

# Gestión de la confiabilidad de activos de investigación y desarrollo (I+D) en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*: nivel instrumental



Universidad  
Pontificia  
Bolívariana



# Autores

## UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

Elsa Beatriz Gutiérrez Navas  
Gladys Elena Rueda Barrios  
Nelson Enrique Moreno Gómez  
Martha Lucía Rey Villamizar  
Maryory Patricia Villamizar León  
Alfonso Santos Jaimes  
Juan Carlos Villamizar Rincón  
Marcela Villa Marulanda  
Ómar Pinzón Ardila  
Silvia Alejandra Sotelo López  
Pedro Nel Jaimes Jaimes  
Diana Teresa Gómez Forero

## ECOPETROL S.A.

Nilsson Javier Martínez Pérez  
Rossvan Johan Plata Villamizar  
Carlos Eduardo Martínez Arias  
Héctor Julio Picón Hernández  
Carlos Andrés González Sánchez  
David de Jesús Pérez Martínez

## Estudiantes

Paula Carolina Santis Jaimes  
Jaime José Riascos Bueno  
Amparo Lizette Pérez Saavedra  
Óscar Fernando Arciniegas Velandia  
Carlos Alfonso Mejía Rivera  
Henry Yitzhak Acosta Carrascal  
Orlando José Espinosa López  
Juan Felipe Moreno Caballero  
José Luis Mojica Estrada,  
Yeirleth Liliana Sánchez Cancela  
Jorge Andrés Roa Jeréz  
Víctor Andrés Monroy Hernández

# Gestión de la confiabilidad de activos de investigación y desarrollo (I+D) en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*: nivel instrumental

Universidad Pontificia Bolivariana  
Ecopetrol S.A.

620.0046  
G393

Gestión de la confiabilidad de activos de investigación y desarrollo (I+D) en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*: nivel instrumental / Medellín: UPB, Seccional Bucaramanga y Ecopetrol. 2019. 422 páginas : 16.5 x 23.5 cm. ISBN: 978-958-764-689-4 / 978-958-764-690-0 (versión digital)

1. Mantenimiento industrial -- 2. Centro de Innovación y Tecnología -- Gestión de activos -- 3. Investigación y desarrollo -- Gestión de activos -- 4. Laboratorios -- Equipos y accesorios -- 5. Activos físicos -- Análisis de costos -- 6. Universidad Pontificia Bolivariana. Sede Bucaramanga -- Convenios -- I. Título

CO-MdUPB / spa / rda  
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Universidad Pontificia Bolivariana  
© Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo  
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana  
Vigilada Mineducación

**Gestión de la confiabilidad de activos de investigación y desarrollo (I+D) en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*: nivel instrumental**

ISBN: 978-958-764-689-4

ISBN: 978-958-764-690-0 (versión digital)

DOI: <http://doi.org/10.18566/978-958-764-690-0>

Primera edición, 2019

Escuela de Ingenierías

Departamento de Ciencias Básicas

Dirección de Investigaciones y Transferencia - DIT

Seccional Bucaramanga

**Arzobispo de Medellín y Gran Canciller UPB:** Mons. Ricardo Tobón Restrepo

**Rector General:** Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

**Rector Seccional Bucaramanga:** Presbítero Gustavo Méndez Paredes

**Vicerrectora Académica Seccional Bucaramanga:** Ana Fernanda Uribe Rodríguez

**Decano de la Escuela de Ingenierías:** Edwin Dugarte Peña

**Decana de la Escuela de Economía, Administración**

**y Negocios EAN:** Gladys Mireya Valero Córdoba

**Gestora Editorial Seccional Bucaramanga:** Ginette Rocío Moreno Cañas

**Editor:** Juan Carlos Rodas Montoya

**Coordinación de Producción:** Ana Milena Gómez Correa

**Diseño colección:** Mauricio Morales Castrillón

**Diagramación e ilustración portada:** Sissi Tamayo Chavarriga

**Corrección de Estilo:** Delio David Arango Navarro

**Dirección Editorial:**

Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2019

e-mail: [editorial@upb.edu.co](mailto:editorial@upb.edu.co)

[www.upb.edu.co](http://www.upb.edu.co)

Telefax: (57)(4) 354 4565

A.A. 56006 - Medellín - Colombia

**Radicado:** 1805-13-12-18

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana y Ecopetrol S.A..

@Autores

## UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - UPB

Elsa Beatriz Gutiérrez Navas  
Gladys Elena Rueda Barrios  
Nelson Enrique Moreno Gómez  
Martha Lucía Rey Villamizar  
Maryory Patricia Villamizar León  
Alfonso Santos Jaimes  
Juan Carlos Villamizar Rincón  
Marcela Villa Marulanda  
Omar Pinzón Ardila  
Silvia Alejandra Sotelo López  
Pedro Nel Jaimes Jaimes  
Diana Teresa Gómez Forero

## ECOPETROL S.A.

Nilsson Javier Martínez Pérez  
Rossvan Johan Plata Villamizar  
Carlos Eduardo Martínez Arias  
Héctor Julio Picón Hernández  
Carlos Andrés González Sánchez  
David de Jesús Pérez Martínez

## Estudiantes

Paula Carolina Santis Jaimes  
Jaime José Riascos Bueno  
Amparo Lizette Pérez Saavedra  
Oscar Fernando Arciniegas Velandia  
Carlos Alfonso Mejía Rivera  
Henry Yitzhak Acosta Carrascal  
Orlando José Espinosa López  
Juan Felipe Moreno Caballero  
José Luis Mojica Estrada  
Yeirleth Liliana Sánchez Cancela  
Jorge Andrés Roa Jeréz  
Víctor Andrés Monroy Hernández

## Apoyos Institucionales Convenio Marco de Cooperación Tecnológica UPB Ecopetrol 2017

Director Instituto Colombiano del Petróleo (ICP),  
Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol S.A.:  
Andrés Eduardo Mantilla Zárate

Rector General UPB:  
Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda

Administrador del Convenio de Cooperación Tecnológica, Ecopetrol - ICP:  
Gonzalo Leal Díaz

Administrador del Convenio Marco de Cooperación Tecnológica, UPB:  
Jackson Reina Alzate

Administrador del Acuerdo de Cooperación No. 03, Ecopetrol - ICP:  
Nilsson Javier Martínez Pérez

Administradora del Acuerdo de Cooperación No. 03, UPB:  
Alba Soraya Aguilar Jiménez

Gestor Técnico del Acuerdo de Cooperación No. 03, Ecopetrol - ICP:  
Gabriel Cáceres Flórez

## Contactos por capítulo

### Modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI

Elsa Beatriz Gutiérrez Navas, Paula Carolina Santis Jaimes y Nilsson Javier Martínez Pérez  
elsa.gutierrez@upb.edu.co; nilsson.martinez@ecopetrol.com.co

### Modelo normativo y especificaciones técnicas para la gestión de activos en centros de I+D

Gladys Elena Rueda Barrios, Jaime José Riascos Bueno y Rossvan Johan Plata Villamizar  
gladys.rueda@upb.edu.co; rossvan.plata@ecopetrol.com.co

### Modelado del costo del ciclo de vida de los activos de I+D en una industria petrolera

Nelson Enrique Moreno Gómez, Martha Lucía Rey Villamizar, Amparo Lizette Pérez  
Saavedra, Óscar Fernando Arciniegas Velandia, Maryory Patricia Villamizar León y Rossvan  
Johan Plata Villamizar  
nelson.moreno@upb.edu.co; martha.rey@upb.edu.co; maryory.villamizar@upb.edu.co;  
rossvan.plata@ecopetrol.com.co

### Parametrización de la severidad de los tipos de fallo para ocho plantas piloto en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*

Maryory Patricia Villamizar León, Alfonso Santos Jaimes, Juan Carlos Villamizar Rincón,  
Marcela Villa Marulanda, Ómar Pinzón Ardila, Silvia Alejandra Sotelo López, Pedro Nel  
Jaimes Jaimes, Carlos Alfonso Mejía Rivera, Henry Yitzhak Acosta Carrascal, Orlando José  
Espinosa López, Juan Felipe Moreno Caballero, José Luis Mojica Estrada, Yeirleth Liliana  
Sánchez Cancela, Jorge Andrés Roa Jeréz, Rossvan Johan Plata Villamizar, Carlos Eduardo  
Martínez Arias, Héctor Julio Picón Hernández, Carlos Andrés González Sánchez, David de  
Jesús Pérez Martínez  
maryory.villamizar@upb.edu.co; alfonso.santos@upb.edu.co; juan.villamizar@upb.edu.co;  
marcela.villa@upb.edu.co; omar.pinzon@upb.edu.co; silvia.sotelo@upb.edu.co;  
pedro.jaimes@upb.edu.co; rossvan.plata@ecopetrol.com.co

### Sistema de información *ActivosID* para la gestión documental en el acuerdo N.º 3 Ecopetrol-UPB: un estudio de caso

Diana Teresa Gómez Forero, Víctor Andrés Monroy Hernández  
diana.gomez@upb.edu.co, victor9507@gmail.com



## Agradecimientos

*A las entidades, instituciones y personas que apoyaron  
la realización del proyecto*

*Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga*

*Ecopetrol - ICP*

*Gonzalo Leal Díaz  
Administrador del Convenio Marco de Cooperación Tecnológica,  
Ecopetrol - ICP*

*Jackson Reina Alzate,  
Administrador del Convenio Marco  
de Cooperación Tecnológica, UPB*

*Alba Soraya Aguilar Jiménez  
Administradora del Convenio Marco  
de Cooperación Tecnológica, UPB*

*Nilsson Javier Martínez Pérez  
Administrador del Acuerdo de Cooperación, Ecopetrol - ICP*

*Gabriel Cáceres Flórez  
Gestor Técnico, Ecopetrol - ICP*

*Maryory Patricia Villamizar León  
Líder Técnico del Acuerdo de Cooperación, UPB*

*Rossvan Johan Plata Villamizar  
Líder Técnico del Acuerdo de Cooperación, Ecopetrol - ICP*



# Contenido

Alianzas para el progreso .....	23
Introducción: nivel instrumental.....	25
Capítulo 1. Modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del cuadro de mando integral CMI) .....	31
1.1 Introducción .....	34
1.2 Revisión de literatura .....	36
1.2.1 <i>Balanced Scorecard</i> (BSC) o cuadro de mando integral (CMI) .....	36
1.2.2 Indicadores de gestión.....	37
1.2.3 Sistemas de gestión de activos.....	38
1.2.4 ISO 55000 .....	39
1.3 Metodología .....	41
1.4 Resultados.....	42
1.4.1 Evaluación de un modelo de medición estratégica de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral a partir de su utilidad para evidenciar el cumplimiento de los requisitos contemplados en la norma NTC-ISO 55001.....	42
1.4.2 Propuesta de un modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI.....	47
1.4.3 Estudio de la facilidad de la implementación del modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma ISO 55001 desde las perspectivas del CMI por parte del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol.....	51
1.5 Conclusiones .....	55
Referencias .....	56

Capítulo 2. Modelo normativo y especificaciones técnicas para la gestión de activos en Centros de Investigación y Desarrollo (I+D).....	133
2.1 Introducción .....	136
2.2 Revisión de la literatura.....	137
2.2.1 Antecedentes.....	137
2.2.2 Conceptualización y teorías .....	139
2.3 Metodología .....	147
2.4 Resultados.....	149
2.4.1 Diferencias entre activos industriales y activos de I+D .....	149
2.4.2 Ciclo de vida en activos industriales y activos I+D .....	151
2.4.3 Modelos de gestión de activos industriales y gestión de activos I+D .....	154
2.4.4 Metodologías de diagnóstico para la gestión de activos.....	168
2.4.5 Normas y especificaciones técnicas relacionadas con la gestión de activos.....	176
2.5 Conclusiones .....	178
Referencias.....	181
Capítulo 3. Modelado del costo del ciclo de vida de los activos de I+D en una industria petrolera.....	213
3.1 Introducción .....	216
3.2 Revisión de literatura .....	217
3.2.1 Antecedentes.....	217
3.2.2 Conceptos, teorías o enfoques.....	218
3.2.2.1 Costeo basado en actividades (ABC).....	222
3.2.2.2 Costeo por ciclo de vida.....	225
3.2.2.3 Sistemas de costeo híbridos .....	230
3.3 Metodología.....	230
3.3.1 Características metodológicas.....	230
3.3.2 Fases del proceso de investigación .....	231
3.4 Resultados.....	234
3.5 Discusión de los resultados .....	241
3.6 Conclusiones .....	244
Referencias.....	245

Capítulo 4. Parametrización de la severidad de los tipos de fallo para ocho plantas piloto en un centro de innovación y tecnología del sector oil & gas.....	249
4.1 Introducción .....	252
4.2 Revisión de literatura .....	256
4.2.1 Conceptos, teorías o enfoques .....	256
4.2.1.1 Metodología SIX SIGMA.....	256
4.2.1.2 Técnica de diagnóstico MES (Maintenance Effectiveness Survey) .....	258
4.2.1.3 Análisis de causa raíz (ACR) .....	259
4.2.1.4 Análisis de los modos de fallo y sus efectos (AMFE).....	266
4.2.1.5 Análisis de modos, efectos y criticidad del fallo (AMFEC).....	272
4.3 Metodología .....	276
4.4 Resultados.....	285
4.5 Discusión y conclusiones.....	355
4.5.1 Discusión y conclusiones para evaluar el desempeño de la gestión del mantenimiento a partir de la auditoría MES (Maintenance Effectiveness Survey) como apoyo a la toma de decisiones en el proceso de gestión del mantenimiento.....	355
4.5.2 Discusión y conclusiones para analizar los eventos de fallo de las plantas piloto, a partir del análisis de causa raíz (ACR), que permita prevenir la frecuencia, minimizar y controlar los efectos de las fallas.....	356
4.5.3 Discusión de los resultados para el análisis de los tipos de fallo priorizados, su severidad y su frecuencia de ocurrencia, a partir de la implementación del análisis de tipos y criticidad de fallo.....	357
Referencias.....	358
Capítulo 5. Sistema de información Activos I+D para la gestión documental en el acuerdo N.º 3 Ecopetrol-UPB: un estudio de caso.....	363
5.1 Introducción .....	366
5.2 Marco teórico .....	371

5.2.1	Modelo evolutivo de desarrollo de software.....	371
5.2.2	Política cero papel.....	372
5.2.3	Tecnologías adecuadas para el sitio web.....	372
5.2.4	Herramientas y ataques de seguridad.....	374
5.2.5	Propiedad intelectual.....	375
5.3	Resultados.....	375
5.3.1	Especificación de requerimientos.....	375
5.3.2	Diseño general y detallado.....	378
5.3.3	Modelo conceptual de la base de datos.....	382
5.3.4	Tecnologías aplicadas al sitio web Activos I+D.....	382
5.3.5	Recursos asignados en el CCA.....	384
5.4	Sistema de información Activos I+D.....	385
5.4.1	Inicio y autenticación.....	385
5.4.2	Funcionalidades por roles.....	386
5.4.3	Cambio de contraseña.....	387
5.4.4	Documentos de interés.....	387
5.4.5	Directorio.....	388
5.4.6	Mis entregables.....	388
5.4.7	Mis estudiantes.....	391
5.4.8	Docentes.....	392
5.4.9	Buzón.....	393
5.4.10	Informes mensuales y trimestrales.....	393
5.4.11	Indicadores de cumplimiento.....	394
5.5	Aspectos de seguridad informática.....	396
5.6	Propiedad intelectual.....	399
5.7	Implementación de la política cero papel.....	402
5.7.1	¿Cuántas hojas se generan en el Acuerdo?.....	402
5.7.2	¿Qué otros beneficios además del ambiental, se obtienen para el Acuerdo al implementar la política de cero papel?.....	404
5.8	Conclusiones y recomendaciones.....	405
5.9	Agradecimientos.....	406
	Referencias.....	406
	Consideraciones finales.....	411

## Lista de tablas

Tabla 1.1.	Requisitos norma ISO 55001.....	40
Tabla 1.2.	Aporte del modelo de evaluación de la gestión de activos de I+D desde el CMI para la medición de los requerimientos de la norma NTC-ISO 55001.....	44
Tabla 1.3.	Aporte del modelo de evaluación de la gestión de activos de I+D desde el CMI al seguimiento de los criterios de evaluación de los requisitos de la norma NTC-ISO 55001.....	45
Tabla 1.4.	Indicadores propuestos para evidenciar el cumplimiento de los criterios de evaluación de la norma NTC-ISO 55001 no contemplado en el modelo de indicadores estudiado.....	48
Tabla 1.5.	Diagnóstico de aporte de los indicadores implementados y priorizados por el ICP para evaluar los requisitos de la norma NTC-ISO 55001.....	53
Tabla 2.1.	Diferencias entre activo industrial y activo I+D de acuerdo con la etapa del ciclo de vida.....	152
Tabla 2.2.	Pilares para implementar un modelo de gestión de activos basado en el TPM.....	165
Tabla 2.3.	Requerimientos estipulados por la PAM.....	171
Tabla 2.4.	Categorización sobre el nivel de madurez según la SAM (2015).....	173
Tabla 2.5.	Requerimientos estipulados por la SAM (2015).....	174
Tabla 2.6.	Normas y especificaciones técnicas asociadas con la gestión de activos.....	176
Tabla 4.1.	Ejemplo ilustrativo de clasificación de severidad para efectos finales.....	272
Tabla 4.2.	Metodologías para el análisis del riesgo.....	273
Tabla 4.3.	Metodología de análisis de causa raíz.....	283
Tabla 4.4.	Acciones de mejora respuestas mes.....	291
Tabla 4.5.	Tipos de fallo priorizados para cada planta piloto.....	297

Tabla 4.6.	Resultados de la definición y verificación de hipótesis para los tipos de fallo priorizados.....	299
Tabla 4.7.	Análisis de causa raíz concreta, planta piloto 1, tipo mecánico .....	301
Tabla 4.8.	Análisis de causa raíz concreta, planta piloto 2, tipo mecánico .....	303
Tabla 4.9.	Análisis de causa raíz concreta, planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taponamiento) .....	306
Tabla 4.10.	Análisis de causa raíz concreto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural) .....	308
Tabla 4.11.	Análisis de causa raíz concreta planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (falla de comunicaciones) .....	312
Tabla 4.12.	Análisis de causa raíz concreta planta piloto 5, tipo mecánico .....	317
Tabla 4.13.	Análisis de causa raíz concreta planta piloto 6, tipo mecánico .....	320
Tabla 4.14.	Análisis de causa raíz concreta planta piloto 7, tipo mecánico .....	324
Tabla 4.15.	Análisis de causa raíz concreta planta piloto 8, tipo de fallo: eléctrico.....	329
Tabla 4.16.	Análisis de causa raíz concreto planta piloto 8, tipo de fallo: mecánico.....	333
Tabla 4.17.	Resumen resultados análisis causa raíz para las ocho plantas piloto.....	337
Tabla 4.18.	Resultados para frecuencia de fallos según el tipo de fallo.....	341
Tabla 4.19.	Resultados severidad por tipo de fallo para las plantas piloto .....	347
Tabla 4.20.	Resumen general para oportunidades de mejora .....	347
Tabla 4.21.	Diferencias generales encontradas entre la norma y los AMEF disponibles.....	353
Tabla 4.22.	Diferencias generales encontradas entre la norma y los AMEF disponibles.....	353
Tabla 5. 1.	Fechas de entregas mensuales según el rol.....	368
Tabla 5.2.	Especificaciones de la máquina virtual del CCA.....	384
Tabla 5.3.	Componentes de software empleados en el sistema de información Activos I+D .....	401

## Lista de figuras

Figura 1.1	Ciclo de vida de un activo.....	39
Figura 2.1.	Clasificación de los activos .....	140
Figura 2.2.	Elementos de la gestión de activos .....	143
Figura 2.3.	Etapas del ciclo de vida de un activo físico.....	145
Figura 2.4.	Modelo de gestión de activos con base en la ISO 55001 .....	157
Figura 2.5.	Modelo de gestión de activos con base en los componentes que conforman a la norma ISO 55001.....	158
Figura 2.6.	Modelo de gestión de activos propuesto por la PAS 55 .....	159
Figura 2.7.	Modelo de gestión de activos propuesto por el PMM Institute for Learning.....	161
Figura 2.8.	Modelo de gestión de activos para I+D .....	167
Figura 2.9.	Componentes del registro de los equipos de laboratorio .....	168
Figura 2.10.	Programa de mantenimiento para equipos de laboratorio, Universidad Nacional.....	169
Figura 2.11.	Categorización del diagnóstico de gestión de activos según la PAM.....	170
Figura 2.12	Integración entre las diferentes normas y especificaciones técnicas asociadas con el sistema de gestión de activos .....	179
Figura 3.1.	Sistemas de costeo .....	219
Figura 3.2.	Pasos para la elaboración de un costeo basado en actividades.....	223
Figura 3.3.	Asignación de componentes de costo a centros de costo.....	224
Figura 3.4.	Costeo por ciclo de vida.....	226
Figura 3.6.	Metodología para aplicación de sistema de costos .....	239

