguridad. Las Figs. 4.43 y 4.44 presentan los árboles de fallas generados para el Horno Reformador y el Rehervidor de la sección de producción de gas de síntesis respectivamente.

- Equipo
- Modo de falla
- Hipótesis
- Raíz física
- Raíz humana
- Raíz latente

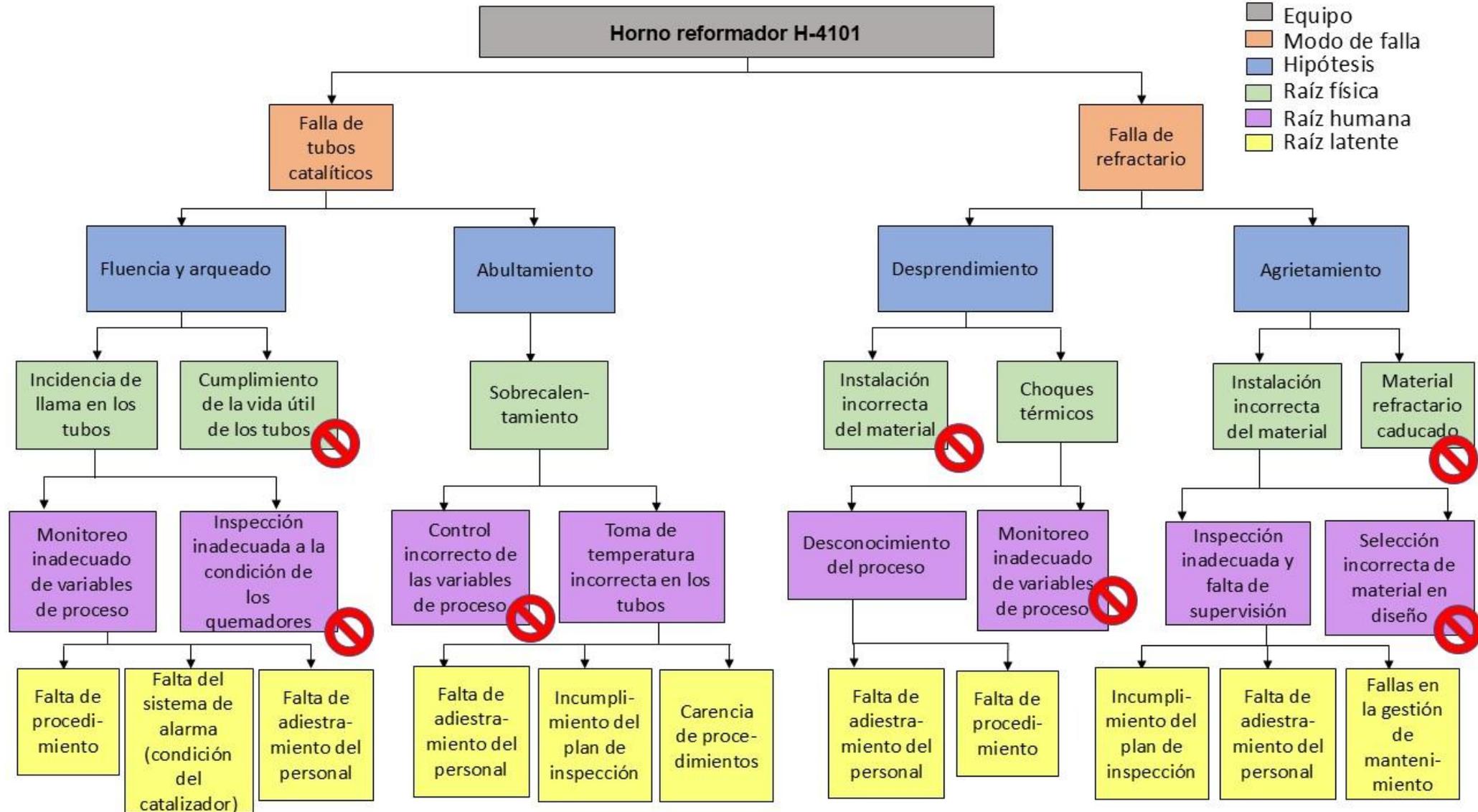


Figura 4.43. Árbol lógico de fallas del horno reformador H-4101. Fuente: ENT (2024).

Modo de falla 1. Falla de tubos catalíticos.

Para este modo de falla, se determinaron dos hipótesis, las cuales son fluencia y arqueado y abultamiento teniendo dos causas raíces físicas cada una.

Haciendo referencia a la fluencia y arqueado, las causas raíces físicas son: incidencia de llama en los tubos y cumplimiento de la vida útil de los tubos, esta última se descartó debido a que a los tubos todavía le restan cinco (5) años de vida útil y los mismos están en condiciones favorables. Para el caso de la raíz física de incidencia de llama en los tubos (Ver Fig. 4.44), se observa una termografía, que evidencia la incidencia producida por un monitoreo inadecuado de variables de proceso siendo esta la raíz humana, descartando la inspección inadecuada de la condición de los quemadores ya que estos se encuentran en óptimas condiciones. Surgiendo como raíces latentes falta de procedimiento, falta de sistema de alarma en cuanto a las condiciones del catalizador y falta de adiestramiento del personal.

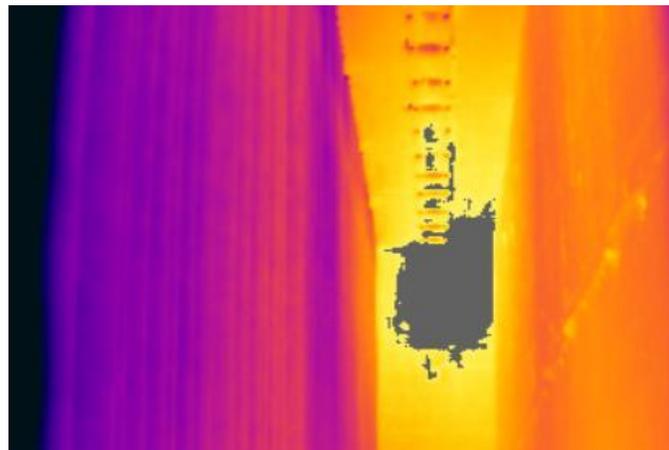


Figura 4.44. Alto patrón de llama. Fuente: Informe de termografía, Supermetanol.

En cuanto al abultamiento las causas raíces físicas presentadas son: sobrecalentamiento. Como raíz humana causante del sobrecalentamiento se

descartó el control incorrecto de las variables de proceso debido a que estas si se verifican correctamente en el panel de control, y se determinó que existe toma de temperatura incorrecta en los tubos por parte de los operadores. Como raíces latentes se concretaron: fallas en la gestión de mantenimiento, incumplimiento del plan de inspección y carencia de procedimientos.

Modo de falla 2. Falla de refractario.

Las hipótesis determinadas para este segundo modo de falla son desprendimiento (Ver Fig. 4.45) y agrietamiento (Ver Fig. 4.46) presentando individualmente dos causas raíces físicas.

En el caso del desprendimiento del material refractario, este presenta dos causas raíces físicas las cuales son: instalación incorrecta del material y choques térmicos, la primera se descartó porque la inspección realizada en la instalación del material fue verificada por un especialista certificado API 936, lo cual da garantía de ello. Con respecto a los choques térmicos, se descarta el monitoreo inadecuado de las variables de proceso ya que estos se chequean a diario por el departamento de producción, como raíz humana desconocimiento del proceso, presentando como raíces latentes falta de adiestramiento del personal y falta de procedimiento.



Figura 4.45. Desprendimiento de modulo refractario en techo de zona radiante. Fuente: Propia.

Las causas raíces físicas del agrietamiento son: instalación incorrecta del material y material refractario caducado, siendo descartada la segunda debido a que se comprobó que la fecha del material instalado se encuentra en vigor. La raíz humana que ocasiona la instalación incorrecta es la inspección inadecuada, falta de supervisión y selección incorrecta del material, descartándose la selección incorrecta del material de diseño ya que este, fue utilizado previamente en el equipo presentando un rendimiento óptimo. Estas raíces humanas son generadas por el incumplimiento del plan de inspección, falta de adiestramiento del personal y fallas en la gestión de mantenimiento como raíces latentes.



Figura 4.46. Agrietamiento de material refractario en pared de zona radiante. Fuente: Propia.