Figura 3.7. Comportamiento de los costos en cada área de un Centro de Innovación y Tecnología.....	240	Figura 4.21. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taconamiento) .....	310
Figura 4.1. Diagrama de relación de la estructura teórica utilizada .....	257	Figura 4.22. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taconamiento) .....	311
Figura 4.2. Pasos del ACR de forma cíclica.....	262	Figura 4.23. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural) .....	315
Figura 4.3. Diagrama lógico similitudes entre un ACR y una investigación criminal.....	264	Figura 4.24. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural). Segunda opción.....	315
Figura 4.4. Relación entre los modos de fallo y sus efectos en una jerarquía de sistema.....	268	Figura 4.25. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural) .....	316
Figura 4.5. Diagrama de flujo del análisis .....	271	Figura 4.26. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, (falta comunicaciones) .....	319
Figura 4.6. Diagrama de relación de la estructura metodológica utilizada.....	277	Figura 4.27. Diagrama causa-efecto planta piloto 5 .....	323
Figura 4.7. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 1 .....	287	Figura 4.28. Diagrama cinco porqués planta piloto 6 .....	327
Figura 4.8. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 2 .....	287	Figura 4.29. Diagrama causa-efecto planta piloto 6 .....	328
Figura 4.9. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 3.....	288	Figura 4.30. Diagrama cinco porqués planta piloto 7.....	331
Figura 4.10. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 4.....	288	Figura 4.31. Diagrama causa-efecto planta piloto 7 .....	332
Figura 4.11. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 5.....	289	Figura 4.32. Diagrama causa-efecto planta piloto 8, tipo de fallo: eléctrico.....	336
Figura 4.12. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 6.....	289	Figura 4.33. Diagrama causa-efecto planta piloto 8, tipo de fallo: mecánico.....	339
Figura 4.13. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 7.....	290	Figura 4.34. Líneas de tiempo para los incidentes según el tipo de fallo priorizado para las plantas piloto .....	348
Figura 4.14. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 8.....	290	Figura 5.1. Organigrama del Acuerdo N.º 3.....	368
Figura 4.15. Diagrama cinco porqués planta piloto 1.....	302	Figura 5.2. Metodología evolutiva .....	372
Figura 4.16. Convención de colores asociada a los diagramas de causa-efecto .....	303	Figura 5.3. Inicio de sesión .....	379
Figura 4.17. Diagrama causa-efecto planta piloto 1 .....	303	Figura 5.4. Cargar documento rol estudiante.....	379
Figura 4.18. Diagrama cinco porqués planta piloto 2.....	305	Figura 5.5. Cargar documento rol docente.....	381
Figura 4.19. Diagrama causa-efecto plan.....	305	Figura 5.6. Cargar documento rol líder.....	381
Figura 4.20. Diagrama causa-efecto planta piloto 3 .....	308	Figura 5.7. Revisar documentos rol ICP.....	382
		Figura 5.8. Diagrama entidad relación.....	383
		Figura 5.9. Tecnologías implementadas en la arquitectura cliente-servidor .....	383

Figura 5.10. Comunicación por SSH entre un cliente y la máquina alojada en el CCA.....	385	Figura 5.36. Estimado del consumo de papel por año para un integrante y para todos .....	403
Figura 5.11. Interfaz de inicio.....	385	Figura 5.37. Estimado del consumo de papel de todos los integrantes por cinco años .....	403
Figura 5.12. Funcionalidades roles estudiante y docente .....	386	Figura 5.38. Costo total que se puede ahorrar por los cinco años del proyecto.....	404
Figura 5.13. Funcionalidades roles líder UPB y líder ICP.....	387		
Figura 5.14. Cambiar contraseña.....	388		
Figura 5.15. Buscar documentos de interés .....	388		
Figura 5.16. Directorio de docentes .....	389		
Figura 5.17. Crear entregable .....	390		
Figura 5.18. Listado de entregables, sin evaluar por el docente .....	390		
Figura 5.19. Listado de entregables revisados por el docente .....	391		
Figura 5.20. Entregables revisados por los líderes UPB e ICP .....	391		
Figura 5.21. Ejemplo de estudiantes asignados a un docente.....	392		
Figura 5.22. Listado de informes del estudiante y su estado de revisión visto desde el rol de docente .....	392		
Figura 5.23. Lista de docentes .....	393		
Figura 5.24. Lista de informes del docente elegido por líder UPB.....	393		
Figura 5.25. Gestionar fechas de cierre de los buzones de estudiante y de docente .....	394		
Figura 5.26. Informes mensuales del líder UPB disponibles para la revisión del líder ICP .....	394		
Figura 5.27. Estadísticas de puntualidad 2017.....	395		
Figura 5.28. Estadísticas de puntualidad, agosto 2017 .....	395		
Figura 5.29. Resultado del escaneo de puertos abiertos del servidor del CCA con NMAP.....	396		
Figura 5.30. Resultado detallado del escaneo del servidor del CCA .....	397		
Figura 5.31. Resultado de la herramienta Nessus .....	397		
Figura 5.32. Resultado de pruebas de vulnerabilidades según su grado de criticidad, realizadas con la herramienta Nessus .....	398		
Figura 5.33. Certificado digital.....	399		
Figura 5.34. Situación contractual de los autores del sitio Web Activos I+D.....	400		
Figura 5.35. Diagrama de despliegue del sistema de información Activos I+D .....	401		



## Alianzas para el progreso

En el año 2016 firmamos la Alianza Tecnológica entre la UPB y ECOPE-TROL para "aunar esfuerzos hacia el desarrollo y fortalecimiento conjunto de capacidades institucionales en el sector oil & gas, con el fin de promover e impulsar un entorno regional de crecimiento sostenible, mediante la realización conjunta de actividades científicas, tecnológicas y de innovación".

Se trata de un caso de éxito de la dinámica para la competitividad de la región y el país, mediante la alianza Universidad – Empresa – Estado, como actores del desarrollo económico.

La investigación colaborativa y el desarrollo de soluciones tecnológicas bajo un mismo techo que hemos implementado, en el marco de principios éticos, responsables y de confianza mutua, nos han permitido generar nuevo conocimiento, desarrollo tecnológico y formación de recurso humano, en la comprensión de problemas reales desde diferentes perspectivas teórico-prácticas.

En esta oportunidad, nuestro foco fue el de abordar como línea de investigación la gestión de activos de un centro de innovación y tecnología, es decir, cómo hacer que los equipos que soportan las investigaciones, así como sus instalaciones e infraestructura, son fuente de generación de valor a partir de la alineación de las estrategias con la operación de los mismos, maximizando el tiempo de vida útil y alcanzando los objetivos corporativos que se formulan desde la alta dirección.

Además, mediante una adecuada política de confiabilidad de los activos de I+D, garantizar el funcionamiento duradero e ininterrumpido en el tiempo, sin variar los estándares de calidad de sus actividades, logrando la optimización de su mantenimiento y por ende los beneficios a la empresa.

Los resultados de este trabajo colaborativo facilitaron la transferencia de conocimiento y aprendizaje en doble vía, fortaleciendo las competencias

en el saber, ser y hacer de los estudiantes y profesionales involucrados, mediante trabajos de grado de nivel de pregrado y posgrado, publicación de artículos científicos, ponencias nacionales e internacionales y desarrollos tecnológicos y de innovación que contribuyen al desarrollo de la industria.

Hoy compartimos esta obra de investigación que ha sido posible gracias a la participación y compromiso de directivos, administradores, profesores, estudiantes de pregrado y postgrado de la Universidad Pontificia Bolivariana, así como de los funcionarios del Instituto Colombiano del Petróleo, Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol, y que a través de la cual evidenciamos las capacidades físicas y tecnológicas con las que cuentan las dos instituciones.

La experiencia en el desarrollo de proyectos conjuntos entre las dos instituciones, una educativa y la otra del segmento de la energía, nos permite hacer aportes significativos al conocimiento científico y tecnológico, dando respuestas a las necesidades de nuestro entorno y convirtiéndose en una gran apuesta a emular para el desarrollo y competitividad de la región y del país.

**Andrés Eduardo Mantilla Zárate**  
Director Instituto Colombiano del Petróleo,  
Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol.

**Pbro. Gustavo Méndez Paredes**  
Rector Seccional Bucaramanga  
Universidad Pontificia Bolivariana.

## Introducción: nivel instrumental

Un centro de innovación y tecnología es una organización dedicada al desarrollo de tecnología propia a partir de proyectos de investigación aplicada y de actividades de transferencia que respondan a las necesidades y oportunidades de desarrollo económico y social del país.

En su operación, los centros de innovación y tecnología utilizan una serie de activos especializados que se conocen como activos de investigación y desarrollo (en adelante activos I+D). Este tipo de activos presenta características que difieren de los equipos utilizados en el sector industrial, pues tiene por finalidad la creación de nuevo conocimiento y el desarrollo tecnológico a partir de la experimentación.

De este modo, al momento de diseñar, fabricar, construir, adquirir, acondicionar, instalar, operar, mantener, evaluar y desincorporar un activo I+D —debido a su complejidad—, se requiere de asistencia especializada que lleve al logro de modelos, metodologías y capital intelectual que puedan ser utilizados en el centro de innovación y tecnología, transferidos al sector industrial y a la sociedad en general.

Para efectuar las diferentes actividades de investigación, desarrollo tecnológico y asistencia especializada, los centros de innovación y tecnología cuentan con una moderna infraestructura y equipamiento de laboratorios y plantas piloto que debe cumplir criterios de operatividad, confiabilidad y seguridad. Para ello, es necesario investigar los métodos de confiabilidad y análisis de criticidad aplicados en la actualidad, teniendo en cuenta que la mayoría de estudios realizados y de normativas técnicas existentes lo mencionan como parte de la gestión de activos físicos de naturaleza industrial. Existen en el mundo diversas guías para el desarrollo de la gestión

de activos físicos que contienen las pautas y procedimientos que se deben implementar en una organización al momento de gestionar sus activos, desde el proceso de incorporación hasta la disposición final de este mismo una vez finaliza su vida útil.

Como parte de la gestión de activos físicos, el área de mantenimiento debe garantizar el diseño de una estrategia que permita un proceso de mantenimiento eficaz y eficiente con un adecuado nivel operativo. De acuerdo a esta situación, generalmente se implementan planes de mantenimiento para los activos I+D que son aplicados a activos industriales cuyo contexto técnico y operacional difiere del área investigativa. Con la realización de este tipo de planes de mantenimiento se presentan problemas como: elevadas tasas de falla, mayor nivel de solicitudes de mantenimiento correctivo que preventivo, reprocesamiento en las intervenciones y órdenes de trabajo ejecutadas, tiempos de respuesta altos e inadecuada priorización de activos críticos y esenciales; todo esto, finalmente, se ve reflejado en el incremento de los costos para la organización y contribuyen a la maximización de los niveles de riesgo durante el ciclo de vida del activo.

Esta problemática se presenta en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas* que es responsable de la investigación, desarrollo, transferencia y aseguramiento de tecnologías y de conocimientos estratégicos para el crecimiento de la respectiva compañía con un campo de acción que abarca toda su cadena de valor correspondiente a los procesos de exploración, producción, refinación, transporte, suministro y mercadeo, así como los temas de medio ambiente, de integridad y de automatización. Dicha organización tiene bajo su custodia activos existentes en refinerías, plantas de tratamiento, oleoductos, barrenas, sistemas de bombeo, plataformas de compresión y perforación, etc.; para los cuales los contenidos en el aspecto operacional, durante cada una de las etapas del ciclo de vida, no se ajustan a la naturaleza de los activos físicos presentes en los laboratorios y plantas piloto de su centro de innovación y tecnología.

En este contexto, se realizó un convenio entre la Universidad Pontificia Bolivariana y Ecopetrol para aunar esfuerzos en el desarrollo y

fortalecimiento conjunto de capacidades institucionales en el sector *oil & gas*, con el fin de promover e impulsar un entorno regional de crecimiento sostenible, mediante la realización conjunta de actividades científicas, tecnológicas y de innovación. El convenio permitió plantear una investigación a cuatro años 2017-2020, para buscar estrategias que permitieran dar solución al problema bajo cuatro niveles: instrumental, operacional, táctico y estratégico para un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas* y que propusiera al final del cuatrienio, como solución, un modelo matemático que permitiera optimizar los recursos involucrados en el plan de mantenimiento integrando características de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad, seguridad y coste (*Reliability, Availability, Maintainability, Safety and Costs, RAMS+C*) para el conjunto de equipos de un centro de innovación y tecnología, incorporando las características propias de su contexto operacional.

El presente libro corresponde al resultado del proceso de investigación para la optimización del mantenimiento a **nivel instrumental** de los activos I+D de un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas* incluyendo temáticas relacionadas con la parametrización de tipos de falla para equipos, análisis de costos del ciclo de vida, aproximación teórica y revisión de normatividad asociada a sistemas de gestión de activos y una propuesta de indicadores claves de desempeño para su medición, así como la identificación de las rutas de captura de datos en el sistema de información SAP junto con el desarrollo de un aplicativo web para la gestión documental.

El alcance de este libro comprende las actividades del nivel instrumental de la investigación aplicada a una muestra representativa y de mayor interés de laboratorios y plantas piloto existentes en la organización, lo que se considera como base para optimizar las estrategias y procesos de mantenimiento de activos propios de un centro de innovación y tecnología. De este modo, el objetivo fundamental es la exploración y generación de nuevo conocimiento acerca del modelado de fallos asociado a equipos de I+D, teniendo en cuenta la naturaleza de los componentes de dichos equipos, su contexto operacional, las relaciones de proceso y características del servicio de mantenimiento, a partir de las siguientes actividades:

- Referenciación y análisis de metodologías y requerimientos de un sistema de gestión del mantenimiento de activos I+D para proponer un modelo integral del sistema de gestión del mantenimiento propio de un centro de innovación y tecnología a partir de la siguiente normatividad: PAS 55, ISO 55000, ECP-GAC-G-339 y *Balanced Scorecard*.
- Parametrización de los tipos de falla de los activos I+D relevantes de las plantas piloto priorizadas, a partir del análisis de criticidad de equipos, análisis de causa raíz, caracterización de los riesgos de operabilidad bajo el análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FEMECA), con el uso de la metodología SIX SIGMA, para construir aplicativos tecnológicos soportados en R, Python y Dev C++.
- Análisis de costos de los activos I+D de las plantas piloto y laboratorios priorizados a lo largo de su ciclo de vida (incorporación, operación, mantenimiento, optimización y desincorporación) que permita diagnosticar y proponer las estrategias óptimas de costos.
- Propuesta y construcción de los indicadores claves de desempeño para el control efectivo del proceso de mantenimiento de activos I+D, a partir del diseño de la metodología de captura de data del sistema de información de mantenimiento (SAP-Etiquetas y Rutas de Indicadores).
- De este modo, el lector logrará incrementar su conocimiento y competencia técnica en relación con las temáticas de la investigación realizada en este nivel instrumental desde diferentes ámbitos de la gestión del servicio de mantenimiento de manera que pueda:
  - Entender y analizar la literatura científica, normativa y de especificaciones técnicas asociada a la gestión de activos en el contexto operativo de los centros de investigación y desarrollo.
  - Reconocer los conceptos básicos para la realización de un análisis de los costos de ciclo de vida de los activos a partir de las diferentes fases de incorporación, operación, mantenimiento, optimización y desincorporación, las cuales dan lugar a un diagnóstico preliminar para generar estrategias óptimas de mantenimiento.
  - Adquirir conocimientos sobre los tipos de fallo más relevantes en los equipos priorizados de las plantas piloto.
- Conocer el procedimiento para seleccionar indicadores centrales de desempeño desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI) que permiten medir el impacto estratégico de la gestión de activos físicos de investigación y desarrollo.



# Capítulo 1

## Modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI)

Elsa Beatriz Gutiérrez Navas<sup>1</sup>,  
Paula Carolina Santis Jaimes<sup>2</sup>  
Nilsson Javier Martínez Pérez<sup>3</sup>

*Convenio Interinstitucional No. 5226851, Acuerdo 003 Ecopetrol S.A. Instituto Colombiano del Petróleo (ICP, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga).*

---

<sup>1</sup> Docente, Ingeniería industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: elsa.gutierrez@upb.edu.co

<sup>2</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: palis-95@hotmail.com

<sup>3</sup> Gerente de Operaciones de Innovación y Tecnología del ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: nilsson.martinez@ecopetrol.com.co



## Resumen

Dado que el desempeño y el costo del ciclo de vida de los activos físicos de las organizaciones impactan sus niveles de competitividad y sostenibilidad, se ha extendido entre las empresas la práctica de implementar sistemas de gestión de activos bajo la norma NTC-ISO 55001. En el presente trabajo se estudia la contribución de un modelo de evaluación estratégica de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), para hacer seguimiento a los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 para sistemas de gestión de activos. A partir de esto, se propone un modelo de evaluación de los sistemas de gestión de activos de I+D para centros de innovación y tecnología que, mediante 81 indicadores de gestión que abarcan las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), permite evaluar el grado de cumplimiento de los 67 criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001. Finalmente, se estudia el caso particular del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol S.A., al cual se le recomienda implementar 14 indicadores adicionales a los actualmente evaluados y priorizados estratégicamente por esta entidad, con los cuales podría cubrir el 100 % de los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma.

**Palabras clave:** centros de innovación y tecnología, cuadro de mando integral (CMI), indicador de gestión, norma NTC-ISO 55001, sistemas de gestión de activos.

## 1.1 Introducción

Los cambios tecnológicos, sociales, culturales y laborales propios de un entorno cada vez más dinámico y global en el que se desenvuelven las organizaciones en las últimas décadas, exigen que estas se adapten constantemente, haciendo un especial énfasis en los sistemas de gestión y control [1].

En respuesta a esa necesidad, en 1992 Kaplan y Norton propusieron el concepto de *Balanced Scorecard* (BSC) conocido en español como cuadro de mando integral (CMI). Según estos autores, el uso exclusivo de indicadores financieros no permite tener una visión del estado de una organización, por lo que propusieron cuatro perspectivas para medir la gestión de las organizaciones: financiera, clientes, procesos internos y aprendizaje y desarrollo [2].

Kaplan y Norton aseguran que el CMI permite que los directivos cuenten con las herramientas requeridas para alcanzar el éxito competitivo, en el entorno en que se desarrollen, traduciendo la estrategia y misión de la empresa en un grupo de medidas de desempeño, las cuales garantizan contar con la estructura adecuada para un sistema de gestión y control estratégico que permite hacer un seguimiento a los resultados financieros de forma paralela con el desarrollo de aptitudes y bienes intangibles que se requieren para el desarrollo a largo plazo de la organización [3].

Los activos físicos son un ejemplo de bienes tangibles que tiene valor real o potencial para las organizaciones, como es el caso de las instalaciones, maquinaria, edificios, vehículos, entre otros. A través de la gestión de activos, las organizaciones buscan obtener valor de sus activos para el logro de sus objetivos organizacionales [4]. En este sentido, uno de los principales referentes mundiales es la norma internacional ISO 55001, la cual presenta los requisitos que debe cumplir un sistema de gestión de activos [5].

Dado que la competitividad y la sostenibilidad de una organización están ligadas al desempeño y al costo del ciclo de vida de sus acti-

vos físicos, se hace necesario que las empresas evalúen sus sistemas de gestión de activos, siendo necesario incorporar modelos de indicadores para hacer seguimiento a medidas directas, indirectas, financieras o no financieras [4] [6].

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente trabajo busca proponer un modelo de indicadores de gestión a ser usados por los centros de innovación y tecnología que permita, simultáneamente, medir el aporte de la gestión de activos al logro de sus planes estratégicos desde las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI) y, a su vez, evaluar el cumplimiento de los requisitos contemplados en la norma NTC-ISO 55001 para los sistemas de gestión de activos. Un sistema de evaluación y de control de la gestión de activos unificado para estos dos propósitos, permite que las empresas puedan reducir el tiempo y el esfuerzo requeridos para la medición y evitar la saturación de información para la toma de decisiones oportuna y efectiva.

Para ello, en el presente trabajo se evalúa un modelo de indicadores para controlar la gestión de activos de centros de innovación y tecnología desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), a partir de su utilidad para evidenciar el grado de cumplimiento de los requisitos de un sistema de gestión de activos contemplados en la norma ISO 55001. A partir de esta evaluación, se propone un modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de investigación y desarrollo (I+D) bajo la norma NTC-ISO 55001, que abarca las cuatro perspectivas del CMI. Así mismo, se evalúa la facilidad de implementar este modelo de medición de gestión por parte del ICP, teniendo en cuenta los indicadores actualmente utilizados y priorizados por esta entidad.

## 1.2 Revisión de literatura

### 1.2.1 *Balanced Scorecard* (BSC) o cuadro de mando integral (CMI)

A principios de los años noventa, Robert Kaplan y David Norton introdujeron el concepto de cuadro de mando integral (CMI), herramienta de gestión estratégica cuyo uso permite a una organización tener una visión global de su desempeño a través del control de medidas que representan los factores claves de éxito del negocio y que, además, guardan una relación entre sí [7].

El cuadro de mando integral es una metodología o técnica de gestión que ayuda a las organizaciones a transformar su estrategia en objetivos operativos medibles y relacionados entre sí, facilitando que los comportamientos de las personas clave de la organización y sus recursos se encuentren estratégicamente alineados. De esta manera, el CMI busca que la dirección estratégica se focalice en la creación de valor [8].

El propósito principal del CMI es el de instaurar un mejor sistema de medición del desempeño empresarial, para lo cual se planteó el uso de indicadores financieros y no financieros de forma conjunta [9], fundamentados en aquellos factores clave que contribuyen al alcance de la visión y de la estrategia organizacional. Es por esto que el CMI destaca la importancia de traducir en objetivos e indicadores estratégicos la visión y la estrategia a partir de cuatro perspectivas: la financiera, el cliente, los procesos operativos internos y el aprendizaje y crecimiento [10].

En primer lugar, la perspectiva financiera hace referencia al punto de vista de los accionistas, y está dada en metas financieras que reflejan las utilidades esperadas. En cuanto a la perspectiva del cliente, como su nombre lo indica, es la traducción de las metas esperadas de los clientes en cuanto a satisfacción, la participación en el mercado frente a la competencia, entre otras. Por otro lado, en la perspectiva de pro-

cesos internos se ven reflejadas las metas a nivel operacional del proceso, es decir, costos de producción, tiempo de entrega, reprocesos, entre otras. Y, finalmente, la perspectiva de aprendizaje y crecimiento guarda relación con las metas que expresan el aprendizaje e innovación de la organización, como lo son el personal capacitado, innovaciones en productos o procesos y otras afines [11].

Esta herramienta de gestión está siendo aplicada en empresas alrededor de todo el mundo, por sus “características de calidad, eficacia e integración, tanto en la construcción, como en el seguimiento de los factores claves que llevan al éxito empresarial y organizacional” [1].

### 1.2.2 Indicadores de gestión

Los indicadores de gestión son medidas del estado de determinado proceso o actividad en un momento específico en el tiempo. Al ser operados en conjunto, pueden brindar una visión de la situación, ya sea de un proceso, de un área de negocio o del negocio en general [11].