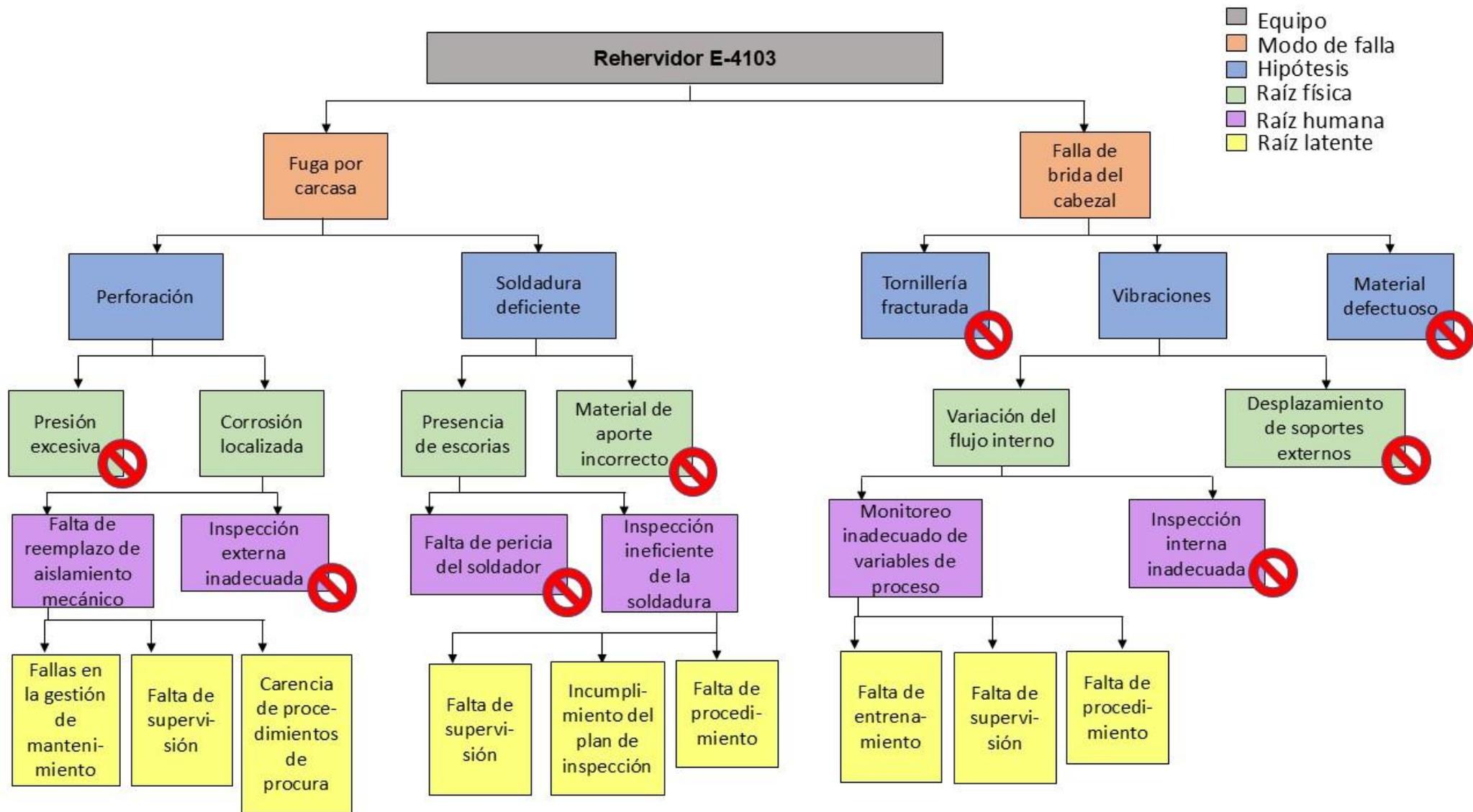


Figura 4.47. Árbol lógico de fallas del rehervidor E-4103. Fuente: ENT (2024)

Modo de falla 1. Fuga por carcasa.

El rehervidor E-4103 (ver Fig. 4.48) presenta en el primer modo de falla dos hipótesis: perforación y soldadura ineficiente. Cada una de ellas presentando dos causas raíz físicas.



Figura 4.48. Vista panorámica del rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

La presión excesiva y la corrosión localizada son las causas físicas presentes en la perforación, descartándose la primera ya que esta es controlada por procesos a diario y se encuentra en rango. La corrosión localizada presenta como raíz humana falta de reemplazo de aislamiento mecánico (ver Fig. 4.49) e inspección externa inadecuada, descartándose la última porque se verificaron los informes de inspección realizados al equipo en las fechas correspondientes. La falta de reemplazo se origina a partir de fallas en la gestión de mantenimiento, falta de supervisión y carencia de procedimientos de procura, como raíces latentes.