Un indicador de gestión “es la expresión cuantitativa del desempeño y el comportamiento de un proceso, cuya magnitud, al ser comparada con algún nivel de referencia, puede estar señalando una desviación sobre la cual se toman acciones correctivas o preventivas, según el caso” [12].

Los indicadores de gestión son el resultado del proceso de traducción de la visión y estrategia organizacional en objetivos estratégicos. A través de ellos se busca la integración de los resultados operacionales y estratégicos de las compañías. Con el propósito de garantizar que las actividades se estén desarrollando de forma adecuada, se busca evaluar su desempeño respecto a los objetivos, metas y responsabilidades establecidas. Dicha evaluación se lleva a cabo haciendo uso de indicadores que estén enfocados a la toma de decisiones y que sirvan de guía para monitorear la gestión [11] [12].

Al momento de establecer los indicadores de gestión, es importante tener en cuenta que estos no presenten dificultad para ser medidos, que midan aquello que es significativo para la empresa, que todo el equipo tenga claro qué se va a medir y por qué y, adicionalmente, que se articulen con el paquete completo de indicadores a evaluar. Un indicador puede medir un logro importante, un problema a solucionar, un presupuesto, un plan, un programa de trabajo, el resultado de una encuesta, etc. [13].

Si bien no es preciso llevar un control continuo a todos los indicadores, sí se requiere de un control continuo sobre aquellos que son considerados claves, que son aquellos que reflejan de forma sencilla el desempeño total de la organización [11].

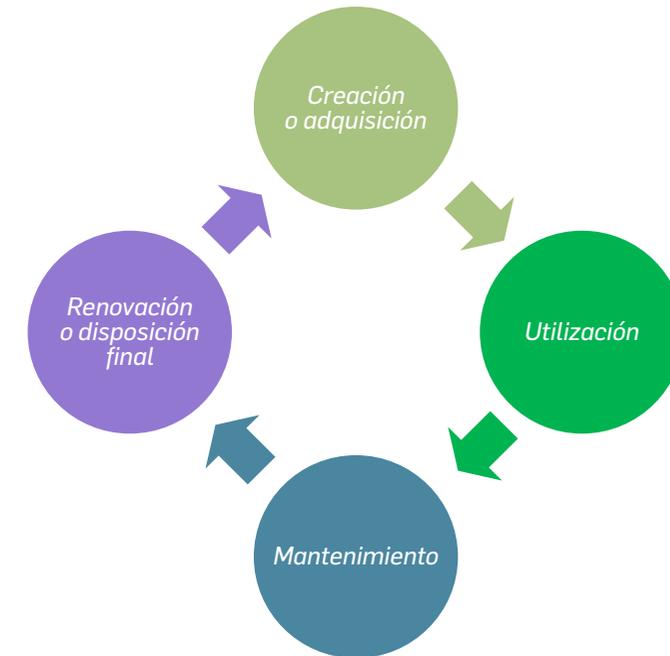
### 1.2.3 Sistemas de gestión de activos

Un activo es algo que posee valor potencial para una organización. El valor puede variar entre diferentes organizaciones y sus partes interesadas y puede ser tangible o intangible, financiero o no financiero [4] [14]. A finales de los años noventa nace la ciencia de la gestión de activos conocida en inglés como *Asset Management*, la cual tiene como finalidad gestionar los activos físicos a través de todo su ciclo de vida (ver figura 1.1), iniciando con su creación o adquisición y pasando por su utilización, mantenimiento y renovación o disposición final [14].

La gestión de activos abarca las "actividades y prácticas sistemáticas y controladas a través de las cuales una organización maneja óptima y sustentablemente sus activos, su desempeño, riesgos y gastos asociados a lo largo de su ciclo de vida, con el propósito de lograr su plan estratégico organizacional" [15].

La gestión de activos se basa en cuatro fundamentos. En primer lugar, está el valor que el activo puede proporcionar a la organización. En segundo lugar, la traducción de los objetivos organizacionales en decisiones, planes y actividades técnicas y financieras. En tercer lugar, está el liderazgo y el compromiso de todos los niveles gerencia-

Figura 1.1 Ciclo de vida de un activo



Fuente: Norma PASS 55, Norma ISO 55000

les para la obtención de valor. Y, finalmente, está el aseguramiento de que los activos cumplirán su propósito [4].

Según Hardwick (2007), el objetivo de contar con un sistema de gestión de activos es el de brindar a las organizaciones un apoyo en la implementación del plan estratégico, para así cumplir con las expectativas de las partes interesadas (*stakeholders*) [16].

### 1.2.4 ISO 55000

A propósito de la necesidad de contar con un estándar para la gestión de activos, en el año 2004 el Instituto de Gestión de Activos (IAM) en colaboración con el Instituto de Estándares Británicos (BSI) crea

la norma PAS 55 (*Publicly Available Specification*) que, posteriormente en el año 2009, se convierte en la base para el desarrollo de la norma internacional ISO 55000 de sistema de gestión de activos [14].

La serie de normas internacionales ISO 55000 está diseñada bajo los principios de la PAS 55, pero la diferencia radica en la universalidad de su aplicación. Estas normas comprenden tres estándares: la norma ISO 55000 presenta la visión general, los principios y la terminología, la ISO 55001 especifica los requisitos para un sistema de gestión de activos, y finalmente la ISO 55002 abarca las pautas para la aplicación de la ISO 55001 [17] [18].

Los requisitos de la ISO 55001, versión 2015, se dividen en siete capítulos de requisitos que, a su vez, se organizan en 27 subcategorías que abarcan 119 criterios de evaluación, como se presenta en la tabla 1.1.

Tabla 1.1. Requisitos norma ISO 55001

Requisito	Número de subcategorías	Criterios de evaluación
4.Contexto de la organización	4	15
5. Liderazgo	3	16
6. Planificación	3	16
7. Apoyo	8	26
8. Operación	3	11
9. Evaluación del desempeño	3	25
10. Mejora	3	10
TOTAL	27	119

Fuente: ISO 55001 (2015)

## 1.3 Metodología

Para adelantar el presente estudio, se tomó como insumo el modelo de medición de la gestión de activos de investigación y desarrollo (I+D) propuesto por Gutiérrez, Santis, Martínez y Villamizar (2018) a partir de la revisión de literatura científica. Este modelo está compuesto por 81 indicadores de gestión, asociados a 27 medidas claves de desempeño de la gestión de activos, clasificados en las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI): finanzas, clientes, procesos y aprendizaje y desarrollo (ver anexo 1: Modelo de medición de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral) [19].

Adicionalmente, se tomó como insumo la relación de los 28 indicadores de gestión del modelo anteriormente mencionado que fueron priorizados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de la empresa petrolera Ecopetrol S.A., dado su aporte para valorar la contribución de la gestión de activos al logro de sus planes estratégicos a partir de la aplicación de la técnica de valoración multicriterio conocida como proceso de jerarquía analítica (*Analytical Hierarchy Process*, AHP). Los indicadores priorizados se pueden identificar en el anexo 1, al estar resaltados en negrilla [19].

Los 81 indicadores del modelo de medición de la gestión de activos de investigación y desarrollo (I+D) desde el Cuadro de Mando Integral (CMI) se evalúan en el presente estudio a la luz de su utilidad para evidenciar el grado de cumplimiento de los requisitos de un sistema de gestión de activos contemplados en la norma ISO 55001. Para ello, se realiza una relación entre los criterios de evaluación de cada uno de los requerimientos contemplados en los diferentes capítulos de la norma y los indicadores de gestión del modelo que permiten presentar evidencias de su cumplimiento.

A partir de lo anterior, se propone un modelo de evaluación de los requisitos de la norma ISO 55001 para sistemas de gestión de activos de I+D desde las cuatro perspectivas del cuadro de mando inte-

gral. Posteriormente, se estudia la facilidad de implementación del modelo propuesto por parte del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de la empresa petrolera Ecopetrol S.A., teniendo en cuenta los indicadores del modelo priorizados y actualmente implementados por el centro.

## 1.4 Resultados

### 1.4.1 Evaluación de un modelo de medición estratégica de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral a partir de su utilidad para evidenciar el cumplimiento de los requisitos contemplados en la norma NTC-ISO 55001

Dado que el desempeño y el ciclo de vida de los activos físicos de las organizaciones afectan su competitividad y sostenibilidad, se ha extendido en las empresas la práctica de implementar sistemas de gestión de activos bajo la norma internacional ISO 55001, con el fin de garantizar el logro de sus objetivos organizacionales a partir de la generación de valor de sus activos.

En este numeral se evalúa el modelo de 81 indicadores de gestión propuesto por Gutiérrez, Santis, Martínez y Villamizar [19] para medir el aporte estratégico de la gestión de activos de un centro de investigación y desarrollo desde 27 medidas de desempeño asociadas a las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), y se realiza un diagnóstico de su contribución para evidenciar el grado de cumplimiento de los diferentes requisitos contemplados en la norma NTC ISO 55001 para los sistemas de gestión de activos.

Al hacer una revisión detallada de la norma NTC-ISO 55001, se evidencia que cada uno de los 27 requisitos expuestos en los numerales 4 al 10, cuenta con uno o varios criterios de evaluación en su interior. Dado lo anterior, se hizo necesario desglosar cada uno de

estos criterios de evaluación con el fin de identificar cuáles indicadores de gestión del modelo evaluado permiten presentar evidencias de su cumplimiento.

En el anexo 2 se presenta una relación entre los requisitos estipulados en la norma NTC-ISO 55001 y el modelo evaluado, en la cual se identifican cuáles de los 81 indicadores de gestión del modelo estudiado permiten presentar evidencias del grado de cumplimiento de los requisitos de la norma. A partir de esta revisión se identifican 73 indicadores de gestión contemplados en el modelo de evaluación de la gestión de activos desde el CMI, que aportan al seguimiento requisitos de la norma NTC-ISO 55001, lo que equivale al 90,1 % de los indicadores del modelo evaluado.

Esta evaluación permite concluir que existe una alta compatibilidad entre las medidas de desempeño que permiten evaluar el impacto estratégico de la gestión de activos y las medidas de desempeño que permiten evidenciar el cumplimiento de los requisitos de los sistemas de gestión de activos contemplados en la norma NTC-ISO 55001.

A partir del análisis de la relación entre los requisitos de la norma ISO 55001 y el modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D estudiado, se detalla en la tabla 1.2 el aporte del modelo para el seguimiento de los requisitos de los siete numerales de la norma. Este análisis permite concluir que el modelo de indicadores de gestión estudiado aporta a la evaluación del nivel de cumplimiento del 70 % de los requisitos estipulados en la norma NTC ISO 55001.

De otra parte, se realizó una revisión detallada de los 119 criterios de evaluación contemplados en los 27 requisitos de la norma ISO 55001, los cuales se detallan en anexo 2 identificados con letras. El estudio detallado de estos criterios de evaluación permite concluir que 52 de estos (43,6 %) están asociados con evidencias documentales, cuya evaluación por parte de los auditores se restringe a juicios de valor como: "se cumple" o "no se cumple". Estos criterios de valor se pueden identificar en el anexo 2 con un asterisco (\*). El análisis anterior permite deducir que solo 67 criterios de evaluación son

susceptibles de ser medidos a través de indicadores de gestión, lo cual corresponde al 56,3 % de los criterios evaluados por la norma.

Tabla 1.2. Aporte del modelo de evaluación de la gestión de activos de I+D desde el CMI para la medición de los requerimientos de la norma NTC-ISO 55001

Numeral	Número de requisitos	Número de requisitos medidos a partir del modelo	% de aporte del modelo	
			SI	NO
4. Contexto de la organización	4	3	75 %	25 %
5. Liderazgo	3	2	67 %	33 %
6. Planificación	3	1	33 %	67 %
7. Apoyo	8	5	63 %	37 %
8. Operación	3	2	67 %	33 %
9. Evaluación del desempeño	3	3	100 %	0 %
10. Mejora	3	3	100 %	0 %
<b>Total</b>	<b>27</b>	<b>19</b>	<b>70 %</b>	<b>30 %</b>

En la tabla 1.3 se presenta un análisis de la contribución del modelo estudiado para hacer seguimiento a los 67 criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 susceptibles de ser medidos a través de indicadores.

Como se evidencia en la tabla 1.3, el modelo de indicadores de gestión para evaluar la contribución estratégica de la gestión de activos desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI) aporta a la medición del nivel de cumplimiento del 88 % de los criterios de evaluación de los requisitos contemplados en la norma NTC-ISO 55001 susceptibles de ser evaluados a través de indicadores.

Tabla 1.3. Aporte del modelo de evaluación de la gestión de activos de I+D desde el CMI al seguimiento de los criterios de evaluación de los requisitos de la norma NTC-ISO 55001

Requisito	Número de criterios de evaluación	Número de criterios de evaluación susceptibles de ser medidos con indicadores	Porcentaje de aporte del modelo			
			SI		NO	
			N.°	%	N.°	%
4.1 Comprensión de la organización y su contexto	2	0				
4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	4	2	2	100 %	0	0 %
4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	7	3	3	100 %	0	0 %
4.4 Sistema de gestión de activos	2	1	1	100 %	0	0 %
5.1 Liderazgo y compromiso	10	8	7	87,5 %	1	12,5 %
5.2 Política	4	0				
5.3 Roles, responsabilidad y autoridad en la organización	2	2	2	100 %	0	0 %
6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	7	6	6	100 %	0	0 %
6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos 6.2.1 Objetivos de gestión de activos	4	0				
6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos 6.2.2 Planificación para lograr los objetivos de gestión de activos	5	0				
7.1 Recursos	2	2	2	100 %	0	0 %
7.2 Competencia	5	3	1	33 %	2	67 %

Continúa

Requisito	Número de criterios de evaluación	Número de criterios de evaluación susceptibles de ser medidos con indicadores	Porcentaje de aporte del modelo			
			SI		NO	
			N.º	%	N.º	%
7.3 Toma de conciencia	4	2	2	100 %	0	0 %
7.4 Comunicación	1	0				
7.5 Requisitos de información	5	5	4	80 %	1	20 %
7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	3	3	1	33 %	2	67 %
7.6 Información documentada 7.6.2 Redacción y actualización	3	0				
7.6 Información documentada 7.6.3 Control de información documentada	3	1	0	0 %	1	100 %
8.1 Planificación y control operacional	4	3	3	100 %	0	0 %
8.2 Gestión del cambio	3	0				
8.3 Contrato a terceros	4	4	4	100 %	0	0 %
9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	8	8	8	100 %	0	0 %
9.2 Auditoría interna	8	1	1	100 %	0	0 %
9.3 Revisión por la dirección	9	6	6	100 %	0	0 %
10.1 No conformidad y acciones correctivas	7	4	3	75 %	1	25 %
10.2 Acciones preventivas	2	2	2	100 %	0	0 %
10.3 Mejora continua	1	1	1	100 %	0	0 %
<b>TOTAL</b>	<b>119</b>	<b>67</b>	<b>59</b>	<b>88 %</b>	<b>8</b>	<b>12 %</b>

A partir del análisis anterior, se identifican 73 indicadores de gestión del modelo estudiado que, de manera simultánea, permiten medir el aporte de la gestión de activos al logro de los planes estratégicos de un Centro de Innovación y Tecnología desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI) y, a su vez, evaluar el cumplimiento del 70 % de los requisitos y del 88 % de los criterios de evaluación contemplados en la norma NTC-ISO 55001 para los sistemas de gestión de activos.

Estos indicadores se distribuyen en las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral así: 13 indicadores de la perspectiva financiera, 15 de clientes, 30 de procesos y 15 de aprendizaje y desarrollo. Los 73 indicadores pueden identificarse en el anexo 1, presentados en cursiva, y la relación de estos indicadores con los criterios de evaluación y requisitos de la norma puede observarse en el anexo 2.

#### 1.4.2 Propuesta de un modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI

Uno de los grandes retos que enfrentan las empresas al establecer un sistema de evaluación y control es la multiplicidad y dispersión de datos que hace dispendiosa la recolección de información. Un inadecuado sistema de control puede llevar a la lentitud en el procesamiento de datos y la saturación de información, lo cual dificulta una efectiva y oportuna toma de decisiones.

Dado lo anterior, en este estudio se busca proponer un sistema de evaluación y control de la gestión de activos en los centros de innovación y tecnología que permita simultáneamente medir el aporte estratégico de la gestión de activos desde las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI) y, a su vez, evaluar el cumplimiento de los requisitos contemplados en la norma NTC-ISO 55001, de manera que estas instituciones puedan reducir el tiempo y esfuerzo requerido para la medición y evitar la saturación de información para la toma de decisiones.

A partir de la evaluación realizada en el numeral anterior, se concluye que el modelo de indicadores de gestión estudiado para evaluar la gestión de activos desde el cuadro de mando integral (CMI) aporta evidencias de 59 de los 67 (88 %) criterios de evaluación estipulados en los diferentes requisitos de la norma NTC-ISO 55001 susceptibles de ser evaluados con indicadores, pero no permite hacer seguimiento a 8 de estos criterios (12 %). Esto hace necesario el diseño de nuevos indicadores de gestión que permitan evidenciar su cumplimiento.

En la tabla 1.4 se presenta una propuesta de 8 indicadores de gestión para la evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D, que permiten hacer seguimiento a los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55.1001 que no son medidos por el modelo que está en estudio.

Tabla 1.4. Indicadores propuestos para evidenciar el cumplimiento de los criterios de evaluación de la norma NTC-ISO 55001 no contemplados en el modelo de indicadores estudiado

Requisito	Criterio de evaluación	Indicador propuesto
5.1 Liderazgo y compromiso	F	Número total de empleados con altos índices de motivación en la encuesta de clima laboral/número total de empleados
7.2 Competencia	A	Número de puestos de trabajo con descripción de cargos claramente definida/total de puestos
	C	Número total de empleados X/número total de empleados de gestión de activos (expresado como decimal) [20] *, donde: X = empleados en desarrollo de competencias (en formación) en gestión de activos, Empleados competentes en gestión de activos, empleados competentes en confiabilidad de equipo estático, empleados competentes en confiabilidad de equipo dinámico o empleados competentes en sistemas de información computarizados

Continúa

Requisito	Criterio de evaluación	Indicador propuesto
7.5 Requisitos de información	B	Número de indicadores de desempeño en gestión de activos con disponibilidad de información X/total de indicadores de desempeño evaluados en la gestión de activos, donde: X = en el sistema de información, en tiempo real, en la periodicidad requerida o confiable
7.6 Información documentada	A	Número de información documentada en sistema de información para la gestión de activos/número de información documentada requerida en sistema de información según la norma de gestión de activos
	B	Número de información documentada de requisitos legales y regulatorios aplicables en sistema de información para la gestión de activos/número de información documentada requerida para requisitos legales y regulatorios aplicables
7.6 Información documentada 7.6.3 Control de información documentada	A	Número de indicadores de desempeño en gestión de activos con disponibilidad de información X/total de indicadores de desempeño evaluados en la gestión de activos donde: X = en el sistema de información, en tiempo real, en la periodicidad requerida o confiable
		Número total de componentes de equipo en el sistema de información de gestión de mantenimiento/número total de componentes del equipo en la planta piloto o laboratorio [20] *
10.1 No conformidad y acciones correctivas	B	Número de fallas en las que se realizó un análisis de causa raíz/total de fallas reportadas (%) [20] *

\*: Indicadores adaptados de la literatura científica

En el anexo 3 se presenta una propuesta de modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), conformado por 81 indicadores de gestión que permiten hacer seguimiento al nivel de cumplimiento de la totalidad de criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 que son susceptibles de ser medidos con indicadores (ver las primeras siete columnas del anexo 3).

Este modelo incluye los 73 indicadores del modelo evaluación de la gestión de activos de I+D desde el cuadro de mando integral (CMI) que sirven para medir los criterios de evaluación contenidos en los requisitos de la NTC-ISO 55001, y 8 indicadores nuevos propuestos por los autores.

El modelo propuesto contempla indicadores de gestión asociados con las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), así: 13 indicadores de la perspectiva de finanzas (16,0 %), 15 indicadores de la perspectiva de clientes (18,5 %), 31 indicadores de la perspectiva de procesos internos (38,3 %) y 22 indicadores de la perspectiva de aprendizaje y desarrollo (27,2 %).

Los indicadores del modelo propuesto se asocian a 25 de las 27 medidas de desempeño establecidas en el modelo de evaluación de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), con lo cual aportan a la medición del 92,6 % de las medidas consideradas claves para evidenciar el aporte estratégico de la gestión de activos.

Con respecto a la fuente de información, 38 (46,9 %) indicadores del modelo propuesto corresponden a indicadores tomados o adaptados de la literatura científica sobre gestión de activos. De los 81 indicadores del modelo, se resalta la importancia de 19 (23,5%), los cuales permiten evidenciar 10 o más criterio de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001. Estos corresponden a los indicadores del modelo número: 1, 4, 10, 12, 17, 23, 26, 29, 32, 35, 50, 51, 52, 53, 57, 63, 71, 72, y 78.

Dado que muchos de criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 pueden evaluarse a través de dos o más indicadores del modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI propuesto (Ver anexo 2), no se hace necesario que los Centros de Innovación y Tecnología implementen la totalidad de indicadores del modelo (81 indicadores). Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda que estos centros seleccionen aquellos indicadores que mejor se alinean con sus prioridades estratégicas,

con el fin de evitar el desgaste en la recolección de datos y la saturación de información que generan barreras para la toma de decisiones oportuna y efectiva.

### 1.4.3 Estudio de la facilidad de la implementación del modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma ISO 55001 desde las perspectivas del CMI por parte del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de la empresa petrolera Ecopetrol S.A.

A partir del modelo de indicadores de gestión propuesto por los autores para evaluar el nivel de cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión de activos de la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI (ver anexo 3), se realiza una evaluación del sistema de medición actualmente implementado y priorizado por el área de Mantenimiento, Infraestructura y HSE del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol, con el fin de presentar un diagnóstico del esfuerzo requerido para su implementación.

Para realizar este diagnóstico, se parte de la relación de los 28 indicadores de gestión priorizados por el ICP del modelo tomado como insumo para el presente estudio (modelo de medición estratégica de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral). Esta priorización fue realizada por el Centro de Innovación y Tecnología utilizando la técnica de valoración multicriterio, proceso de jerarquía analítica (*Analytical Hierarchy Process AHP*), según el grado en que esos indicadores permitía valorar la contribución de la gestión de activos al logro de sus planes estratégicos [19]. Los indicadores de gestión priorizados por el ICP se pueden identificar en el anexo 1, al estar resaltados en negrilla.

De otra parte, para realizar el presente diagnóstico, se identifican seis indicadores de gestión del modelo tomado como insumo para el

presente estudio, que actualmente aplica el ICP. Estos indicadores se pueden identificar en el anexo 1, presentados en cursiva.

A partir del análisis anterior, se realiza la identificación de los indicadores de gestión priorizados e implementados por el ICP del modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI, propuesto por los autores en el numeral anterior, la cual se presenta en el anexo 3.

A partir de este análisis se concluye que, de los 81 indicadores de gestión del modelo propuesto, el ICP actualmente evalúa seis, lo que corresponde al 7,4 %. Así mismo, se evidencia que 26 (32,1 %) de los indicadores del modelo propuesto corresponden a indicadores priorizados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) por su importancia para medir el aporte estratégico de la gestión de activos. Teniendo en cuenta lo anterior, y dado que cuatro de los indicadores actualmente implementado por el ICP fueron así mismo priorizados por este Centro de Innovación y Tecnología, se concluye que con la evaluación de estos 28 indicadores el instituto lograría cubrir el 34,6 % de los indicadores del modelo propuesto.

La relación entre los indicadores implementados y priorizados por el ICP y los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 se puede observar en el anexo 2, en donde se presentan en cursiva los indicadores actualmente evaluados por este Centro de Innovación y Tecnología y se resaltan en negrilla con celdas en gris los priorizados. Este análisis permite realizar un diagnóstico del grado de aporte de los indicadores actualmente implementados y priorizados por el ICP para cubrir la medición de la totalidad de criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001, el cual puede ser observado en la tabla 1.5.

A partir del análisis realizado en la tabla 1.5 se puede concluir que el sistema de evaluación y control actualmente implementado por el área compuesto por seis indicadores de gestión permite hacer seguimiento a 47 de los 67 criterios de evaluación susceptibles de ser medidos a través de indicadores de gestión establecidos en cada

uno de los requisitos de la norma NTC-ISO 55001, lo que equivale al 70,1 % de estos. Adicionalmente, se concluye que los 26 indicadores de gestión priorizados por el ICP para evaluar la contribución estratégica de la gestión de activos desde el CMI aportan al seguimiento de 52 de estos criterios de evaluación, correspondientes al 77,6 %.

Lo anterior, permite concluir que los 28 indicadores de gestión actualmente implementados y priorizados por el ICP permiten hacer

Tabla 1.5. Diagnóstico de aporte de los indicadores implementados y priorizados por el ICP para evaluar los requisitos de la norma NTC-ISO 55001

Requisitos	Número de criterios susceptibles de ser evaluados con indicadores	Número de criterios evaluados con indicadores de desempeño					
		Actuales		Priorizados		Actuales y priorizados	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%
4.1	0						
4.2	2	2	100	2	100	2	100
4.3	3	3	100	3	100	3	100
4.4	1	1	100	1	100	1	100
5.1	8	6	75	7	88	7	88
5.2	0						
5.3	2	0	0	2	100	2	100
6.1	6	6	100	5	83	6	100
6.2.1	0						
6.2.2	0						
7.1	2	0	0	2	100	2	100
7.2	3	1	33	1	33	1	33

Continúa

Requisitos	Número de criterios susceptibles de ser evaluados con indicadores	Número de criterios evaluados con indicadores de desempeño					
		Actuales		Priorizados		Actuales y priorizados	
		N.º	%	N.º	%	N.º	%
7.3	2	1	50	2	100	2	100
7.4	0						
7.5	5	4	80	4	80	4	80
7.6 7.6.1	3	1	33	1	33	1	33
7.6 7.6.2	0						
7.6 7.6.3	1	0	0	0	0	0	0
8.1	3	3	100	3	100	3	100
8.2	0						
8.3	4	4	100	4	100	4	100
9.1	8	7	88	7	88	7	88
9.2	1	0	0	0	0	0	0
9.3	6	4	67	4	67	4	67
10.1	4	1	25	1	25	1	25
10.2	2	2	100	2	100	2	100
10.3	1	1	100	1	100	1	100
TOTAL	67	47	70	52	78	53	79

seguimiento a 53 de los criterios de evaluación contemplados en la norma NTC-ISO 55001 que son considerados susceptibles de ser medidos, lo que equivale al 79 % de estos (ver tabla 1.5).

A partir del análisis anterior, se recomienda al ICP evaluar la conveniencia de la implementación 14 de los 53 indicadores de gestión propuestos en el modelo para medir el nivel de cumplimiento de los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI que no han sido implementados ni priorizados desde el punto de vista estratégico por este centro de tecnología e innovación, de manera que pueda cubrir los 14 criterios de evaluación restantes de la norma (20,8 %).

## 1.5 Conclusiones

El estudio realizado permite concluir que existe una alta coincidencia entre los criterios de desempeño que interesan ser evaluados por los centros de innovación y tecnología para medir el aporte estratégico de la gestión de activos desde el cuadro de mando integral y los aspectos que permiten mostrar evidencias del cumplimiento de los requisitos de los sistemas de gestión de activos contemplados en la norma NTC-ISO 55001.

Esto se evidencia en que 73 de los 81 indicadores de gestión de un modelo estudiado para evaluar la contribución estratégica de la gestión de activos desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), aportan a la medición del nivel de cumplimiento del 70 % de los requisitos y del 88 % de los criterios de evaluación contemplados en la norma NTC-ISO 55001 susceptibles de ser evaluados a través de indicadores.

En el presente proyecto se presenta una propuesta de modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 conformado por 81 indicadores de gestión que abarcan las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), el cual permite hacer seguimiento al nivel de cumplimiento de los 67 criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 que son susceptibles de ser medidos con indicadores.

Finalmente, se concluye que con los 28 indicadores de gestión actualmente implementados y priorizados a nivel estratégico por el ICP puede hacer seguimiento a 53 de los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 que son susceptibles de ser medidos con indicadores (79 %), por lo cual se le recomienda evaluar la conveniencia de implementar 14 de los 53 indicadores restantes del modelo propuesto, con los cuales podría cubrir los 14 criterios adicionales de la norma (22 %).

## Referencias

- [1] F. Gan y J. Triginé, Manual de instrumentos de gestión y desarrollo de las personas en las organizaciones, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2010.
- [2] R. Martínez, R. Dueñas, J. Miyahira y L. Dulanto, «El Cuadro de Mando Integral en la ejecución del Plan Estratégico de un hospital general,» *Revista Médica Herediana*, vol. 21, nº 3, pp. 153-159, 2010.
- [3] D. Nogueira, D. López, A. Medina y A. Hernández, «Cuadro de mando integral en una empresa constructora de obras de ingeniería,» *Revista ingeniería de construcción*, vol. 29, nº 2, pp. 201-214, 2014.
- [4] ISO 55000, Gestión de activos, aspectos generales, principios y terminología, Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), 2015.
- [5] Norma técnica Colombiana. NTC-ISO 55001, Gestión de activos-Sistemas de gestión-Requisitos, Bogotá: ICONTEC Internacional, 2015.
- [6] Á. P. Sánchez - Rodríguez, «La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento,» *Ingeniería Mecánica*, vol. 13, nº 2, pp. 72-78, mayo-agosto 2010.
- [7] J. M. S. Vázquez, M. L. V. Elorza y P. A. Pinzón, «Balanced scorecard para emprendedores: desde el modelo canvas al cuadro de mando integral,» *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, vol. 24, nº 1, pp. 37-47, 2015.
- [8] F. A. Baraybar, El Cuadro de Mando Integral «Balanced Scorecard», ESIC Editorial, 2011.
- [9] J. Bisbe, «La mayoría de edad del cuadro de mando integral,» *Harvard Deusto Business Review*, vol. 189, pp. 48-62, 2010.
- [10] R. S. Kaplan y D. P. Norton, El cuadro de mando integral: The balanced scorecard, vol. 3, Grupo Planeta Spain, 2014.
- [11] R. D. Rincón B, «Los indicadores de gestión organizacional: una guía para su definición,» *Revista Universidad EAFIT*, vol. 34, nº 111, pp. 43-59, 2012.
- [12] F. E. Castro Roza, «Indicadores de gestión para la toma de decisiones,» *Tecnología Investigación y Academia*, vol. 2, nº 1, Julio-Diciembre 2013.
- [13] A. Amado Salgueiro, Indicadores de Gestión y Cuadro de Mando, Madrid: Díaz de Santos, 2001.
- [14] C. Parra y A. Crespo, Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos, Sevilla: Ingeman, 2012.
- [15] The institute of Asset Management, PASS 55-1: Especificaciones para la gestión optimizada de activos físicos, 2008.
- [16] A. Cerón, I. Orduña, G. Aponte y A. Romero, «Panorama de la Gestión de Activos para Transformadores de Potencia,» *Información tecnológica*, pp. 99-110, 2015.
- [17] J. R. Minnaar, W. Basson y P. J. Vlok, «Quantitative methods required for implementing PAS 55 or the ISO 55000 series for asset management,» *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 24, nº 3, pp. 98-111, 2013.
- [18] A. F. Van den Honert, J. S. Schoeman y P. J. Vlok, «Correlating the content and context of PAS 55 with the ISO 55000 series,» *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. 24, nº 2, pp. 24-32, 2013.
- [19] E. B. Gutiérrez Navas, P. C. Santis Jaimes, N. J. Martínez Pérez y M. P. Villamizar León, «Modelo de indicadores para evaluar la gestión de activos de investigación y desarrollo y priorización con técnica Proceso de Jerarquía Analítica,» *Revista Espacios*, vol. 40, nº3, pp. 7, 2018.
- [20] T. Wireman, Developing Performance Indicators for Managing Maintenance, New York: Industrial Press Inc., 2005.
- [21] Norma Española UNE-EN 15341, Mantenimiento: Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento, AENOR, 2008.
- [22] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera y A. Crespo, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, nº1, pp. 125-138, 2013.

# Anexos

## Anexo 1.1.

Modelo de medición de la gestión de activos de I+D desde las perspectivas del cuadro de mando integral

N.º	Cod.	Indicador
<b>PERSPECTIVA: FINANCIERA</b>		
<b>F6. Controlar y optimizar los costos fijos actuales de los activos (gastos operativos, gastos de mano de obra y materiales y gastos de energía)</b>		
1	F6.2	<i>(Coste total de mantenimiento de laboratorio X + costes de indisponibilidad ligados al mantenimiento en laboratorio X) / número de pruebas procesadas en laboratorio X (medido como decimal) [21]</i>
	F6.1	Costos de mantenimiento de laboratorios/número de pruebas en laboratorio [21] [20]
	F6.3	Costos de mantenimiento de plantas piloto/total horas corridas experimentales en plantas piloto
<b>F1. Asegurar costos bajos de ciclo de vida de los activos</b>		
2	F1.1	<i>Costo de etapa del ciclo de vida X/costo global (cuantificación de los costos generados durante el ciclo de vida del activo) [22], donde: X= incorporación, cuidado básico, mantenimiento o desincorporación</i>
	F1.7	Costo de mantenimiento/pies cuadrados mantenidos (%) [21]
	F1.4	Costo de mantenimiento/beneficios comprobados por soluciones tecnológicas (Proyectos I+D o Asistencias) (Medido como decimal) [20]

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>F7. Controlar y optimizar los costos de contratación de mantenimiento de los activos</b>		
3	F7.3	<i>Costo total de contratación de servicios de mantenimiento/costos totales de mantenimiento en periodo actual frente al periodo anterior (%) [21]</i>
	F7.2	Costos de contratación de mantenimiento reales/costos de contratación de mantenimiento previstos (planeado) (%) [20]
	F7.1	Costos de contratación de mantenimiento/valor de activos (valor en libros) periodo actual frente al periodo anterior [20]
<b>F4. Reducir los costos de compras de activos y materiales de mantenimiento (partes y repuestos)</b>		
4	F4.8	<b>Ahorro real en costos del ciclo de vida del activo/ahorro estimado al momento de la adquisición en costos del ciclo de vida del activo</b>
	F4.5	Número de órdenes de mantenimiento cerradas que exceden los costos de materiales estimados en más del 10 %/total órdenes de mantenimiento programadas (%) [20]
	F4.3	Costos de materiales de mantenimiento previstos (planeado)/costos totales de materiales de mantenimiento (real) (%) [20]
<b>F2. Incrementar la rentabilidad o retorno de los activos</b>		
5	F2.3	<b>Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias)/valor de activos mantenidos involucrados en soluciones tecnológicas (proyectos I + D y asistencias)</b>
	F2.1	Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias)/valor neto de los activos [20]
	F2.2	Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias)/valor neto de los activos fijos [20]
<b>F5. Reducir costos de gestión de inventarios de materiales de mantenimiento (piezas y repuestos)</b>		
6	F5.3	<b>Costo total de los materiales de mantenimiento (partes y repuestos)/valor medio de inventario de materiales de mantenimiento (partes y repuestos) (medido como decimal) [20]</b>
	F5.1	Valor medio de inventario de materiales de mantenimiento (partes y repuestos)/valor de sustitución (reemplazo) de los activos (%) [21]
	F5.4	Monto anual de uso de almacenes (bodegas)/valor total del inventario (medido como decimal) [20]

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>F3. Incrementar el retorno de la inversión de los gastos de mantenimiento</b>		
7	F3.2	Beneficios comprobados por soluciones tecnológicas (proyectos I+D y asistencias)/ costo de mantenimiento de activos involucrados en soluciones tecnológicas
	F3.4	Ahorro de gastos de energía gracias a intervenciones de gestión de activos/gastos de mantenimiento en esos activos
	F3.1	Beneficios comprobados por soluciones (tecnológica) - (costos de financiación de Centro de Innovación y Tecnología) [14] donde: Costos de financiación del Centro de Innovación y Tecnología = costos fijos + costos de operación + costos de mantenimiento preventivo + costos de mantenimiento correctivo
<b>PERSPECTIVA: CLIENTES Y COMUNIDAD</b>		
<b>C5. Mantener o mejorar el reconocimiento de la organización por la calidad de las soluciones tecnológicas desarrolladas (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas), la seguridad, la salud y el respeto con el medio ambiente</b>		
1	C5.2	Número de incidentes y accidentes que afectan la salud y seguridad de trabajadores o comunidad imputables a la gestión de activos
	C5.3	Número de incidentes y accidentes que afectan el medio ambiente imputables a la gestión de activos
	C5.1	Número de soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias) con evaluación de satisfacción por debajo de meta debido a problemas imputables a la gestión de activos
<b>C4. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar al cumplimiento en las entregas y tiempos de respuesta establecidos en los acuerdos de soluciones tecnológicas desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)</b>		
2	C4.2	Número de hitos incumplidos de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias) debidas a fallas de funcionalidad de los activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración
	C4.4	Número de fallas de control por condición física de activos imputables a la gestión de mantenimiento cerradas a tiempo/Número de fallas de control por condición física de activos imputables a la gestión de mantenimiento reportadas con potencial para afectar el cumplimiento de hitos de proyectos de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias)
	C4.1	Número de hitos incumplidos de soluciones tecnológica (proyectos I + D y asistencias) debidos a la no disponibilidad de equipos imputable a la gestión de mantenimiento

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>C2. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar al mejoramiento de la calidad de las soluciones tecnológicas desarrolladas en el Centro de Innovación y Tecnología (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)</b>		
3	C2.1	Número de soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas) con hitos incumplidos por problemas de calidad en resultados debidos a fallas de funcionalidad de los activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración
	C2.3	Número pruebas con defectos o retrabajos debidas a fallas de funcionalidad de activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración con potencialidad para afectar la calidad de las soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas especializadas)
	C2.2	Número de incidentes que afectan la calidad de las soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas especializadas) debidas a fallas de funcionalidad de los activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración
<b>C3. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar a la reducción en los costos de las soluciones tecnológicas desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)</b>		
4	C3.1	<i>Reducción de costos real por iniciativas de eficiencia de transformación (TMO)/ meta de reducción de costos por iniciativas de eficiencia de transformación (optimización de gestión de mantenimiento)</i>
	C3.2	Costo de mantenimiento correctivo en equipos con estrategia de mantenimiento preventivo periodo actual/costo de mantenimiento correctivo de esos activos en periodo anterior
	C3.4	$FF * TPFS * (CD+CP)$ [14], donde: FF = frecuencia de fallo. Número de fallos que se presentan en un periodo de evaluación. TPFS = tiempo promedio fuera de servicio. Mide el tiempo promedio que toma reintegrar a un componente a un estado apto de operación, después de un fallo. CD = costos directos de corrección por fallos por hora CP = costes penalización por hora. Comprende los costes de oportunidad generados por eventos de fallos

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>C1. Aumentar la satisfacción del cliente interno con los servicios de gestión de activos (por cumplimiento, capacidad de respuesta, calidad del servicio, costos, etc.)</b>		
5	C1.4	Número total de órdenes de mantenimiento X de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D cerradas en tiempo meta/total número de órdenes de mantenimiento X de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D realizadas, donde: X = en general, preventivo, correctivo, correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo-basado en la condición) o fundamentado en la situación
	C1.5	Número de avisos de mantenimiento de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D cerrados a tiempo según el acuerdos de servicio/total avisos de mantenimiento de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D generados por el usuario
	C1.6	Número de usuarios de mantenimiento satisfechos/número total de usuarios de mantenimiento
<b>PERSPECTIVA: PROCESOS</b>		
<b>P9. Prevenir y predecir las inseguridades para los procesos o las personas</b>		
1	P9.8	Órdenes de mantenimiento preventivo de equipos críticos ejecutadas/órdenes de mantenimiento preventivo de equipo críticos planeadas
	P9.4	Número de fallas de control atendidas / No. de fallas de control reportadas (Fallas que generan riesgos de seguridad)
	P9.2	Número de activos críticos por seguridad en procesos con fallas/total de activos críticos
<b>P10. Garantizar una operación limpia y respetuosa del medio ambiente</b>		
2	P10.9	(Hitos cumplidos del plan HSE/Hitos planeados del plan HSE)/100
	P10.7	Número de equipos incluidos en plan de reposición/número total de equipos con alto impacto ambiental por obsolescencia
	P10.6	Número de activos con reducción de impacto ambiental gracias a intervención de mantenimiento/número de activos mantenidos

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>P1. Garantizar la confiabilidad de los activos y promover mejoras en los mismos que impacten la calidad de las soluciones tecnológicas (proyectos I+D y asistencias técnicas) desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología</b>		
3	P1.1	Número de fallas (averías) del equipo presentadas/total de horas en el periodo de tiempo (expresado como decimal) [20]
	P1.3	Número de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D con fallas/total activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D
	P1.2	Número de fallas repetitivas en los equipos/número total de fallas reportadas en los equipos (%) [20]
<b>P2. Asegurar la disponibilidad de equipos</b>		
4	P2.9	Tiempo de indisponibilidad (fuera de servicio después de fallos o tiempo total de recuperación)/ número de fallos en el periodo evaluado (expresado como decimal) [14] [21]
	P2.3	Tiempo total de funcionamiento/(total tiempo funcionamiento + tiempo indisponibilidad X) (%) [21], donde: X = total, por fallos, por mantenimiento o por mantenimiento programado
	P2.10	Tiempo de mantenimiento X que origina indisponibilidad/tiempo total de indisponibilidad por mantenimiento (%) [21] donde: X = correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), preventivo, predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo - basado en la condición) o fundamentado en la situación
<b>P3. Mejorar la capacidad y la productividad de las operaciones</b>		
5	P3.8	Tiempo de vida útil real de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D-tiempo de vida útil estipulado por fábrica para activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D
	P3.9	Promedio de fallas de familia de activos X con incremento de vida útil/promedio de fallas de familia de activos X, donde: promedio de fallas de familia de activos X con incremento de vida útil = número fallas de activos familia X con incremento de vida útil/número de activos familia X con incremento de vida útil por intervención de mantenimiento
	P3.6	Número de activos prioritarios para proyectos del plan tecnológico de I+D con incremento de vida útil/total de activos prioritarios para proyectos del plan tecnológico de I+D a lo que se hizo intervención de mantenimiento preventivo

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>P5. Priorizar los activos según los requerimientos del negocio con el fin de lograr un mayor impacto en la gestión de activos</b>		
6	P5.8	Número de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos con plan mantenimiento preventivo implementado/número de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos
	P5.10	Costos de mantenimiento de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos/total costos de mantenimiento
	P5.9	Número de órdenes de mantenimiento de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos/total órdenes de mantenimiento
<b>P4. Asegurar una óptima estrategia de mantenimiento</b>		
7	P4.7	Horas-hombre usadas para planificar mantenimiento sistemático (preventivo y predictivo -basado en la condición-)/horas-hombre totales de personal interno de mantenimiento [21]
	P4.1	Número de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D con X/total de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D [20], donde: X = análisis de criticidad vigente, análisis de confiabilidad vigente o estrategia de mantenimiento y hoja de ruta definida
	P4.10	Costos de Mantenimiento X/costos total de mantenimiento (%) [21] [20], donde: X= preventivo, correctivo, correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo-basado en la condición) o fundamentado en la situación
<b>P8. Asegurar y mejorar los procesos de gestión de activos</b>		
8	P8.4	Número de acciones de mejora del proceso de mantenimiento ejecutadas/Número de acciones de mejora planeadas
	P8.2	Número de órdenes de mantenimiento X auditadas/número total de órdenes de mantenimiento X (%) [20], donde: X= en general, preventivo, correctivo, correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo-basado en la condición) o fundamentado en la situación
	P8.3	Horas -hombre empleadas en mejoramiento continuo/horas-hombre totales de personal de mantenimiento (%) [21] [20]