Figura 4.49. Deterioro de la chaqueta metálica y falta de reemplazo.

Fuente: Propia.

En cuanto a la soldadura deficiente, se determinó que las causas físicas son presencia de escorias y material de aporte incorrecto, descartándose la última ya que el material de aporte especificado en los procedimientos de soldadura es el indicado por el diseño. Las causas humanas de la presencia de escorias en la soldadura son la falta de pericia del soldador y la inspección ineficiente de la soldadura, siendo descartada la primera porque el soldador cuenta con un expediente que verifica su experiencia. Siendo la falta de supervisión, el incumplimiento del plan de inspección y la falta de procedimiento, las causas latentes de la raíz humana seleccionada.

Modo de falla 2. Falla de brida del cabezal.

En este modo de falla para la brida del cabezal (ver Fig.4.50) se determinaron como hipótesis la tornillería fracturada, vibraciones y material defectuoso, resultando descartada la primera y la última, debido a que la tornillería se encuentra en óptimas condiciones, al igual que el material de la brida. La hipótesis seleccionada presenta dos causas raíz físicas.



Figura 4.50. Brida del cabezal del rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

Las vibraciones presentan como causas raíz físicas la variación del flujo interno y el desplazamiento de soportes externos, resultando descartada la segunda ya que en la inspección externa realizada no se evidenció dicha condición (ver Fig. 4.51). La variación de flujo interno se presenta a partir de dos raíces humanas: monitoreo inadecuado de las variables de procesos e inspección interna inadecuada la cual fue descartada porque no se evidenciaron anomalías en la inspección interna realizada. El monitoreo inadecuado tiene como raíces latentes la falta de entrenamiento, falta de supervisión y falta de procedimiento.



Figura 4.51. Soporte en sitio del rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

4.5 Propuestas de mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de Producción de Gas de Síntesis.

Después de recopilar toda la información y alcanzar los objetivos establecidos, se procedió a proponer mejoras enfocadas en la prevención de fallas y, por ende, en el aumento de la confiabilidad de los equipos estáticos de alto riesgo en la sección de producción de gas de síntesis de Supermetanol. En base a los resultados del Análisis de Causa Raíz y lo determinado por el ENT, así como en el Análisis de Modos y Efectos de Fallas y la información recopilada sobre la calidad del monitoreo de condición y vigilancia, y el mantenimiento proactivo, se sugirieron una serie de actividades no incluidas en los planes de mantenimiento actuales de estos equipos de alto riesgo para lograr una mayor eficiencia en los procesos operativos, con el objetivo de abordar todos los posibles aspectos vulnerables a fallas.

Actividades de mantenimiento de prioridad alta

Estas actividades se deben realizar a la mayor brevedad posible en un tiempo estimado no mayor a un mes.

Horno reformador H-4101

- Realizar procura de los tubos catalíticos del horno reformador para ser reemplazados.

- Instalar módulos de refractario en techo donde se hayan desprendido. Aplicando el soporte tipo pin y encepando los bordes con fibra cerámica para compactar.
- Inspeccionar quemadores situados encima de los tubos que presentan incidencia de llama, limpiar y reparar de ser necesario, para así evitar la rotura de los tubos.
- Impartición de cursos y adiestramientos con respecto al uso de herramientas correspondientes a la lectura de temperatura en los tubos de la zona radiante, para el personal de operaciones y procesos.

Rehervidor E-4103

- Remoción de sección dañada en carcasa e inserto de parche con soldadura a filete que cumpla con el código aplicable.
- Retirar chaqueta metálica deteriorada e instalar nueva en secciones donde corresponda.
- Instalar cupones de medición en puntos de medición de espesor CML.

Actividades de mantenimiento de prioridad media

En estas actividades se consideraron dos tiempos para la ejecución, uno de seis meses y otro de un año, los cuales se muestran a continuación:

Tiempo estimado 6 meses

Horno reformador H-4101

- Reparar grietas de material refractario afectado, calafateando con masa Silplate 1400.

Rehervidor E-4103

- Reforzar estructura de soportes en el rehervidor para controlar y disipar mejor las vibraciones, evitando desajustes y fugas.

Tiempo estimado 1 año

Horno reformador H-4101

- Sustituir los tubos catalíticos que presentan abultamiento y arqueado.

Actividades de mantenimiento de prioridad baja

Las actividades que se describen a continuación se deben ejecutar en un tiempo estimado a tres años.