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>P6. Mantener altos estándares de gestión de compras e inventarios de materiales (partes y repuestos)</b>		
9	P6.5	Número total de órdenes de compra urgentes recibidos en el tiempo previsto/número total de órdenes de compra urgentes (%)
	P6.8	Número de órdenes de trabajo de mantenimiento con material (partes y repuestos) pendiente/número total de órdenes de mantenimiento (%) [20]
	P6.2	Número total de materiales (partes y repuestos) entregados a tiempo/total materiales solicitados (%) [20]
<b>P7. Garantizar una óptima programación de mantenimiento y flujo de trabajo</b>		
10	P7.1	Número de órdenes de mantenimiento planificadas/total avisos o solicitudes de mantenimiento recibidas que requieren orden de mantenimiento (%) [20]
	P7.7	Órdenes de mantenimiento vencidas/total de órdenes de mantenimiento pendientes (%) [20]
	P7.4	Horas-hombre reales ejecutadas de mantenimiento programado/horas-hombre totales en órdenes de mantenimiento programado (%) [21] [20]
<b>PERSPECTIVA: APRENDIZAJE Y DESARROLLO</b>		
<b>A3. Asegurar la disponibilidad del talento humano para atender los requerimientos de gestión de activos</b>		
1	A3.2	Número de empleados de mantenimiento equivalentes a tiempo completo/número de planificadores de mantenimiento (expresado como decimal) [20]
	A3.1	Número de empleados de mantenimiento equivalentes a tiempo completo/número de supervisores o entrenadores (expresado como decimal) [20]
	A3.3	Número de empleados internos de mantenimiento/número total de empleados internos (%) [21]
<b>A2. Contar con talento humano altamente cualificado y motivado</b>		
2	A2.2	Tiempo perdido estimado debido a deficientes en competencias técnicas de mantenimiento (falta de conocimiento o habilidades)/tiempo total de trabajo de mantenimiento (%) [20]
	A2.3	Reprocesos de mantenimiento debido a la falta de competencias técnica (falta de conocimiento o habilidad)/tiempo total de trabajo de mantenimiento (%) [20]

Continúa

N.º	Cod.	Indicador
<b>A2. Contar con talento humano altamente cualificado y motivado</b>		
	A2.4	Dinero invertido en entrenamiento en X/número total de empleados dedicados a la gestión de activos (expresado como decimal) [21] [20], donde: X= gestión de activos o desarrollo humano
<b>A4. Contar con sistemas de información que brinden información precisa y oportuna a los empleados para la toma de decisiones</b>		
3	A4.2	Costo total de mano de obra de mantenimiento en sistemas de información de gestión de mantenimiento/total de costos de mano de obra de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]
	A4.3	Costo total del material de mantenimiento en sistemas de información de gestión de mantenimiento/total de costos de material de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]
	A4.5	Costo de mantenimiento total cargado a equipos individuales/costo total de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]
<b>A5. Contar con una clara asignación de roles y responsabilidades</b>		
4	A5.3	Existencia de manuales de procesos claramente definidos
	A5.1	Número de empleados que tienen claridad sobre las responsabilidades en los procesos y cargos/total de empleados
	A5.2	Existencia de una estructura organizacional claramente definida en el área, división o departamento encargado de la gestión de activos
<b>A1. Fortalecer la participación de la primera línea de operación de activos en labores de mantenimiento y cuidado básico</b>		
5	A1.7	Número de rondas estructuradas de operación de activos realizadas/número de rondas estructuradas de operación de activos programadas
	A1.5	Tiempo de inactividad total atribuido a errores operacionales detectados a partir de análisis de causa raíz/total tiempo de inactividad [20]
	A1.6	Horas-hombre de mantenimiento por operario de producción/horas-hombre total de personal X (%) [21] donde: X = personal directo de mantenimiento o personal operarios de producción

Nomenclatura: se resaltan en negrilla los indicadores de gestión priorizados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)  
Se presentan en cursiva los indicadores de gestión actualmente implementados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP)  
Fuente: [19]

## Anexo 1.2.

Relación de los requisitos de la Norma NTC-ISO 55001 y los indicadores del modelo que permiten evaluar su cumplimiento

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 4 NTC-ISO 55001: CONTEXTO DE LA ORGANIZACIÓN</b>		
<b>4.1 Comprensión de la organización y su contexto</b>		
A. La organización debe determinar las cuestiones externas e internas pertinentes a su propósito y que afectan su capacidad para alcanzar los resultados propuestos de su sistema de gestión de activos.*		
B. Los objetivos de la gestión de activos incluidos en el plan estratégico de gestión de activos (PEGA), deben estar alineados y ser coherentes con los objetivos de la organización*.		
<b>4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas</b>		
La organización debe determinar: A. Las partes interesadas pertinentes al sistema de gestión de activos*. B. Los requisitos y expectativas de las partes interesadas de la gestión de activos. C. Los criterios para la toma de decisiones en la gestión de activos. D. Los requisitos de las partes interesadas para registrar la información financiera y no financiera relativa a la gestión de activos y darla a conocer tanto interna como externamente*.	<b>F1.1</b>	B-C
	F1.4	B-C
	F1.7	B-C
	F2.1	B-C
	F2.2	B-C
	<b>F2.3</b>	B-C
	F3.1	B-C
	<b>F3.2</b>	B-C
	F3.4	B-C
	<b>F6.2</b>	B-C
F6.3	B-C	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas</b>		
La organización debe determinar: A. Las partes interesadas pertinentes al sistema de gestión de activos*. B. Los requisitos y expectativas de las partes interesadas de la gestión de activos. C. Los criterios para la toma de decisiones en la gestión de activos. D. Los requisitos de las partes interesadas para registrar la información financiera y no financiera relativa a la gestión de activos y darla a conocer tanto interna como externamente*.	F7.1	B-C
	<b>F7.3</b>	B-C
	<b>C1.4</b>	B-C
	C1.5	B-C
	<b>C1.6</b>	B-C
	<b>C2.1</b>	B-C
	C2.2	B-C
	C2.3	B-C
	<b>C3.1</b>	B-C
	C3.2	B-C
	C3.4	B-C
	C4.1	B-C
	<b>C4.2</b>	B-C
	C4.4	B-C
	C5.1	B-C
	<b>C5.2</b>	B-C
	C5.3	B-C
	P9.2	B-C
	<b>P9.4</b>	B-C
	<b>P9.8</b>	B-C
P10.6	B-C	
P10.7	B-C	
<b>P10.9</b>	B-C	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas</b>		
La organización debe determinar: A. Las partes interesadas pertinentes al sistema de gestión de activos*. B. Los requisitos y expectativas de las partes interesadas de la gestión de activos. C. Los criterios para la toma de decisiones en la gestión de activos. D. Los requisitos de las partes interesadas para registrar la información financiera y no financiera relativa a la gestión de activos y darla a conocer tanto interna como externamente*.	<b>A2.2</b>	B-C
	A2.3	B-C
	A2.4	B-C
<b>4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos</b>		
A. La organización debe determinar los límites y la aplicabilidad del sistema de gestión de activos para establecer su alcance. B. El alcance debe estar alineado con el PEGA y la política de gestión de activos*. Al determinar su alcance la organización debe considerar: C. Las cuestiones externas e internas referidas en el apartado 4.1*. D. Los requisitos referidos en el apartado 4.2. E. La interacción con otros sistemas de gestión, si corresponde*. F. La organización debe definir el portafolio de activos cubierto por el alcance del sistema de gestión de activos. G. El alcance debe estar disponible como información documentada*.	P4.1	A-D-F
	<b>P5.8</b>	A-D-F
	P5.9	A-D-F
	P5.10	A-D-F
	<b>4.4 Sistema de gestión de activos</b>	
A. La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de activos, incluyendo los procesos necesarios y sus interacciones, de acuerdo con los requisitos de esta norma internacional. B. La organización debe desarrollar un PEGA que incluya la documentación del rol del sistema de gestión de activos para apoyar el logro de los objetivos de gestión de activos*.	P8.2	A
	P8.3	A
	<b>P8.4</b>	A

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 5 NTC-ISO 55001: LIDERAZGO</b>		
<b>5.1 Liderazgo y compromiso</b>		
La alta dirección debe demostrar el liderazgo y el compromiso con respecto al sistema de gestión de activos al: A. Asegurarse que la política de gestión de activos, el PEGA y los objetivos de gestión de activos se establezcan y sean compatibles con los objetivos de la organización. B. Asegurar la integración de los requisitos del sistema de gestión de activos dentro de los procesos de negocio de la organización*. C. Asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para el sistema de gestión de activos. D. Comunicar la importancia de la eficaz gestión de activos y de su conformidad con los requisitos del sistema de gestión de activos. E. Asegurarse de que el sistema de gestión de activos logre los resultados propuestos. F. Dirigir y apoyar a las personas, para contribuir a la eficacia del sistema de gestión de activos. G. Promover la colaboración multifuncional dentro de la organización. H. Promover la mejora continua. I. Apoyar otras funciones de la gestión pertinentes para demostrar cómo se aplica su liderazgo en sus respectivas áreas de responsabilidad*. J. Asegurarse de que el enfoque utilizado para gestionar el riesgo en la gestión de activos esté alineado con el enfoque para gestionar el riesgo de la organización.	P6.2	C
	<b>P6.5</b>	C
	P6.8	C
	P8.2	E
	P8.3	E-H
	<b>P8.4</b>	E-H
	A1.5	C-D-G
	A1.6	D-G
	<b>A1.7</b>	D-E-G
	<b>A2.2</b>	C-E
	A2.3	C-E
	A2.4	C-H
	<b>A4.2</b>	C-J
<b>A4.3</b>	C-J	
A4.5	C-J	
<b>A5.3</b>	A-E-J	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>5.2 Política</b>		
La alta dirección debe establecer una política de gestión de activos que: A. Sea adecuada para los propósitos de la organización*. B. Provea un marco de referencia para el establecimiento de los objetivos de gestión de activos*. C. Incluya un compromiso para cumplir los requisitos aplicables*.		
D. Incluya un compromiso de mejora continua de gestión de activos*. La política de gestión debe: - Ser coherente con el plan organizacional. - Ser coherente con otras políticas pertinentes de la organización. - Ser adecuada a la naturaleza y escala de los activos y operaciones de la organización. - Estar disponible como información documentada. - Comunicarse dentro de la organización. - Estar disponible para las partes interesadas, cuando corresponda. - Ser implementada y revisada periódicamente y en caso de ser necesario, actualizada.		
<b>5.3 Roles, responsabilidad y autoridad en la organización</b>		
A. La alta dirección debe asegurar que la responsabilidad y autoridad de los roles pertinentes se asigne y comunique dentro de la organización. B. La alta dirección debe asignar la responsabilidad y autoridad para: - Establecer y actualizar el PEGA, incluidos los objetivos de gestión de activos. - Asegurar que el sistema de gestión de activos apoye la ejecución del PEGA. - Asegurar que el sistema de gestión de activos cumpla con los requisitos de esta norma internacional. - Asegurarse la idoneidad, educación y eficacia del sistema de gestión de activos. - Establecer y actualizar el plan de gestión de activos. - Informar sobre el desempeño del sistema de gestión de activos a la alta dirección.	A5.1	A-B
	A5.2	A-B
	<b>A5.3</b>	A-B

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 6 NTC-ISO 55001: PLANIFICACIÓN</b>		
<b>6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos</b>		
<p>A. Al panificar el sistema de gestión de activos, la organización debe considerar las cuestiones referidas en el apartado 4.1 y los requisitos referidos en el apartado 4.2 y determinar los riesgos y las oportunidades que necesitan tratarse para:</p> <p>B. Asegurar que el sistema de gestión de activos pueda lograr los requisitos propuestos.</p> <p>C. Prevenir o reducir efectos indeseados.</p> <p>D. Lograr la mejora continua.</p> <p>La organización debe:</p> <p>E. Planificar acciones para tratar los riesgos y oportunidades considerando cómo los riesgos y las oportunidades pueden cambiar a lo largo del tiempo.</p> <p>Cómo:</p> <p>F. Integrar e implementar las acciones en los procesos de su sistema de gestión de activos*.</p> <p>G. Evaluar la eficacia de esas acciones.</p>	P2.3	A-B-C
	<b>P2.9</b>	A-C-E
	P2.10	A-C-E
	P8.2	A-B-C
	P8.3	D
	<b>P8.4</b>	D-E
	P9.2	A-B-C
	<b>P9.4</b>	F-G
	<b>P9.8</b>	C-E
	P10.6	C-E-G
P10.7	C-E-G	
<b>P10.9</b>	A-G	
<b>6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos</b>		
<b>6.2.1 Objetivos de gestión de activos</b>		
<p>A. La organización debe establecer objetivos de gestión de activos en las funciones y niveles pertinentes.*</p> <p>B. Al establecer los objetivos de gestión de activos, la organización debe considerar los requisitos de las partes interesadas pertinentes y otros requisitos financieros, técnicos, legales, regulatorios y organizacionales en el proceso de planificación de la gestión de activos*.</p> <p>C. Los objetivos de gestión deben*:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ser coherentes y estar alineados con los objetivos de la organización</li> <li>- Ser coherentes con la política de gestión de activos</li> <li>- Establecerse y actualizarse utilizando los criterios de toma de decisiones de gestión de activos</li> </ul>		

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos</b>		
<b>6.2.1 Objetivos de gestión de activos</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecerse y actualizarse como parte del PEGA</li> <li>- Ser medibles (de ser posible)</li> <li>- Tener en cuenta los requisitos aplicables</li> <li>- Realizar el seguimiento</li> <li>- Ser comunicados a las partes interesadas pertinentes</li> <li>- Ser revisados y actualizados según corresponda</li> </ul> <p>D. La organización debe conservar información documentada sobre los objetivos de gestión de activos*.</p>		
<b>6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos</b>		
<b>6.2.2 Planificación para lograr los objetivos de gestión de activos</b>		
<p>A. La organización debe integrar las actividades de planificación para lograr los objetivos de gestión de activos con sus otras actividades de planificación organizacional, incluidas las funciones financieras y contables, de recursos humanos y otras funciones de apoyo*.</p> <p>B. La organización debe establecer, documentar y mantener planes de gestión de activos para lograr los objetivos de gestión de activos. Estos planes de gestión de activos deben estar alineados con la política de gestión de activos y el PEGA*.</p> <p>C. La organización debe asegurar que el plan de gestión de activos tome en cuenta los requisitos pertinentes de fuera del sistema de gestión de activos*.</p> <p>D. Al planificar la forma de lograr sus objetivos de gestión de activos, la organización debe determinar y documentar:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>a. El método y los criterios para tomar decisiones y priorizar las actividades recursos para cumplir su plan de gestión de activos y alcanzar los objetivos de gestión de activos*.</li> <li>b. Los procesos y métodos a emplear en la gestión de sus activos durante sus ciclos de vida.</li> <li>c. Qué hacer.</li> <li>d. Qué recursos se requerirán.</li> <li>e. Quién será responsable.</li> <li>f. Cuándo se finalizará.</li> <li>g. Cómo se evaluarán los resultados.</li> <li>h. El horizonte de tiempo adecuado para el plan de gestión de activos.</li> <li>i. Las implicaciones financieras y no financieras del plan de gestión de activos.</li> </ol>		

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>6.2 Objetivos de gestión de activos y planificación para lograrlos</b> <b>6.2.2 Planificación para lograr los objetivos de gestión de activos</b>		
j. El periodo de revisión del plan de gestión de activos. k. Las acciones para tratar los riesgos y oportunidades asociados a la gestión de activos teniendo en cuenta de qué modo estos riesgos y oportunidades pueden cambiar con el tiempo, estableciendo procesos para: - Identificar riesgos y oportunidades. - Evaluar riesgos y oportunidades. - Determinar la importancia de los activos para el logro de los objetivos de gestión de activos. - Implementar el tratamiento adecuado, realizar el seguimiento de los riesgos y oportunidades. E. La organización debe asegurarse de que sus riesgos relacionados con la gestión de activos se consideren dentro del enfoque de la gestión de riesgos de la organización incluyendo la planificación de contingencias*.		
<b>NUMERAL 7 NTC-ISO 55001: APOYO</b>		
<b>7.1 Recursos</b>		
A. La organización debe determinar y proporcionar los recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente el sistema de gestión de activos.  B. La organización debe proporcionar los recursos requeridos para cumplir con los objetivos de gestión de activos para implementar las actividades especificadas en el plan de gestión de activos.	P6.2	A-B
	<b>P6.5</b>	A-B
	P6.8	A - B
	A3.1	B
	<b>A3.2</b>	B
	A3.3	A-B
	<b>A4.2</b>	A-B
	<b>A4.3</b>	A-B
	A4.5	A-B

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>7.2 Competencia</b>		
La organización debe: A. Determinar la competencia necesaria de las personas que realizan la tarea bajo su control, que afecta el desempeño de los activos, el desempeño de la gestión de activos y el desempeño del sistema de gestión de activos.	<b>A2.2</b>	B
B. Asegurarse que estas personas sean competentes sobre la base de una apropiada educación, formación o experiencia. C. Según corresponda, poner en práctica acciones para conseguir la competencia necesaria y evaluar la eficacia de dichas acciones. D. Conservar la información documentada adecuada como evidencia de las competencias*. E. Revisar periódicamente las necesidades y requisitos de competencia, actuales y futuros*.	A2.3	B
<b>7.3 Toma de conciencia</b>		
La personas que trabajan bajo el control de la organización, que pueden tener un impacto en el logro de los objetivos de la gestión de los activos, deben tomar conciencia de: A. La política de gestión de activos*. B. Su contribución a la eficacia del sistema de gestión de activos incluyendo los beneficios de la mejora de desempeño de gestión de activos*. C. Sus actividades laborales, los riesgos asociados y las oportunidades y cómo se relacionan entre sí. D. Las implicaciones de la no conformidad con los requisitos del sistema de gestión de activos.	P8.2	D
	P8.3	D
	<b>P8.4</b>	D
	A5.1	C
	A5.2	C
	<b>A5.3</b>	C
<b>7.4 Comunicación</b>		
A. La organización debe determinar la necesidad de las comunicaciones internas y externas pertinentes a los activos, a la gestión de activos y al sistema de gestión de activos. Incluyendo*: - Qué comunicar. - Cuándo comunicar. - A quién comunicar. - Cómo comunicar.		

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>7.5 Requisitos de información</b>		
A. La organización debe determinar los requisitos de información para apoyar sus activos, gestión de activos, sistema de gestión de activos y el logro de sus objetivos organizacionales. Al hacerlo la organización debe incluir consideraciones sobre:	<b>A4.2</b>	D-E
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La importancia de los riesgos identificados.</li> <li>- Los roles y responsabilidades para la gestión de activos.</li> <li>- Los procesos, procedimiento y actividades de gestión de activos.</li> <li>- El intercambio de información con sus partes interesadas, incluido los proveedores de servicio.</li> <li>- El impacto de la calidad, disponibilidad y gestión de información en la toma de decisiones organizacionales.</li> </ul> B. La organización debe determinar: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los requisitos de atributos de la información identificada.</li> <li>- Los requisitos de calidad de la información identificada.</li> <li>- Cómo y cuándo recopilar, analizar y evaluar la información.</li> </ul> C. La organización debe especificar, implementar y mantener procesos para gestionar su información. D. La organización debe determinar los requisitos para alinear la terminología financiera y no financiera pertinente para la gestión de activos en la organización. E. La organización debe asegurar que haya coherencia y trazabilidad entre los datos técnicos y contables y otros datos extra financieros pertinentes, en la medida requerida para cumplir con los requisitos legales y regulatorios al tiempo que se toma en cuenta los requisitos de las partes interesadas y de los objetivos organizacionales.	<b>A4.3</b>	D-E
	A4.5	D-E
	A5.1	A-C
	A5.2	A-C
	<b>A5.3</b>	A-C
<b>7.6 Información documentada</b>		
<b>7.6.1 Generalidades</b>		
El sistema de gestión de activos de la organización debe incluir: A. Información documentada requerida por esta norma internacional. B. Información documentada para los requisitos legales y regulatorios aplicables. C. Información documentada determinada por la organización como necesaria para la eficacia de gestión de activos, tal como se especifica en el apartado 7.5.	<b>A4.2</b>	C
	<b>A4.3</b>	C
	A4.5	C

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>7.6 Información documentada</b>		
<b>7.6.2 Redacción y actualización</b>		
Al redactar y actualizar la información documentada, la organización debe asegurar la adecuada: A. Identificación y descripción*. B. Formato*. C. Revisión y aprobación con respecto a la pertinencia y adecuación*.		
<b>7.6 Información documentada</b>		
<b>7.6.3 Control de información documentada</b>		
A. La información documentada por el sistema de gestión de activos y por esta norma internacional debe controlarse para asegurar: - Su disponibilidad y pertinencia para utilizarse, dónde y cuándo se necesite. - Su adecuada protección. B. Para controlar la información documentada la organización debe tratar las siguientes actividades según corresponda*: - Distribución, acceso, recuperación y uso. - Almacenamiento y preservación, incluyendo la preservación de la legibilidad. - Control de cambios. - Retención y disposición. C. La información documentada de origen externo, considerada por la organización como necesaria para la planificación y la operación del sistema de gestión de activo, debe identificarse según corresponda y debe controlarse*.		

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 8 NTC-ISO 55001: OPERACIÓN</b>		
<b>8.1 Planificación y control operacional</b>		
La organización debe planificar y controlar los procesos requeridos para cumplir los requisitos e implementar las acciones determinadas en el apartado 6.1, en el plan de gestión de activos determinado en el apartado 6.2 y las acciones correctivas y preventivas determinadas en los apartados 10.1 y 10.2 de la siguiente manera: A. Estableciendo criterios para los procesos.	P4.1	A-B-D
B. Implementado el control de los procesos de acuerdo con esos criterios. C. Manteniendo la información documentada en la medida necesaria para tener la seguridad y la evidencia de que los procesos se desarrollaron conforme con lo planificado*. D. Tratando y realizando seguimiento a los riesgos utilizando el enfoque descrito en el apartado 6.2.2.	<b>P4.7</b>	A
	P4.10	A-B-D
	<b>P7.1</b>	A-B
	P7.4	A-B
	P7.7	A-B-D
	P8.2	B
	P8.3	D
<b>P8.4</b>	D	
<b>8.2 Gestión del cambio</b>		
A. Antes de implementar cualquier cambio, se deben valorar los riesgos asociados a cualquier cambio planificado permanente o temporal, que pueda tener un impacto en el logro de los objetivos de la gestión de activos*. B. La organización debe asegurar que dichos riesgos se gestionen de acuerdo con los apartados 6.1 y 6.2.2*. C. La organización debe controlar los cambios planificados y revisar las consecuencias no deseadas de los cambios, tomando acción para mitigar cualquier efecto adverso, según sea necesario*.		

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>8.3 Contrato a terceros</b>		
A. Cuando la organización contrate a terceros cualquier actividad que pueda tener impacto en el logro de sus objetivos de gestión de activos, debe evaluar los riesgos asociados. La organización debe asegurar que se controlen los procesos y las actividades contratadas a terceros. B. La organización debe determinar y documentar el modo en el cual se controlarán e integrarán esas actividades contratadas a terceros en el sistema de gestión de activos de la organización. C. La organización debe determinar: - Los procesos y actividades que serán contratadas a terceros. - Las responsabilidades y autoridades dentro de la organización para gestionar los procesos y actividades contratadas a terceros. - Los procesos y el alcance para compartir el conocimiento y la información entre la organización y sus prestadores de servicios contratados a terceros. D. Cuando se contrate a terceros cualquier actividad la organización debe asegurar que: - Los recursos contratados a terceros cumplan con los requisitos en los apartados 7.2, 7.3 y 7.6. - Sobre el desempeño de las actividades contratadas a terceros se realice un seguimiento de acuerdo con el apartado 9.1.	<b>C1.4</b>	A-D
	C1.5	A-D
	<b>C1.6</b>	A-D
	<b>C2.1</b>	A-D
	C2.2	A-D
	C2.3	A-D
	C4.1	A-D
	<b>C4.2</b>	A-D
	C4.4	A-D
	P8.2	A-D
	P8.3	A-C
	<b>P8.4</b>	A-D
<b>A5.3</b>	A-B-C	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 9 NTC-ISO 55001: EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO</b>		
<b>9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación</b>		
La organización debe determinar: A. Lo que se necesita monitorear y medir. B. Los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación. Según sea aplicable, para asegurar la validez de los resultados. C. El momento en que se deben realizar el seguimiento y la medición. D. El momento en el que se deben analizar y evaluar los resultados del seguimiento y la medición. E. La organización debe evaluar e informar sobre: - El desempeño de activos. - El desempeño de la gestión de activos, incluyendo el desempeño contable y extracontable - La eficacia del sistema de gestión de activos. F. La organización debe evaluar e informar sobre la eficacia de los procesos para gestionar los riesgos y las oportunidades. G. La organización debe conservar la información documentada adecuada como evidencia de los resultados de seguimiento, la medición, el análisis y la evaluación. H. La organización debe asegurar que sus seguimientos y mediciones le permitan cumplir los requisitos del apartado 4.2.	<i>F1.1</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>F2.3</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>F6.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>F7.3</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>C2.1</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>C4.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>C5.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>P1.1</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>P2.9</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>P3.8</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>P9.8</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>P10.9</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>A2.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>A3.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>A4.2</i>	A-C-E-F-G-H
	<i>A4.3</i>	A-C-E-F-G-H
P8.2	B-D-G	
P8.3	B-G-H	
<i>P8.4</i>	B-G-H	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>9.2 Auditoría interna</b>		
A. La organización debe llevar a cabo auditorías internas a intervalos planificados a fin de proporcionar información para colaborar en la decisión sobre el sistema de gestión de activos: B. cumple con*: - Los requisitos de la organización en relación con sus sistema de gestión de activos. - Los requisitos de esta norma internacional. C. Se implementa y mantiene eficazmente*. La organización debe: D. Planificar, establecer, implementar y mantener un programa de auditoría que incluya la frecuencia, los métodos, las responsabilidades, los requisitos planificados y los informes. El programa de auditoría debe tener en cuenta la importancia de los procesos relacionados y los resultados de las auditorías previas*. E. Definir los criterios y alcance de cada auditoría*. F. Seleccionar auditores y llevar a cabo auditorías que aseguran a objetividad e imparcialidad en el proceso de auditoría*. G. Asegurar que los resultados de las auditorías se informen a los directivos pertinentes*. H. Conservar información documentada como evidencia de la implementación del programa de auditorías y de los resultados de la auditoría*.	P8.2	A
	P8.2	A

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>9.3 Revisión por la dirección</b>		
<p>A. La alta dirección debe revisar el sistema de gestión de activos de la organización a intervalos planificados para asegurar su continua pertinencia, adecuación y eficacia.                      La revisión por la dirección debe incluir lo siguiente:                      B. El estado de las acciones resultantes de revisiones previas por la dirección.                      C. Los cambios en las cuestiones externas e internas que sean pertinentes al sistema de gestión de activos*.                      D. La información sobre el desempeño de la gestión de activos, incluyendo una orientación hacia:                      - No conformidades y acciones correctivas.                      - resultados de seguimiento y mediciones.                      - resultados de auditorías.                      E. La actividad de gestión de activos.                      F. Las oportunidades de mejora continua.                      G. Los cambios en el perfil de riesgos y oportunidades*.                      H. Los resultados de la revisión por la dirección deben incluir las decisiones relacionadas con las oportunidades de mejora continua y cualquier necesidad de cambios del sistema de gestión de activos.                      I. La organización debe conservar información como evidencia de los resultados de las revisiones por la dirección*.</p>	<i>F1.1</i>	A
	<i>F2.3</i>	A-D-E
	<i>F6.2</i>	A-D-E
	<i>F7.3</i>	A-D-E
	<i>C2.1</i>	A-D-E
	<i>C4.2</i>	A-D-E
	<i>C5.2</i>	A-D-E
	<i>P1.1</i>	A-D-E
	<i>P2.9</i>	A-D-E
	<i>P3.8</i>	A-D-E
	<i>P9.8</i>	A-D-E
	<i>P10.9</i>	A-B
	<i>A2.2</i>	A-D-E
	<i>A3.2</i>	A
	<i>A4.2</i>	A
	<i>A4.3</i>	A
P8.2	A-H-F	
P8.3	A	
<i>P8.4</i>	A-B-D	

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>NUMERAL 10 NTC-ISO 55001: MEJORA</b>		
<b>10.1 No conformidad y acciones correctivas</b>		
<p>Cuando ocurre una no conformidad o incidente en sus activos, gestión de activos o sistemas de gestión de activos, la organización debe:                      A. reaccionar ante la no conformidad o incidente y según sea aplicable:                      - Tomar acciones para controlarla y corregirla.                      - Ocuparse de las consecuencias.                      B. Evaluar la necesidad de tomar una decisión para eliminar las causas de la no conformidad o incidentes para evitar su recurrencia o que ocurra en otro lugar, realizando lo siguiente:                      - Revisando la no conformidad o incidente.                      - Determinando las causas de la no conformidad o incidente.                      - Determinando si existen no conformidades similares o si pudieran potencialmente ocurrir.                      C. Implementar cualquier acción necesaria.                      D. Revisar la eficacia de cualquier acción correctiva tomada.                      E. Realizar cambios en el sistema de gestión de activos, de ser necesario*.                      F. Las acciones correctivas deben ser apropiadas a los efectos de las no conformidades o incidentes hallados*.                      G. La organización debe conservar información documentada como evidencia de*:                      - La naturaleza de las no conformidades o incidentes y cualquier acción posterior que se haya tomado.                      - Los resultados de cualquier acción correctiva.</p>	C1.5	A
	P8.2	D
	P8.3	C
	<i>P8.4</i>	C

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
<b>10.2 Acciones preventivas</b>		
A. La organización debe establecer procesos para identificar proactivamente potenciales fallas en el desempeño de los activos y evaluar la necesidad de acción preventiva.  B. Cuando la organización identifique una falla potencial debe aplicar los requisitos del apartado 10.1.	<i>C1.4</i>	A-B
	C3.2	A-B
	<i>P4.7</i>	A-B
	P4.10	A-B
	<i>P5.8</i>	A-B
	P8.2	A-B
	<i>P9.8</i>	A-B
<b>10.3 Mejora continua</b>		
A. La organización debe mejorar continuamente la pertinencia, la adecuación y la eficacia de su gestión de activos y de sus sistemas de gestión de activos.	<i>F1.1</i>	A
	F1.4	A
	F1.7	A
	F2.1	A
	F2.2	A
	<i>F2.3</i>	A
	<i>C2.1</i>	A
	C2.2	A
	C2.3	A
	C4.1	A
	<i>C4.2</i>	A
	C4.4	A
	C5.1	A
	<i>C5.2</i>	A
	C5.3	A

Continúa

Numeral – Requisitos – Criterios de evaluación	Indicador	Criterio de evaluación medido
A. La organización debe mejorar continuamente la pertinencia, la adecuación y la eficacia de su gestión de activos y de sus sistemas de gestión de activos.	<i>P1.1</i>	A
	P1.2	A
	P1.3	A
	P2.3	A
	<i>P2.9</i>	A
	P2.10	A
	P3.6	A
	<i>P3.8</i>	A
	P3.9	A
	P8.2	A
	P8.3	A
	<i>P8.4</i>	A

Nomenclatura: \* Criterios de evaluación que no son susceptibles de ser medidos a través de indicadores de gestión, dado que están asociados con evidencias documentales cuya evaluación se restringe a juicios de valor de "se cumple" o "no se cumple".  
 Se resaltan en negrilla y en celda gris los indicadores de gestión priorizados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).  
 Se presentan en cursiva los indicadores de gestión actualmente implementados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

### Anexo 1.3. Propuesta de modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del CMI y evaluación de facilidad de implementación por parte del ICP (Ecopetrol S.A.)

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
<b>PERSPECTIVA: FINANCIERA</b>						
<b>F1. Asegurar costos bajos de ciclo de vida de los activos</b>						
F1	Costo de etapa del ciclo de vida X/costo global (cuantificación de los costos generados durante el ciclo de vida del activo) [2] donde: X = incorporación, cuidado básico, mantenimiento o desincorporación	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C		
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación 9.3 Revisión por la dirección	A-C-E-F-G-H A	X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
F1	Costo de etapa del ciclo de vida X/costo global (cuantificación de los costos generados durante el ciclo de vida del activo) [2] donde: X = incorporación, cuidado básico, mantenimiento o desincorporación	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A		
		Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas 10.3 Mejora continua	B-C A	X	X
F1	Costo de mantenimiento/pies cuadrados mantenidos (%) [2]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas 10.3 Mejora continua	B-C A		
		Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas 10.3 Mejora continua	B-C A	X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
<b>F2. Incrementar la rentabilidad o retorno de los activos</b>										
F2	Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias)/ valor de activos mantenidos involucrados en soluciones tecnológicas (proyectos I+D y asistencias)	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	12	X	X			
			9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H						
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						
F2	Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias)/ valor neto de los activos [20]	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A	3	X	X			X
			4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C						
			10.3 Mejora continua	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
<b>F3. Incrementar el retorno de la inversión de los gastos de mantenimiento</b>										
F2	Beneficio comprobados de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias)/ valor neto de los activos fijos [20]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	3	X	X			X
			10.3 Mejora continua	A						
			Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora							
F3	Beneficios comprobados por soluciones tecnológicas (proyectos I+D y asistencias)/ costo de mantenimiento de activos involucrados en soluciones tecnológicas	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	2	X	X			X
			Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	B-C						
F3	Ahorro de gastos de energía gracias a intervenciones de gestión de activos/gastos de mantenimiento en esos activos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	2	X	X			X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Priorizados actualmente por el ICP					
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO		
F.3	Beneficios comprobados por soluciones tecnológicas- costos de financiación de Centro de Innovación y Tecnología [14], donde: Centro de Innovación y Tecnología = costos fijos + costos de operación + costos de mantenimiento preventivo + costos de mantenimiento correctivo	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	2	X			X		
<b>F6. Controlar y optimizar los costos fijos actuales de los activos (Gastos operativos, gastos de mano de obra y materiales y gastos de energía)</b>										
F.6	(Coste total de mantenimiento de laboratorio X + costes de indisponibilidad ligados al mantenimiento en laboratorio X)/números de pruebas procesadas en laboratorio X (medido como decimal) [21]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	11	X			X		

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Priorizados actualmente por el ICP					
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO		
F.6	(Coste total de mantenimiento de laboratorio X + costes de indisponibilidad ligados al mantenimiento en laboratorio X)/números de pruebas procesadas en laboratorio X (medido como decimal) [21]	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación 9.3 Revisión por la dirección	11		X		X		
F.6	Costos de mantenimiento de plantas piloto/total horas corrientes experimentales en plantas piloto	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	2	X			X		
<b>F7. Controlar y optimizar los costos de contratación de mantenimiento de los activos</b>										
F.7	Costo total de contratación de servicios de mantenimiento/ costos totales de mantenimiento en período actual frente al período anterior (%) [21]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	11	X			X		

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP
F.7	12 Costo total de contratación de servicios de mantenimiento/ costos totales de mantenimiento en periodo actual frente al periodo anterior (%) [21]	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	11	SI	NO
			9.3 Revisión por la dirección		SI	NO
F.7	13 Costos de contratación de mantenimiento/valor de activos (valor en libros) periodo actual frente al periodo anterior [20]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	2	SI	NO

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP
C1	14 Número total de órdenes de mantenimiento X de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D cerradas en tiempo meta/total número de órdenes de mantenimiento X de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D realizadas, donde: X = en general, preventivo, correctivo, correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo -basado en la condición) o Fundamentado en la situación	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	6	SI	NO
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros		SI	NO
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas		SI	NO

C1. Aumentar la satisfacción del cliente interno con los servicios de gestión de activos (por cumplimiento, capacidad de respuesta, calidad del servicio, costos, etc.)

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C1	Número de avisos de mantenimiento de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D cerrados a tiempo según el acuerdo de servicio/total avisos de mantenimiento de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D generados por el usuario	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	6				X	
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.1 No conformidad y acciones correctivas	A						
C1	Número de usuarios de mantenimiento satisfechos/número total de usuarios de mantenimiento	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	4		X		X	
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C2	Número de soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas) con hitos incumplidos por problemas de calidad en resultados debidos a fallas de funcionalidad de los activos; imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	14					
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D						
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H						
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						

C2. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar al mejoramiento de la calidad de las soluciones tecnológicas desarrolladas en el Centro de Innovación y Tecnología (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C2	Número de pruebas con defectos o retrabajos debidas a fallas de funcionalidad de activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración con potencialidad para afectar la calidad de las soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas especializadas)	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5					
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D			X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						
C2	Número de incidentes que afectan la calidad de las soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias técnicas especializadas) debidas a fallas de funcionalidad de los activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5					
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D			X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C3	Reducción de costos real por iniciativas de eficiencia de transformación (TMO)/meta de reducción de costos por iniciativas de eficiencia de transformación (optimización de gestión de mantenimiento)	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	2		X		X	
		Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C						
C3	Costo de mantenimiento correctivo en equipos con estrategia de mantenimiento preventivo periodo actual/costo de mantenimiento correctivo de esos activos en periodo anterior	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	4		X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas	A-B						

**C3. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar a la reducción en los costos de las soluciones tecnológicas desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología**  
(proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
C3	22 FF * TPFS * (CD+CP) [13], donde: FF = frecuencia de fallo. Número de fallos que se presentan en un periodo de evaluación. TPFS = tiempo promedio fuera de servicio. Mide el tiempo promedio que toma reintegrar a un componente a un estado apto de operación, después de un fallo. CD = costos directos de corrección por fallos por hora CP = costes penalización por hora. Comprende los costes de oportunidad generados por eventos de fallos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	2	X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
C4	23 Número de hitos incumplidos de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias) debidas a fallas de funcionalidad de los activos imputables a deficiencias de mantenimiento o calibración	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización  Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación  Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño  Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas  8.3 Contrato a terceros  9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación  9.3 Revisión por la dirección  10.3 Mejora continua	14	X	X

Continúa

C4. Generar un valor agregado para los clientes finales al aportar al cumplimiento en las entregas y tiempos de respuesta establecidos en los acuerdos de soluciones tecnológicas desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas)

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C4	Número de fallas de control por condición física de activos imputables a la gestión de mantenimiento cerradas a tiempo/número de fallas de control por condición física de activos imputables a la gestión de mantenimiento reportadas con potencial para afectar el cumplimiento de hitos de proyectos de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias)	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5					
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D			X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						
C4	Número de hitos incumplidos de soluciones tecnológica (proyectos I+D y asistencias) debido a la no disponibilidad de equipos imputable a la gestión de mantenimiento	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5					
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.3 Contrato a terceros	A-D			X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C5	Número de incidentes y accidentes que afectan la salud y seguridad de trabajadores o comunidad imputables a la gestión de activos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	12					
			9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H			X		X	
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						
		Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C			X		X	
C5	Número de incidentes y accidentes que afectan el medio ambiente imputables a la gestión de activos	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	3					
			10.3 Mejora continua	A						

C5. Mantener o mejorar el reconocimiento de la organización por la calidad de las soluciones tecnológicas desarrolladas (proyectos de I+D o asistencias técnicas especializadas), la seguridad, la salud y el respeto con el medio ambiente

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
C5	Número de soluciones tecnológicas (proyectos I+D o asistencias) con evaluación de satisfacción por debajo de meta debido a problemas imputables a la gestión de activos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B- C	3	X			X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						
<b>P1. Garantizar la confiabilidad de los activos y promover mejoras en los mismos que impacten la calidad de las soluciones tecnológicas (Proyectos I+D y Asistencias técnicas) desarrolladas por el Centro de Innovación y Tecnología</b>										
P1	Número de fallas (averías) del equipo presentadas/total de horas en el periodo de tiempo (expresado como decimal) [20]	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H	10	X			X	
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P1	Número de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D con fallas/total activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A	1	X			X	
P1	Número de fallas repetitivas en los equipos/número total de fallas reportadas en los equipos (%) [20]	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A	1	X			X	
<b>P2. Asegurar la disponibilidad de equipos</b>										
P2	Tiempo de indisponibilidad (fuera de servicio) después de fallos o tiempo total de recuperación/número de fallos en el periodo evaluado (expresado como decimal) [14] [21]	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-C-E	13	X			X	
			9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H						
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P2	32 Tiempo de indisponibilidad (fuera de servicio después de fallos o tiempo total de recuperación)/número de fallos en el período evaluado (expresado como decimal) [14][21]	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A	13		X		X	
P2	33 Tiempo total de funcionamiento/(total tiempo funcionamiento + tiempo indisponibilidad X) (%) [20] [19], donde: X = total por fallos, por mantenimiento o por mantenimiento programado	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-B-C	3		X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P2	34 Tiempo de mantenimiento X que origina indisponibilidad tiempo total de indisponibilidad por mantenimiento (%) [21], donde: X = correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), preventivo, predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo-basado en la condición) o fundamentado en la situación	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-B-C	3		X		X	
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A						
P3	35 (Tiempo de vida útil real de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D) - (Tiempo de vida útil estipulado por fábrica para activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D)	<b>P3. Mejorar la capacidad y la productividad de las operaciones</b>								
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H	10				X	
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E			X			
Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	A								

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP		
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Priorizados actualmente por el ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
P3	Promedio de fallas de familia de activos X con incremento de vida útil/promedio de fallas de familia de activos X, donde: Promedio de fallas de familia de activos X con incremento de vida útil = número de fallas de activos familia X con incremento de vida útil/número de activos familia X con incremento de vida útil por intervención de mantenimiento	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	1	X	X
P3	Número de activos prioritarios para proyectos de plan tecnológico de I+D con incremento de vida útil/total de activos prioritarios para proyectos de plan tecnológico de I+D a lo que se hizo intervención de mantenimiento preventivo	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.3 Mejora continua	1	X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP		
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Priorizados actualmente por el ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO
<b>P4. Asegurar una óptima estrategia de mantenimiento</b>						
P4	Horas-hombre usadas para planificar mantenimiento sistemático (preventivo y predictivo -basado en la condición)/horas-hombre totales de personal interno de mantenimiento [21]	Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	3		
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas		X	X
P4	Número de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D con X/total de activos prioritarios para el plan tecnológico de I+D [20], donde: X = análisis de criticidad vigente, análisis de confiabilidad vigente o estrategia de mantenimiento y hoja de ruta de finida	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	6		
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional		X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P4	Costos de mantenimiento X/ costos total de mantenimiento (%) [21] [20], donde: X= preventivo, correctivo, correctivo emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo- basado en la condición) o fundamentado en la situación	Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	A-B-D	5					
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas	A-B		X			X	
<b>P5. Priorizar los activos según los requerimientos del negocio con el fin de lograr un mayor impacto en la gestión de activos</b>										
P5	Número de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos con plan de mantenimiento preventivo implementado/ número de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	A-D-F	5					
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas	A-B		X			X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P5	Costos de mantenimiento de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos/ total costos de mantenimiento	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	A-D-F	3					
P5	Número de órdenes de mantenimiento de activos críticos o esenciales por seguridad de procesos/ total órdenes de mantenimiento	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.3 Determinación del alcance del sistema de gestión de activos	A-D-F	3					
<b>P6. Mantener altos estándares de gestión de compras e inventarios de materiales (partes y repuestos)</b>										
P6	Número total de órdenes de compra urgentes recibidos en el tiempo previsto/ número total de órdenes de compra urgentes (%)	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C	3					
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B		X			X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI									
Persp.CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
		Numeral	Requisito	Criterios		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP		
P6	Número de órdenes de trabajo de mantenimiento con material (partes y repuestos) pendiente/número total de órdenes de mantenimiento (%) [20]	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C	3	SI	NO	X	
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B		NO	SI		NO
P6	Número total de materiales (partes y repuestos) entregados a tiempo/total materiales solicitados (%) [20]	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C	3	SI	NO	X	
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B		NO	SI		NO
<b>P7. Garantizar una óptima programación de mantenimiento y flujo de trabajo</b>									
P7	Número de órdenes de mantenimiento planificadas/total avisos o solicitudes de mantenimiento recibidas que requieren orden de mantenimiento (%) [20]	Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	A-B	2	SI	NO	X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI									
Persp.CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
		Numeral	Requisito	Criterios		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP		
P7	Órdenes de mantenimiento vencidas/total de órdenes de mantenimiento pendientes (%) [20]	Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	A-B-D	3	SI	NO	X	
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	A-B		NO	SI		NO
P7	Horas-hombre reales ejecutadas de mantenimiento programado/horas-hombre reales en órdenes de mantenimiento programado (%) [20]	Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	A-B	2	SI	NO	X	
<b>P8. Asegurar y mejorar los procesos de gestión de activos</b>									
P8	Número de acciones de mejora del proceso de mantenimiento ejecutadas/número de acciones de mejora planeadas	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.4 Sistema de gestión de activos	A	17	SI	NO	X	
		Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	E-H		NO	SI		NO