Horno reformador H-4101

- Sustituir el restante de los tubos catalíticos del horno.
- Reemplazar el material refractario de las paredes del horno.
- Reemplazar soportes tipo colgador de resorte asociados a todos los tubos catalíticos.

Las propuestas de mejoras para el horno reformador H-4101 y el rehervidor E-4103, se muestran a continuación en las Tablas 4.38 y 4.39 respectivamente.

Tabla 4.38. Propuestas de mejoras para el horno H-4101. Fuente: Propia.

Propuestas para aumentar la confiabilidad del horno reformador H-4101			
Ítem	Acciones	Frecuencia	Responsable
1	Monitorear parámetros operacionales del horno, si están fuera de rango informar a operaciones	Diaria	Operaciones y Confiabilidad

2	Verificar la presencia de ruidos anormales en el horno y de ser necesario realizar los ajustes pertinentes	Diaria	Operaciones y Mantenimiento
3	Verificar conexiones de líneas, ajustar de ser necesario.	Semanal	Operaciones
4	Verificación de eficiencia de combustión, ajustar de ser necesario.	Trimestral	Producción

5	Inspección con cámara infrarroja para detección de fugas, tomar acción de existir alguna.	Trimestral	Confiabilidad y Mantenimiento
6	Verificación del estado de las líneas de transferencia asociadas al horno, notificar y reparar de presentar falla.	Trimestral	Confiabilidad y Mantenimiento
7	Inspección de la integridad de las boquillas, realizar mantenimiento o reemplazar de ser necesario.	Trimestral	Confiabilidad y Mantenimiento
8	Inspección de tuberías de suministro de combustible y aire, de resultar taponadas realizar mantenimiento.	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento
9	Inspección visual a mirillas de las paredes, realizar mantenimiento de presentar daño o deterioro.	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento
10	Seguimiento a los procesos de procura de insumos y repuestos del horno	Semestral	Mantenimiento y Procura
11	Calibración de termómetros, manómetros y otros instrumentos de medición.	Anual	Instrumentación

12	Inspección de válvulas y actuadores, realizar mantenimiento y/o reemplazo de ser requerido.	Anual	Mantenimiento
13	Monitorear condición de las estructuras externas del horno (plataformas, columnas, escaleras, pasarelas), de presentar corrosión leve o deterioro se debe aplicar limpieza mecánica y aplicación de sistema de pintura.	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento

14	Inspección de aislamiento térmico en busca de daños o deterioro, reemplazar en caso de presentar.	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento
15	Medición de espesores de paredes y componentes críticos, reemplazar de resultar menor al mínimo permisible	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento
16	Tomar y analizar muestreo de metano de la corriente de gas durante el proceso de reducción del catalizador,	Anual	Procesos
17	Inspección de quemadores y reemplazo de ser necesario	Anual	Combustión
18	Inspección termográfica para verificar temperatura en hogar del horno, notificar y corregir de ser requerido.	Bienal	Confiabilidad y Producción
19	Realizar termografía a paredes del horno y tubos catalíticos, de presentar temperaturas que excedan el límite se debe notificar	Bienal	Confiabilidad y Operaciones

20	Inspección de los soportes (colgador de resorte) de los tubos catalíticos, reemplazar de ser necesario	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
21	Inspección de material refractario y reemplazo de ser necesario	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
22	Inspeccionar uniones bridadas, realizar mantenimiento de ser requerido.	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
23	Aplicar pintura termo-virante a paredes cercanas a las líneas de transferencia, para así detectar puntos calientes en caso de generarse.	Triannual	Mantenimiento

24	Monitoreo de termopares tubeskin para temperaturas del metal de los tubos	Quinquenal	Combustión
25	Inspección de tubos catalíticos con método de corrientes Eddy, si presentan fallas reemplazar	Quinquenal	Confiabilidad y Mantenimiento
26	Evaluar nuevos materiales refractarios disponibles en el mercado para una posible instalación en búsqueda de mejoras.	Quinquenal	Confiabilidad y Procura
27	Validar que la cimentación del horno se encuentre nivelada y sólida, notificar de ser necesario.	Quinquenal	Confiabilidad

Tabla 4.39. Propuestas de mejoras para el rehervidor E-4103. Fuente: Propia.

Propuestas para aumentar la confiabilidad del rehervidor E-4103			
Ítem	Acciones	Frecuencia	Responsable
1	Monitorear parámetros operacionales del rehervidor, si están fuera de rango informar a operaciones	Diaria	Operaciones y Confiabilidad
2	Verificar la presencia de ruidos anormales en el rehervidor y de ser necesario realizar los ajustes pertinentes	Diaria	Operaciones y Mantenimiento

3	Controlar las variables de temperatura y presión de la corriente de gas, requerir inspección si los valores no corresponden a los debidos	Diaria	Procesos y confiabilidad
4	Revisar los instrumentos de medición (presión, temperatura, flujo) y asegurar su correcta calibración	Mensual	Instrumentación
5	Limpiar la superficie externa del rehervidor para eliminar polvo y suciedad.	Trimestral	Mantenimiento
6	Inspeccionar y limpiar los drenajes y purgar de ser requerido.	Trimestral	Confiabilidad y Mantenimiento

7	Inspeccionar conexión de tuberías para evidenciar inexistencia de fuga, de resultar alguna notificar y realizar acción respectiva.	Trimestral	Confiabilidad y Mantenimiento
8	Verificar estado de las válvulas asociadas, reemplazar de ser necesario.	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento
9	Lubricar los componentes mecánicos según las recomendaciones del fabricante.	Semestral	Mantenimiento
10	Ajustar las empaquetaduras y juntas.	Semestral	Mantenimiento
11	Inspección al sistema de protección mecánico (chaqueta metálica), reemplazar de estar deteriorada o rota	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento

12	Inspeccionar la protección de los CML (Condition monitoring location) de medición de espesor, suministrar nuevo a falta de cupón o deterioro	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento
13	Inspeccionar estructuras de soportes tipo silletas, realizar mantenimiento de ser necesario	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento
14	Inspeccionar condición de pernos, reemplazar de presentar rotura y/o corrosión severa	Semestral	Confiabilidad y Mantenimiento

15	Verificación de repuestos disponibles en almacén, realizar la procura de lo faltante en almacén	Semestral	Procura
16	Monitoreo de condición de boquillas y bridas, de ser necesario realizar mantenimiento correspondiente	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento
17	Realizar medición de espesor de la carcasa, reemplazar de resultar menor al mínimo permisible	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento
18	Inspeccionar placa tubular, reemplazar de ser necesario.	Anual	Confiabilidad y Mantenimiento
19	Realizar análisis de las muestras de los fluidos de proceso para detectar cambios en su composición química que puedan indicar corrosión o fouling, de ser así notificar para realizar acción pertinente.	Anual	Procesos

20	Realizar ensayos no destructivos (ultrasonidos y/o corrientes inducidas) para detectar defectos internos en los tubos, de resultar alguno crítico reemplazar.	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
21	Realizar un análisis de vibraciones para detectar	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento

	desbalances, desalineaciones y otros problemas mecánicos, notificar y realizar acciones necesarias a partir de resultados.		
22	Inspeccionar internamente los tubos del rehervidor, de encontrarse obstruidos realizar una limpieza química y si alguno se encuentra roto se debe reemplazar	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
23	Inspeccionar pintura del equipo, de ser necesario aplicar nueva.	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento
24	Realizar prueba hidrostática para verificar la integridad de la carcasa y de los tubos, informar resultado y tomar acción si requiere.	Bienal	Confiabilidad y Mantenimiento

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

1. La condición de los equipos pertenecientes a la sección de producción de gas de síntesis (sección 4100) evidenció las deficiencias del proceso actual, como el deterioro del horno reformador, pésimo estado de sistemas de protección de los intercambiadores de calor, inadecuados cambios de parámetros operacionales, lo que significa mayor probabilidad a parar planta y reducir ingresos en la empresa.
2. La jerarquización de los equipos estáticos por medio de la matriz de criticidad de Supermetanol dio como resultado que el horno reformador H-4101 y el rehervidor E-4103 son los equipos con índice de alto riesgo.
3. Por medio del análisis de los modos y efectos de falla (AMEF), se determinaron once (11) modos de fallas en total, siendo siete (7) para el horno reformador y cuatro (4) para el rehervidor, resultando determinantes para el horno: fluencia de tubos catalíticos y refractario desprendido y deteriorado prematuramente, y para el rehervidor: rotura de la carcasa y fuga de fluido por brida de cabezales.
4. Se identificaron las causas de las fallas recurrentes a partir del análisis causa raíz (ACR) aplicado a los equipos de alto riesgo de la sección de producción de gas de síntesis, determinándose que en el horno reformador H-4101 los tubos catalíticos están siendo afectados por incidencia de llama y sobrecalentamiento y el material refractario por desprendimiento y agrietamiento, estas fallas se presentaron mayoritariamente por la falta de adiestramiento del personal y fallas en la gestión de mantenimiento.