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP				
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos		Priorizados actualmente por el ICP	
		Numeral	Requisito	Criterios	SI	NO	SI	NO
P8	Número de acciones de mejora del proceso de mantenimiento ejecutadas/número de acciones de mejora planeadas	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	D-E	17	X	X	
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.3 Toma de conciencia	D				
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional	D				
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	8.3 Contrato a terceros	AD				
			9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	B-C-H				
			9.3 Revisión por la dirección	A-B-D				
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.1 No conformidad y acciones correctivas	C				
			10.3 Mejora continua	A				

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP					
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios	SI	NO	SI	NO	
P8	Número de órdenes de mantenimiento X auditadas/número total de órdenes de mantenimiento X (%) [20], donde: X=engeneral, preventivo, correctivo (mantenimiento emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo-basado en la condición) o fundamentado en la situación	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.4 Sistema de gestión de activos	A	20	X	X		
		Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	E					
		Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-B-C					
			Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.3 Toma de conciencia					D
			Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	8.1 Planificación y control operacional					B
				8.3 Contrato a terceros					A-D

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI						
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001			EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL LCP	
		Numeral	Requisito	Criterios	Implementados actualmente por el LCP	Priorizados actualmente por el LCP
P8	Número de órdenes de mantenimiento X auditadas/ número total de órdenes de mantenimiento X (%) [20], donde: X= en general, preventivo, correctivo, mantenimiento emergente (mantenimiento no programado de carácter urgente), predictivo (basado en la condición), sistemático (preventivo y predictivo- basado en la condición) o fundamentado en la situación	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	B-D-G		
			9.2 Auditoría interna	A		
			9.3 Revisión por la dirección	A-H-F		
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.1 No conformidad y acciones correctivas	D	X	
			10.2 Acciones preventivas	A-B		
		10.3 Mejora continua	A			
		Número de criterios medidos				

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI								
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001			EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL LCP			
		Numeral	Requisito	Criterios	Implementados actualmente por el LCP	Priorizados actualmente por el LCP		
P8	Horas-hombre empleadas en mejoramiento continuo/horas-hombre totales de personal de mantenimiento (%) [21][20]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.4 Sistema de gestión de activos	A				
			Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	E-H			
		Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	D	X			
			7.3 Toma de conciencia	D				
			8.1 Planificación y control operacional	B				
		8.3 Contrato a terceros	A-D					
		Número de criterios medidos					14	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P8	Horas-hombre empleadas en mejoramiento continuo/horas-hombre totales de personal de mantenimiento (%) [21] [20]	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	B-GH	14	X			X	
			9.3 Revisión por la dirección	A						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.1 No conformidad y acciones correctivas	C						
			10.3 Mejora continua	A						
<b>P8. Prevenir y predecir las inseguridades para los procesos o las personas</b>										
P9	Órdenes de mantenimiento preventivo de equipos críticos ejecutadas/órdenes de mantenimiento preventivo de equipo críticos planeadas	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	15	X			X	
			Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos						C-E

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P9	Órdenes de mantenimiento preventivo de equipos críticos ejecutadas/órdenes de mantenimiento preventivo de equipo críticos planeadas	Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-GH	P9	X			X	
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E						
		Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.2 Acciones preventivas	A-B						
			4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C						
P9	Número de fallas de control a tenidas/número de fallas de control reportadas (fallas que generan riesgos de seguridad)	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	F-G	4	X			X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
		Numeral	Requisito	Criterios		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP
P9	Número de activos críticos por seguridad en procesos con fallas /total de activos críticos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5		
		Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-B-C		X	X
P9	Número de fallas en las que se realizó un análisis de causa raíz/total de fallas reportadas (%) [20]	Numeral 10 NTC-ISO 55001: mejora	10.1 No conformidad y acciones correctivas	B	1		X
<b>PI0. Garantizar una operación limpia y respetuosa del medio ambiente</b>							
P10	(Hitos cumplidos del plan HSE/Hitos planeados del plan HSE)*100	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	12	X	X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI								
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		Implementados actualmente por el ICP	Priorizados actualmente por el ICP	
P10	(Hitos cumplidos del plan HSE/Hitos planeados del plan HSE)*100	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	A-G	12			
			Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación 9.3 Revisión por la dirección		A-C-E-F-G-H A-B	X	X
			Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas		B-C		
P10	Número de equipos incluidos en plan de reposición/ número total de equipos con alto impacto ambiental por obsolescencia	Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	C-E-G	5	X	X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp.CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
P10	Número de activos con reducción de impacto ambiental gracias a intervención de mantenimiento/número de activos mantenidos	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5					
		Numeral 6 NTC-ISO 55001: planificación	6.1 Acciones para hacer frente a riesgos y oportunidades para el sistema de gestión de activos	C-E-G			X		X	
<b>A1. Fortalecer la participación de la primera línea de operación de activos en labores de mantenimiento y cuidado básico</b>										
A1	Número de rondas estructuradas de operación de activos realizadas/número de rondas estructuradas de operación de activos programadas	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	D-E-G	3		X		X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp.CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001			Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito	Criterios		SI	NO	SI	NO	
A1	Tiempo de inactividad total atribuido a errores operacionales detectados a partir de análisis de causa raíz/ total tiempo de inactividad [20]	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	D-E-G	3		X		X	
A1	Horas-hombre de mantenimiento por operario de producción/horas-hombre total de personal X (%) [21], donde: X = personal directo de mantenimiento o personal operarios de producción	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	D-E-G	3		X		X	
<b>A2. Contar con talento humano altamente cualificado y motivado</b>										
A2	Tiempo perdido estimado debido a deficiencias en competencias técnicas de mantenimiento (falta de conocimiento o habilidades)/ tiempo total de trabajo de mantenimiento (%) [20]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	14		X		X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				Número de criterios medidos		EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP		
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Criterios	Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito			SI	NO	SI
A2	Tiempo perdido estimado debido a deficientes en competencias técnicas de mantenimiento (falta de conocimiento o habilidades)/ tiempo total de trabajo de mantenimiento (%) [20]	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C-E	14			
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.2 Competencia	B				
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H		X		X
			9.3 Revisión por la dirección	A-D-E				
A2	Reproceso de mantenimiento debido a la falta de competencias técnicas (falta de conocimiento o habilidad)/ tiempo total de trabajo de mantenimiento (%) [20]	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	5			
		Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C-E			X	
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.2 Competencia	B				
								X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				Número de criterios medidos		EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP	
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Criterios	Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP	
		Numeral	Requisito			SI	NO
A2	Dinero invertido en entrenamiento en X/número total de empleados dedicados a la gestión de activos (expresado como decimal) [21] [20], donde: X= gestión de activos o desarrollo humano	Numeral 4 NTC-ISO 55001: contexto de la organización	4.2 Comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas	B-C	4		
			Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso		C-H	
A2	Número total de empleados con altos índices de motivación en la encuesta de clima laboral/número total de empleados	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	F	1		X

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI					EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP	
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO
A2	Número total de empleados X / número total de empleados de gestión de activos (expresado como decimal) [20], donde: X = X = empleados en desarrollo de competencias (en formación) en gestión de activos; empleados competentes en gestión de activos; empleados competentes en confiabilidad de equipo estático; empleados competentes en confiabilidad de equipo dinámico o empleados competentes en sistemas de información computarizados	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.2 Competencia	1	X		X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI					EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP				
Persp. CMI y Med. Diño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO	
<b>A3. Asegurar la disponibilidad del talento humano para atender los requerimientos de gestión de activos</b>									
A3	Número de empleados de mantenimiento equivalentes a tiempo completo/número de planificadores de mantenimiento (expresado como decimal) [20]	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	B					
		Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación 9.3 Revisión por la dirección	A-C-E-F-G-H A	8	X		X	
A3	Número de empleados de mantenimiento equivalentes a tiempo completo/número de supervisores o entrenadores (expresado como decimal) [20]	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	B	X			X	
A3	Número de empleados internos de mantenimiento/número total de empleados internos (%) [21]	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B	X			X	

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP					
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito		SI	NO		SI	NO
A4	Costo total de mano de obra de mantenimiento en sistemas de información de gestión de mantenimiento /total de costos de mano de obra de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]	71	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C-J				
				Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B			
					7.5 Requisitos de información	D-E			
					7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	C	X		X
				Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H			
					9.3 Revisión por la dirección	A			

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP					
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP		
		Numeral	Requisito		SI	NO		SI	NO
A4	Costo total del material de mantenimiento en sistemas de información de gestión de mantenimiento /total de costos de material de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]	72	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C-J				
				Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.1 Recursos	A-B			
					7.5 Requisitos de información	D-E			
					7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	C	X		X
				Numeral 9 NTC-ISO 55001: evaluación del desempeño	9.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	A-C-E-F-G-H			
					9.3 Revisión por la dirección	A			

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP			
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO		
A4	73 Costo de mantenimiento total cargado a equipos individuales/costo total de mantenimiento en el sistema de información financiero y contable (%) [20]	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	5.1 Liderazgo y compromiso	C-J						
			7.1 Recusos	A-B						
A4	74 Número de indicadores de desempeño en gestión de activos con disponibilidad de información X/total de indicadores de desempeño evaluados en la gestión de activos, donde: X = en el sistema de información, en tiempo real, en la periodicidad requerida o confiable	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.5 Requisitos de información	D-E	X			X		
			7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	C						
A4	74 Número de indicadores de desempeño en gestión de activos con disponibilidad de información X/total de indicadores de desempeño evaluados en la gestión de activos, donde: X = en el sistema de información, en tiempo real, en la periodicidad requerida o confiable	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.5 Requisitos de información	B						
			7.6 Información documentada 7.6.3 Control de información documentada	A		X		X		

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI							EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL ICP			
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Número de criterios medidos	Implementados actualmente por el ICP		Priorizados actualmente por el ICP			
		Numeral	Requisito		SI	NO	SI	NO		
A4	75 Número de información documentada en sistema de información para la gestión de activos/ número de información documentada requerida en sistema de información según la norma de gestión de activos	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	A						
			7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	B						
A4	76 Número de información documentada de requisitos legales y regulatorios aplicables en sistema de información para la gestión de activos/número de información documentada requerida para requisitos legales y regulatorios aplicables	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	B		X		X		
			7.6 Información documentada 7.6.1 Generalidades	A						

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				Número de criterios medidos		EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL LCP		
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Criterios	SI	NO	Priorizados actualmente por el LCP	
		Numeral	Requisito					
A4	Número total de componentes de equipo en el sistema de información de gestión de mantenimiento/número total de componentes de equipo en la planta piloto o laboratorio [20]	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	76 Información documentada 76.3 Control de información documentada	A		X	X	
<b>A5. Contar con una clara asignación de roles y responsabilidades</b>								
A5	Existencia de manuales de procesos claramente definidos	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	51 Liderazgo y compromiso	A-E-J				
			53 Roles, responsabilidad y autoridad en la organización	A-B		X		
			73 Toma de conciencia	C		X		
			75 Requisitos de información	A-C				
		Numeral 8 NTC-ISO 55001: operación	83 Contrato a terceros	A-B-C				

Continúa

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS DE I+D BAJO LA NORMA NTC-ISO 55001 DESDE LAS PERSPECTIVAS DEL CMI				Número de criterios medidos		EVALUACIÓN DE FACILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN POR EL LCP	
Persp. CMI y Med. Dño.	Indicador	NTC-ISO 55001		Criterios	SI	NO	Priorizados actualmente por el LCP
		Numeral	Requisito				
A5	Número de empleados que tienen claridad sobre las responsabilidades en los procesos y cargos/total de empleados	Numeral 5 NTC-ISO 55001: liderazgo	53 Roles, responsabilidad y autoridad en la organización	A-B			
A5	Existencia de una estructura organizacional claramente definida en el área, división o departamento encargado de la gestión de activos	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	73 Toma de conciencia	C		X	X
			75 Requisitos de información	A-C			
			53 Roles, responsabilidad y autoridad en la organización	A-B			
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	73 Toma de conciencia	C		X	X
		Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	75 Requisitos de información	A-C			
A5	Número de puestos de trabajo con descripción de cargos claramente definida/total de puestos	Numeral 7 NTC-ISO 55001: apoyo	72 Competencia	A		X	X

Nomenclatura Persp. CMI y Med. Dño. = perspectiva del cuadro de mando integral y medida de desempeño  
 F = perspectiva financiera C = perspectiva de clientes P = perspectiva de procesos A = perspectiva de aprendizaje y desarrollo



# Capítulo 2

## Modelo normativo y especificaciones técnicas para la gestión de activos en Centros de Investigación y Desarrollo (I+D)

Gladys Elena Rueda Barrios<sup>1</sup>  
Jaime José Riascos Bueno<sup>2</sup>  
Rossvan Johan Plata Villamizar<sup>3</sup>

- 
- 1 PhD. TI en Organizaciones, profesora de la Facultad de Administración de Empresas, investigador categoría asociado en Colciencias, Líder del Grupo de Investigación en Administración —GIA categoría A, Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. Correo electrónico: gladys.rueda@upb.edu.co
  - 2 Profesional en Ingeniería Industrial, integrante del Semillero de Investigación SIMIPYME Facultad de Administración de Empresas, Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga. Correo electrónico: Jaime.riascos.2013@upb.edu.co
  - 3 Profesional de Confiabilidad e Integridad del departamento de Gestión de Infraestructura y Activos de I+D -Centro de Innovación y Tecnología – ICP. Correo electrónico: rossvan.plata@ecopetrol.com.co



## Resumen

El presente trabajo aborda una aproximación teórica en gestión de activos, normatividad y especificaciones técnicas vigentes, así como su adopción e implementación en centros de investigación y desarrollo (I+D), para concluir con unos lineamientos específicos en la gestión de activos I+D. En primer lugar, se realizó una revisión teórica de la conceptualización de activos, las características de los activos I+D y los activos industriales, el ciclo de vida del activo y el sistema de gestión de activos. En segundo lugar, se identificaron las normativas y especificaciones técnicas existentes que aplican en las etapas del ciclo de vida del activo. Posteriormente, se identificaron los procesos actuales y el nivel de madurez de la gestión de activos aplicados en el Centro de Innovación y Tecnología bajo los requisitos estipulados por la NTC-ISO 55001 del año 2015. Finalmente, se pudo establecer que los activos I+D deben gestionarse de forma distinta a los activos industriales por su contexto organizacional, por los objetivos estratégicos de la organización, la finalidad y las fronteras de actuación frente a las etapas del ciclo de vida. Es evidente que el sistema de gestión para activos I+D debe cumplir como mínimo con todos los requisitos expuestos por la NTC-ISO 55001, pero a su vez considera incorporar a partir del análisis de las demás normas y especificaciones técnicas existentes, otros aspectos que consoliden una normativa específica orientada a centros de I+D.

**Palabras clave:** activo I+D, activo industrial, ciclo de vida, confiabilidad, mantenibilidad.

## 2.1 Introducción

La gestión de activos se ha convertido en una apuesta atractiva para las organizaciones porque permite lograr los objetivos estratégicos y generar valor a partir de las etapas del ciclo de vida de sus activos. Sin embargo, para garantizar la efectividad de dicha estrategia, es necesario, en primera instancia, contar con un rumbo estratégico bien definido, para luego, traducir dichos lineamientos en directrices, objetivos y actividades propias para gestionar cada etapa del ciclo de vida. En segunda instancia, es necesario identificar aquellos factores capaces de afectar el funcionamiento de los activos físicos y las actividades contenidas en los procesos de gestión; dichos factores se centran en los cambios que se presentan en el contexto, la finalidad del activo, su tasa de uso y su naturaleza misma. Con base en lo anterior, y comparando a los activos físicos presentes en centros de I+D con los activos físicos que participan o hacen parte de los sistemas de producción, se establece que estos no pueden gestionarse de la misma forma, debido a las divergencias que se encuentran en los factores influyentes mencionados. Por tal razón, es necesario definir los requerimientos y condiciones necesarias para gestionar activos físicos que participen o hagan parte de procesos que generen capital intelectual, desarrollo tecnológico o cualquier tipo de activo intangible.

El sistema de gestión de activos agrupa procesos y actividades, que antes funcionaban de manera independiente, como la intervención de la máquina desde el mantenimiento correctivo, técnicas de ingeniería de mantenimiento, ingeniería de confiabilidad, y el ciclo de vida de los activos, todas ellas en busca de la alineación del plan estratégico de la organización, plan estratégico de gestión de activos, y el plan operativo de activos. Actualmente, las empresas se deben preguntar ¿cómo generar valor a partir de los activos?, ¿cuáles son los requerimientos que debe cumplir la organización para implementar actividades de gestión de activos?, ¿de qué manera se integra el mantenimiento con la gestión de activos?, y ¿cómo alinear estas prácticas con los objetivos corporativos que planea alcanzar la organización? Preguntas que propician realizar una investigación en la literatura científica para identificar el estado actual de

la temática y el cuerpo normativo que regula a las organizaciones en esta materia. Es así, que este capítulo presenta una síntesis de los resultados encontrados a partir de las técnicas metodológicas aplicadas para el análisis de la revisión documental en la literatura publicada en revistas de alto impacto científico, en libros especializados y en la normativa nacional e internacional.

## 2.2 Revisión de la literatura

### 2.2.1 Antecedentes

Según Latino y Latino, a lo largo de la historia, el hombre ha inventado y mejorado constantemente máquinas, procesos y habilidades con el propósito de abastecer en su totalidad las necesidades, requerimientos y expectativas de una demanda cambiante y creciente, tanto de productos como de servicios. Por tal motivo, se han desarrollado diferentes técnicas y disciplinas especializadas en el análisis de problemas o eventos de fallos presentes en máquinas, procesos, e incluso, en el talento humano [1].

Para analizar el origen y evolución de las técnicas y disciplinas creadas para gestionar los activos, es imprescindible hacer mención, de forma breve, a los acontecimientos o sucesos ocurridos a lo largo de la historia que fueron forjando, sistemáticamente, todo el cuerpo normativo y estandarizado que encierra la implementación de un sistema de gestión de activos.

Durante los años 80, las organizaciones industriales implementaron políticas alineadas a la reducción de la capacidad de producción con el propósito de reducir costos para dar respuesta a la crisis económica que se vivía en esa época (denominada reconversión industrial). Tal crisis económica fue originada por la disminución desmesurada del precio del petróleo ocurrida desde el año 1973 hasta 1979, y como consecuencia de estos cambios, se desaceleró el crecimiento económico mundial, aumentó la inflación, se disminuyeron las tasas de crecimiento y se disparó el desempleo, por lo que las industrias, sin discriminar el sector, se vieron obligadas a reconver-

tirse, incentivando la innovación tecnológica, los ahorros de energía y reduciendo las plantas de personal. Esta disminución trajo consigo grandes pérdidas en la seguridad, la producción y en general, al parque industrial, debido a la falta de evaluación de riesgos [2].

Para el año 1990 nació la *North American Maintenance Excellence Award* (NAME), para hacer frente a los problemas de productividad que vivían las industrias, esta iniciativa hace referencia a programas que reconocen a las organizaciones estadounidenses que han logrado el éxito a la hora de implementar procesos de mantenimiento para permitir la excelencia operativa e impulsar la calidad y competitividad orientada hacia la búsqueda de "mejores prácticas" [3]. Tres años más tarde (1993), se creó en el Reino Unido el Institute of Asset Management (en adelante IAM), en donde se agruparon diferentes organizaciones con un único fin: compartir experiencias y mejores prácticas. Las nuevas prácticas generadas del IAM adoptaron como nombre *Assets Management*, que en español significa gestión de activos. Estas nuevas orientaciones conllevaron cambios revolucionarios en las industrias del Reino Unido, Australia y Nueva Zelandia. Se considera que a partir de este año empieza a desarrollarse conceptualmente la filosofía gerencial de la gestión de activos. Para el año 1998, los tipos de industrias y mercados vieron la necesidad de enfocar los *Assets Management* a cada área de interés, fortaleciendo las bases de las mismas, pero de una manera especializada.

En el año 2003 se creó el Comité de *British Standard en Asset Management*, con el propósito de dar respuesta a la creciente demanda de la industria de la estandarización de la gestión de activos. Sin embargo, se realizó la publicación hasta el año siguiente, conocida como *British Standard PAS 55*, que estableció 28 requerimientos y tomó como base normas de estandarización ya existentes, como lo son la ISO 9000, ISO 14000 y OSHA 18000. La característica de este estándar era su flexibilidad en cuanto a que podía ser aplicable a cualquier tipo de organización, donde los activos físicos fueran un factor crítico para el cumplimiento de los objetivos de la empresa. En el año 2008 se internacionaliza la guía PAS 55, debido al éxito en las diferentes industrias en donde

se implementó, y aparece disponible en nuevos idiomas como el español. En el año 2010, el comité técnico de la ISO decidió la creación de un estándar internacional para la gestión de activos basado en el documento de la PAS 55.

El IAM publica en el 2012 el documento *Asset Management: an anatomy*, en el que hace una comparación entre la disciplina de la anatomía del cuerpo humano y la anatomía de la gestión de activos, desarrollando conceptualmente un modelo de gestión de activos que encierra seis importantes grupos de actividades requeridas [4]:

- Planificación estratégica.
- Toma de decisiones.
- Organización y personas.
- Conocimiento sobre el activo.
- Ciclo de vida del activo.
- Revisión de riesgos.