5. Las fallas recurrentes presentadas en el rehervidor fueron las fugas por carcasa debido a corrosión localizada originada principalmente por la falta de supervisión y fallas en la gestión de mantenimiento.

6. Se propusieron actividades de mejora de alta, media y baja prioridad, para así atacar directamente a los problemas más críticos que presentan los equipos. Entre las de alta prioridad se encuentran para el horno: procura de tubos catalíticos, reemplazo de refractario e inspección de determinados quemadores; y para el rehervidor: remoción e inserto de parche con soldadura, instalar nuevo sistema de protección mecánica e instalar cupones de medición requeridos.

5.2 Recomendaciones

1. Impartición de cursos y adiestramientos en cada gerencia para atacar y corregir las fallas en gestión de mantenimiento, fallas en supervisión, carencia de procedimientos de procura e incumplimientos de plan de inspección.

2. Evaluar posibilidad de implementar las mejoras propuestas en el capítulo 4, sección 4.5, para elevar la confiabilidad y optimizar el uso de los recursos destinados a la protección de los equipos estáticos más riesgosos en la sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100).

3. Fortalecer las competencias del personal de mantenimiento a través de un programa de capacitación integral sobre normas de trabajo, riesgos asociados a equipos críticos y procedimientos de seguridad, reduciendo al mínimo las incidencias causadas por errores humanos.

4. Elaborar y difundir procedimientos de inspección visual del horno para que se realice periódicamente bajo las normativas correspondientes, tomando en cuenta todos los elementos que lo componen (tubos catalíticos, paredes, quemadores, material refractario, etc).

5. Compartir esta información con todo el personal del área para generar conciencia sobre los equipos de alto riesgo que, en caso de falla, pueden afectar significativamente la rentabilidad de la empresa, así como aquellos que representan un mayor riesgo para la seguridad y el medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

8.1. Bibliografía Citada

[1] Velásquez, L. (2022). “Propuesta de mejoras a las bombas de exportación de crudo (P-5003-A/B/S). Adscritas a Petrocedeno S.A.”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Oriente. Anzoátegui– Venezuela.

[2] Guzman, J. (2017). “Propuesta de Mejoras Basado en Analisis de Fallas de los Equipos Criticos del Turbogenerador TG-6”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Oriente. Anzoátegui– Venezuela.

[3] Fernández, E. (2016). “Propuesta de Mejoras a los Equipos Críticos del Sistema de Compresión de Gas de la Planta Compresora Orocuá 05 Distrito Furrial, mediante el análisis de falla”. Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico, Universidad de Oriente. Anzoátegui– Venezuela.

[4] Supermetanol, C.A. (2015). “Proceso de Producción de Gas de Síntesis”.

[5] SIS (31/032017). ¿Qué es un horno industrial y para qué sirve? <https://sissa.com.co/que-es-un-horno-industrial-y-para-que-sirve/>

[6] TSOLUCIONA (28/042023). Intercambiador de calor: ¿qué es y para qué sirve? <https://t-solucion.com/intercambiadores-calor-que-son-sirven/>

[7] Kardek, A, Nascif, J. (2002). Mantenimiento, Función Estratégica, Rio de Janeiro, Brasil.

[8] Gutiérrez, A. M. (2009). MANTENIMIENTO. Planeación, ejecución y control. ALPHA EDITORIAL.

[9] SUÁREZ, D. Y BRAVO, D (2008), “Mantenimiento Mecánico.” Guía Teórico-Práctico, Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Oriente, Barcelona, Venezuela.

[10] CONFIMA & CONSULTORES. (2007), “Análisis de Fallas”. Puerto la Cruz, Venezuela.

[11] Montilla, C. (2016). Fundamentos de mantenimiento industrial. Editorial UTP. Pereira, Colombia.

[12]. Moubray, J. (1997). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad. Editorial Industrial Press.

8.2. Bibliografía Adicional

- Hernández, Sampieri, Baptista (2011). “Metodología de la Investigación”. Editorial McGraw Hill. México.
- Cengel, Y. (1990). “Termodinámica”. Volumen I. Editorial Continental. México.

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y
ASCENSO**

TÍTULO	“PROPUESTA DE MEJORAS A LOS EQUIPOS ESTÁTICOS CRÍTICOS DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN DE GAS DE SÍNTESIS (SECCIÓN 4100) DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE METANOL, SUPERMETANOL C.A., MEDIANTE UN MCC.”.
SUBTÍTULO	

AUTOR(ES)

APELLIDOS Y NOMBRES	CVLAC / E_MAIL
Paravia P, Leandro D.	CVLAC: 27.652.350 E_MAIL leandroparavia@gmail.com

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

falla
confiabilidad
disponibilidad
equipos
mantenibilidad
estáticos
mantenimiento

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

AREA	SUBAREA
Escuela De Ingeniería Y Ciencias Aplicadas.	Departamento De Ingeniería Mecánica.

RESUMEN (ABSTRACT):

En el presente trabajo se propuso las mejoras a los equipos estáticos críticos de la Sección de producción de gas de síntesis (Sección 4100) de la planta de producción de metanol de Supermetanol. Para ello se describió el contexto operacional de la sección, posteriormente se jerarquizaron los equipos estáticos usando una matriz de criticidad, luego se determinó las causas por las cuales se presentan las fallas por medio de un AMEF, a partir de ello se identificaron las raíces físicas, humanas y latentes de los equipos estáticos críticos por medio de un ACR y finalmente se propusieron mejoras a los equipos críticos. Para describir el contexto operacional, en primer lugar, se debió conocer cuáles son los equipos estáticos que conforman la sección y su situación actual. En el trabajo se determinó que las fallas que dificultan el buen desarrollo del proceso son, deterioro notable del horno y presencia de altas temperaturas en el mismo, fugas en los intercambiadores, presencia de corrosión en diversos equipos, deterioro de sistemas de protección mecánicos, así como también material refractario deteriorado en diversos equipos. Al realizar la jerarquización resultaron críticos el horno reformador y el rehervidor con un índice de riesgo de 204 y 52 respectivamente. El ACR aplicado arrojó en cuanto al horno reformador que las raíces latentes involucradas fueron, gestión de mantenimiento inadecuado, falta de procedimientos, falta de adiestramiento del personal e incumplimiento de plan de inspección, y respecto al rehervidor, falta de supervisión, falta de entrenamiento, falta de supervisión e incumplimiento del plan de inspección. En cuanto a la propuesta de mejoras, es de alta prioridad sustituir en el horno reformador los tubos catalíticos por lo que se debe realizar la procura de los mismos, así como también reparar e instalar material refractario donde amerite, y en el rehervidor se debe instalar un parche en zonas donde se presentan las fugas y también remover sistema de protección mecánica deteriorado e instalar nuevo donde se requiera.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / Código CVLAC / E_MAIL			
Bravo, Darwin	ROL	CA	AS	TU JU
	CVLAC:	8.298.181		
	E_MAIL	darwinjbg@gmail.com		
	E_MAIL			
García, Francisco	ROL	CA	AS	TU JU
	CVLAC:	5.188.071		
	E_MAIL	garciacova@gmail.com		
	E_MAIL			
Payares, Félix	ROL	CA	AS	TU JU
	CVLAC:	5.976.608		
	E_MAIL	fpayares@gmail.com		
	E_MAIL			

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2025	05	02
AÑO	MES	DIA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
NAZTTG_PPLD2025	Application/msword

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:

ALCANCE

ESPACIAL: SUPERMETANOL, C.A. (OPCIONAL)

TEMPORAL: 06 MESES (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero mecánico.

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado.

ÁREA DE ESTUDIO:

Escuela de ingeniería y ciencias aplicadas.

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente/Núcleo de Anzoátegui.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN°0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda "SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009".

Leído el oficio SIBI - 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA

RECIBIDO POR *Ragley*

FECHA *5/8/09* HORA *5:20*

La presente publicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,

Juan A. Bolaños Cunele
Secretario



C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Telemática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YOC/marujá

Apartado Correos 094 / Teléf: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS:

“Los trabajos de grado son exclusiva propiedad de la universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización.”

Leandro Paravia
AUTOR

Prof. Darwin Bravo
TUTOR

Prof. Francisco García
JURADO

Prof. Félix Payares
JURADO

Prof. Carlos Gomes
POR LA COMISIÓN DE TRABAJOS DE GRADO