Finalmente, en el 2014 se publica libremente la norma ISO 55000, correspondiente a toda el área de gestión de activos [5].

## 2.2.2 Conceptualización y teorías

### Activos

De acuerdo con la ISO 55000, "un activo es todo aquello que posee valor potencial o real para una organización" [6], este valor varía de acuerdo al tipo de organización y sus partes interesadas. Los activos son recursos controlados por una organización, como resultado de sucesos pasados, del cual se espera obtener un beneficio económico en un periodo de tiempo futuro. Los activos tienen la capacidad de generar bienes y servicios que, finalmente, intervienen en la satisfacción de las necesidades o requerimientos de los clientes, es decir, contribuyen con la obtención del flujo de efectivo dentro de una organización [7].

De acuerdo con la norma técnica colombiana, Los activos se clasifican por dos vertientes: activos tangibles e intangibles o finan-

cieros y no financieros. De acuerdo con la PAS 55-1(2008), en una organización se integran diferentes tipos de activos (ver figura 2.1).

Figura 2.1. Clasificación de los activos



Fuente: elaborado a partir de PAS 55-1(2008).

No obstante, el centro de este estudio son los activos tangibles que hacen parte de los centros de I+D y no el conjunto de activos anteriormente expuestos, sin embargo, es importante destacar que los demás activos se tienen en cuenta para gestionar los activos tangibles en la medida que estos afectan sus procesos y actividades [8].

Los activos financieros hacen referencia a las cuentas más líquidas de una empresa. Es decir, son aquellos activos, que, debido a su naturaleza, se convierten con facilidad en dinero en efectivo al corto plazo [9].

Los activos intangibles son aquellos cuyo valor no proviene de su naturaleza física. Por tal motivo, transmiten derechos, especiales mediante patentes, derechos de autor, marcas comerciales y otros trabajos creativos producto de procesos de innovación y el desarrollo tecnológico [10].

Los activos tangibles hacen referencia a aquellos objetos físicos que son perceptibles a la vista y al tacto. También son llamados activos fijos o activos de planta. Se caracterizan por estar relacionados con la generación de ingresos durante prolongados periodos de tiempo, debido a que están presentes en los procesos de producción, venta y servicios [10].

Los activos tangibles deben cumplir con las siguientes características para pertenecer a esta categoría [11]:

- Que la empresa los utilice permanente en el cumplimiento de su objeto social.
- Que se utilicen para la producción de bienes y servicios.
- Que no estén destinados a la venta.
- Que tenga una vida útil mayor a un año.

Los edificios, equipos, mobiliario, enseres, maquinarias, automóviles y camiones son ejemplos de activos fijos que se deprecian a lo largo de su vida útil. Los recursos naturales o activos agotables son una forma de activos fijos, cuyo costo se distribuye en periodos futuros y que se cargan a un activo que se conoce como agotamiento. Los yacimientos de minerales como el petróleo y el gas, así como los bosques y los terrenos cultivados son ejemplos de recursos o activos naturales que se agotan al ser extraídos o removidos de la tierra [12].

Los terrenos son activos de duración ilimitada, por lo tanto, no son susceptibles de ser depreciados. Cabe mencionar que los terrenos y edificios adquiridos con fines especulativos, es decir, que están desocupados, no se clasifican como activos fijos sino como inversiones a largo plazo [12].

### Gestión de activos

La norma técnica colombiana [13] reconoce como gestión de activos a las actividades coordinadas de una organización, que tienen como propósito generar valor a partir de los activos. Por otro lado, El IAM [14] la define como “el arte y la ciencia de tomar las decisiones correctas y optimizar los procesos de selección, mantenimiento, inspección y renovación de los activos”. Para Parra y Crespo [1], el objetivo clave de la gestión de activos es minimizar el costo de vida total de los activos, en donde participan otros factores críticos, como lo son el riesgo o la continuidad del negocio, que, a su vez, deben ser considerados objetivamente para la toma de decisiones.

La PAS 55 [15] ofrece una definición más amplia sobre la gestión de activos: “Son actividades y prácticas sistemáticas y controladas a través de las cuales una organización gestiona óptimamente sus activos, su desempeño asociado, sus riesgos y gastos a través de su ciclo de vida, con el objetivo de cumplir con el plan estratégico de la organización y generar valor”.

Las definiciones encontradas anteriormente relacionan la gestión de activos con la generación de valor a partir de los mismos, sin embargo, es importante relacionar la gestión de activos con sostenibilidad, definir la gestión de activos como el proceso de integración de la gestión, las finanzas, las prácticas económicas y de ingeniería, que tienen como objetivo generar valor durante el ciclo de vida de un activo, pero que a su vez, brinde niveles adecuados de servicio para el cliente, comunidades y medioambiente. Lo anterior bajo niveles de riesgos aceptables. Para alinear la gestión de activos con prácticas sostenibles, es necesario que las actividades involucradas se desarrollen bajo diferentes escalas espaciales y temporales. En el corto plazo, deben estar estas actividades relacionadas con las operaciones y el mantenimiento; en el mediano plazo el enfoque de las actividades se relaciona con la gestión táctica de los activos; en el largo plazo se involucra la gestión estratégica de activos. En cualquier periodo de operación, son los activos existentes los que aportan a los resultados ambientales, y con los activos existentes,

la organización identifica oportunidades que tienen el impacto de generar cambios en la operación, mantenimiento y gestión de activos que, finalmente, repercuten en los objetivos sostenibles [16].

La gestión de activos cuenta con un conjunto de elementos que son proporcionados por diferentes áreas funcionales de la organización. No obstante, parte de la base de la planeación estratégica (ver figura 2.2).

Figura. 2.2. Elementos de la gestión de activos



Fuente: Elaborado a partir de la ISO 55000 [6].

Para realizar eficazmente la gestión de activos, en primera instancia, es necesario identificar los tipos de activos que posee una organización. Para ello, es necesario definir los factores que son propios de la actividad operativa de una unidad de negocio, como lo son:

- La naturaleza y propósito de la organización.
- El contexto operacional. Relacionado directamente con el área de producción de la empresa.
- Las restricciones financieras y requisitos reglamentarios.
- Los intereses, propósito y expectativas de los agentes relacionados con la organización.

La gestión de activos conduce a la organización hacia los siguientes beneficios:

- Mejora el desempeño financiero, que se ve reflejado a través de la mejora del retorno sobre la inversión.
- Fortalece la toma de decisiones por parte de la empresa, y genera un eficaz equilibrio entre costos, riesgo, oportunidad y desempeño.
- Existe un mayor control de todas las áreas que componen a una organización, generando una mejor gestión de los riesgos.
- Mejoras en resultados y servicios, generando resultados finales que superan expectativas del cliente y demás partes interesadas.
- Mejora la capacidad de la organización y disminuye la ocurrencia de factores que produzcan impactos medioambientales y sociales.
- Mejora la reputación de la empresa.
- Mejora la sostenibilidad organizacional.

#### *Ciclo de vida del activo*

Según Sánchez y Rodríguez (2010), en una unidad de negocio, la competitividad y sostenibilidad dependen directamente del desempeño y del costo del ciclo de vida de sus activos físicos [17].

La norma UNE-EN-60300 [18], define el ciclo de vida de un activo como el intervalo de tiempo entre la concepción del activo hasta la eliminación o desincorporación del mismo. La ingeniería del ciclo de vida estudia cada una de las etapas que componen al activo dentro de una organización (ver figura 2.3).

Las actividades desarrolladas durante la idea de negocio hasta la definición del proyecto detalle, están relacionadas con la identificación de nuevas oportunidades, el análisis del concepto y las opciones que se presentan en el sistema, la selección de la tecnología, la toma de decisiones y los esquemas de incentivos por garantías. Durante la fase de fabricación hasta la adquisición de elementos de apoyo, se tienen en cuenta los compromisos de diseño adquiridos, la selección de las fuentes, el control de la configuración y cambio,

las estrategias de ensayo y soporte, adaptación del funcionamiento y, finalmente, la introducción del nuevo activo [18].

Figura 2.3. Etapas del ciclo de vida de un activo físico



Fuente: Parra y Crespo (2012) [1].

Las actividades contenidas desde la puesta en marcha hasta la evaluación de alternativas están relacionadas con la integración y verificación del sistema, estrategias de reducción de costos, supervisión de funcionamiento y mantenimiento del activo, planes de modificación y mejora y logística de mantenimiento y optimización de recursos. Finalmente, las actividades relacionadas con la desincorporación están relacionadas con el impacto de costo de eliminación, diseño del esquema de reemplazo o renovación y la evaluación del impacto medioambiental [18].

### *Sistema de gestión de activos*

Se conoce como sistema de gestión de activos “al conjunto de elementos interrelacionados o que interactúan entre sí para determinar las políticas, objetivos y procesos que logren la consecución de los objetivos de la gestión de activos”. Incluye elementos como políticas, planes, procesos de negocio y sistemas de información. Todos estos elementos se interrelacionan entre sí con el propósito de asegurar la ejecución de las actividades de la gestión de activos. Es decir, el sistema de gestión de activos dirige, coordina y controla las actividades de la gestión de activos [8].

Implementar un sistema de gestión de activos impacta a todas las áreas de la organización y sus partes interesadas, como lo son los servicios externos y proveedores debido a la integración de múltiples actividades pertenecientes a otras áreas, que normalmente se encuentran aisladas entre sí.

#### **Elementos de un sistema de gestión de activos**

**Contexto de la organización.** Para implementar un sistema de gestión de activos la organización debe contemplar su contexto interno y externo. El contexto interno incluye el ambiente social, cultural, económico, físico y restricciones reglamentarias. Por otro lado, el contexto externo incluye la cultura organizacional, la misión, visión y valores de la organización. También se tienen en cuenta las influencias de las partes interesadas. Esto último es clave para la toma de decisiones en cuanto a la formulación de políticas, reglas y objetivos organizacionales.

**Liderazgo.** Los líderes de todos los niveles se encuentran involucrados en el diseño y desarrollo de las políticas y objetivos, y de la alineación de estos con los organizacionales. Por tal motivo, se encuentran relacionados directamente con la planificación, implementación y control del sistema de gestión de activos. Promueven valores y lineamientos que orientan a la implementación de los sistemas de gestión de activos. Además, son responsables de asegurar los recursos necesarios para el sistema de gestión de activos,

mitigar los conflictos organizacionales y comunicar los objetivos del sistema de gestión de activos a todos los empleados.

**Planificación.** Actividades de planificación que generen los objetivos organizacionales que proveen el contexto general para las actividades organizacionales, incluyendo las actividades de gestión de activos. Dentro de la planificación va incorporada la política de gestión de activos, que contiene los principios mediante los cuales la organización se propone aplicar la gestión de activos para alcanzar sus objetivos organizacionales.

La política de gestión de activos se documenta en un plan estratégico de gestión de activos, también conocido como PEGA, que hace referencia a información documentada que especifica de qué manera los objetivos organizacionales se convierten en objetivos de gestión de activos, a su vez, brinda el enfoque para desarrollar los planes de la gestión de activos y el rol del sistema de gestión de activos como parte fundamental para lograr los objetivos organizacionales.

**Enfoque de los sistemas de gestión integrados.** Por la naturaleza propia del sistema de gestión de activos, es imprescindible que se construya un enfoque de sistemas de gestión integrados, donde el de gestión de activos interactúe constantemente con los sistemas de gestión de calidad, financiero, de gestión de riesgos, salud y seguridad ocupacional, entre otros (véase la ISO 55000).

## 2.3 Metodología

Las características metodológicas presentan un enfoque mixto que aplica técnicas cualitativas y técnicas cuantitativas, con alcance descriptivo y exploratorio; las técnicas cualitativas se emplearon para el análisis de la revisión documental a partir de las publicaciones en revistas de alto impacto científico, libros especializados y la normativa nacional e internacional.

Como criterios de búsqueda en las bases de datos SCOPUS y EBSCO se emplearon descriptores claves como activos, ciclo de vida,

gestión de activos y mantenimiento; y períodos de publicación entre 2010 y 2017, obteniendo un total de 15 952 documentos en la base de datos SCOPUS y 84 147 en EBSCO. De estos 454 en SCOPUS, y 7471 de EBSCO, se concentraban en revisión teórica. A partir de este último filtro, se seleccionaron los artículos publicados en revistas de ingeniería, economía, negocios, gestión y administración, obteniendo 177 en SCOPUS y 226 en EBSCO. Finalmente, luego de la lectura y análisis de las publicaciones, se consideraron 22 documentos con clasificación Q1 a Q4 y relacionados directamente con la gestión de activos, industria, ciclo de vida y gestión de riesgo. Aunque se contaba con un número significativo de documentación valorada, es necesario recalcar que la mayoría de documentos contextualizaban la gestión de activos con base en la PAS 55 o la ISO 55000. Es decir, en la gran parte de la documentación, no había un enfoque diferente al normativo. Para la selección de los libros especializados, los criterios de búsqueda fueron más flexibles. Solo se tuvieron en cuenta libros publicados a partir del año 2007. Además, que sus autores tuvieran una formación académica especializada en el área de estudio y, a su vez, se encontraran vinculados a universidades o centros de investigación especializados en la gestión empresarial.

De otra parte, se diseñó, y desde el enfoque cuantitativo se aplicó, una encuesta para realizar un diagnóstico del estado actual de los procesos de gestión de activos físicos en centros de I+D (anexo 2.2). El instrumento evalúa la percepción que tienen los funcionarios líderes de la operación y mantenimiento de los activos en centros de I+D, evalúa la percepción de aquellos involucrados en la planeación, evaluación y mejoramiento continuo. El nivel de percepción se mide con escala Likert valoradas desde 5 (*totalmente de acuerdo*) a 1 (*totalmente en desacuerdo*). Las variables a analizar son: planeación estratégica, intervención de la alta gerencia en la gestión de activos, planeación, operación y mantenimiento, evaluación y mejoramiento en la gestión de activos. Cada uno de los enunciados se elaboró con base en los requerimientos descritos en la NTC-ISO 55001 de 2015.

Los resultados de la investigación se representan en tres partes. En la primera parte, se definen las diferencias entre activos

industriales y activos de I+D a partir de la revisión bibliográfica, de especificaciones técnicas y normativas que se realiza sobre la gestión de activos. Asimismo, se precisan las características sobre gestión de activos y su sistema de gestión. En el segundo apartado, se presenta una consolidación de normas para crear, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de activos adecuado para activos I+D. Finalmente, se propone un instrumento para medir el grado de cumplimiento de los requisitos expuestos por la NTC-ISO 55001 para activos en centros de I+D.

## 2.4 Resultados

### 2.4.1 Diferencias entre activos industriales y activos de I+D

Los activos industriales son bienes tangibles que posee una organización para desarrollar los procesos y servicios de las actividades primarias de las industrias. Es decir, intervienen o hacen parte de la producción o transformación de materias primas para la elaboración de bienes y la prestación de servicios [19]. Los activos industriales son aquellos cuya funcionalidad tienen como destinación en procesos de producción industrial. Por tal motivo, hacen parte de este grupo las máquinas y equipos, infraestructura de automoción de procesos industriales, infraestructura costera y costa afuera y demás infraestructura industrial [20].

Del término activo I+D no se encuentra evidencia que defina su conceptualización, así como tampoco se encontró en la revisión de las normativas existentes. Para dar una apreciación sobre qué es un activo de I+D es necesario enfocarse en el significado de investigación y desarrollo. Los centros de I+D son organizaciones dedicadas al desarrollo de proyectos de investigación aplicada, al desarrollo de tecnología propia y actividades de transferencia que responden a las necesidades y oportunidades de desarrollo social y económico del país, sus regiones o ciudades [21].

Con base en lo anterior, se establece que los activos I+D son los activos tangibles esenciales para generar procesos de creación de nuevo conocimiento y desarrollo tecnológico a partir de la experimentación en centros de I+D, y sus resultados llevan al logro de patentes, modelos, metodologías y otros tipos de capital intelectual que se transfieren al sector industrial y a la sociedad en general. Los activos que hacen parte de este grupo son los laboratorios, plantas piloto y demás equipos que hacen parte de los procesos misionales de un centro de innovación y tecnología.

Para identificar las diferencias entre los activos industriales y de I+D es necesario aclarar su contexto operativo y destinación. Los activos industriales operan en sistemas productivos establecidos en fábricas o instalaciones adecuadas a condiciones físicas necesarias para desarrollar las actividades determinadas. Por lo general, cuentan con una vida útil extensa, sin embargo, varía de acuerdo con su funcionalidad. En los activos industriales, las empresas deben velar por mantener su capacidad instalada a lo largo de su uso a fin de no afectar la productividad de la misma y asegurar altos índices de confiabilidad.

Los activos I+D no hacen parte de sistemas productivos. Sus operaciones se desarrollan en laboratorios o plantas piloto que permitan llevar a cabo procesos de experimentación dentro de proyectos de investigación y de desarrollo tecnológico. Al no hacer parte de sistemas productivos, su eje de mayor atención no es la capacidad instalada que este genere, sino la probabilidad de que el activo desempeñe su función, libre de fallos, bajo determinadas condiciones y durante el periodo de tiempo que se requiera. Lo anterior se debe a que los activos I+D no están destinados para cumplir con un volumen dado de producción, por lo cual, su operación no es tan reiterativa, como sí sucede en los activos industriales. Los activos I+D están destinados para realizar tareas específicas o detalladas que hagan parte de los procesos operacionales predestinados para la generación de nuevo conocimiento y tecnología.

## 2.4.2 Ciclo de vida en activos industriales y activos I+D

Hay que partir que independientemente de las diferencias en cuanto al contexto en el que operan y su destinación, ambos activos son de naturaleza tangible, por lo cual, cuentan con un ciclo de vida definido por las mismas etapas expuestas en este documento.

Sin embargo, al realizar la división propuesta por Sánchez y Rodríguez (2010), se identifican diferencias en cuanto al alcance o fronteras de acciones que posee una organización de tipo industrial frente a los centros de I+D al pretender gestionar el ciclo de vida de sus activos tangibles.

Las empresas de tipo industrial, por lo general (no siempre), intervienen en el diseño y fabricación del activo industrial. Por lo cual, este tipo de negocios, pueden definir, desde las etapas iniciales, de qué forma se va a operar el activo, en qué condiciones, con qué tecnología y qué estrategia de mantenimiento es la más eficiente para asegurar confiabilidad. Todo lo anterior ajustado a las necesidades y condiciones externas e internas de la organización. Es decir, las empresas, al poder intervenir en las etapas iniciales del activo industrial que van a operar, pueden tener un panorama más claro y holístico de las estrategias y planes de acción que deben diseñarse e implementarse para asegurar su correcto funcionamiento y mantenimiento en periodos posteriores a su instalación.

En los centros de I+D, por lo general (no siempre), no se construyen de acuerdo con las necesidades y condiciones propias del usuario final, sino bajo los parámetros establecidos por el fabricante. Por tal motivo, el alcance de las acciones para gestionar los activos I+D es menor frente a los activos industriales. Los centros de I+D deben ajustarse a las condiciones requeridas por el activo para que este funcione y se mantenga de manera óptima. Por lo cual, las estrategias y planes de acción que se diseñen e implementen para gestionar los activos I+D deben tener a consideración las especificaciones y requerimientos del proveedor o fabricante.

Lo anterior, no solo estrecha las fronteras de actuación para los centros de I+D, sino que también produce una mayor dependencia hacia el fabricante del equipo. Es importante destacar que entre mayor sea el nivel de especificación y detalle del activo I+D menos proveedores disponibles hay en el mercado. Por tal motivo, dicha limitación genera un poder de negociación mayor en la oferta (fabricante) que en la demanda (centros de I+D). Es por ello que las actividades de mantenimiento dependen del mismo fabricante y no de funcionarios directos del Centro de Innovación y Tecnología, o de una empresa externa debido a que no se cuentan con los conocimientos técnicos suficientes para inspeccionarlos o restaurarlos. No obstante, los centros de I+D, al igual que las industrias, pueden diseñar e implementar estrategias y planes de acción que contrarresten la dependencia existente con los fabricantes y favorecer, desde el área de operación, la confiabilidad y mantenibilidad de los activos I+D. En la tabla 2.1 se especifican cada una de las diferencias con relación a la etapa del ciclo de vida del activo tangible.

Tabla 2.1. Diferencias entre activo industrial y activo I+D de acuerdo con la etapa del ciclo de vida

Activo industrial	Activo I+D
<b>Fase inicial</b>	
El ciclo de vida empieza con la identificación de una necesidad y la puesta en marcha de los estudios de prefabricación. Para ello, se requiere para el diseño datos de ingeniería, dibujos de ingeniería, cálculos de dimensión del proceso y equipo, códigos y estándares aplicados al diseño, especificaciones del equipo, planos de proveedor.	El ciclo de vida empieza con la identificación de una necesidad y la puesta en marcha de un estudio preliminar en donde se reconocen las características físicas y funcionales que debe tener el activo para realizar la tarea que se requiere. Es importante aclarar que los estudios de ingeniería de diseño y demás estudios previos a la fabricación sí se realizan, pero no son responsabilidad del centro de I+D sino del fabricante.

Continúa

Activo industrial	Activo I+D
<b>Fase de construcción y adquisición</b>	
En activos industriales, se procede a la etapa de construcción. En ella se encuentran inmerso el precomisionamiento del activo, que se lleva a cabo a través de pruebas al activo en frío. Le sigue el comisionamiento, en donde se pone a prueba el activo a través de test funcionales con o sin carga y energización definitiva. Luego de la valoración, el activo se encuentra listo para su entrada al sistema de operación. Se diseña entonces, el plan de preservación del activo, en donde se garantiza la integridad del mismo. Finalmente, se definen los planes de mantenimiento, en donde se establecen los planes, procedimientos, caracterizaciones del equipo, definición de repuestos críticos, con el objetivo de preservar las funciones inherentes del activo durante su ciclo de vida.	En activos para I+D, luego de realizar la elaboración de la orden se procede a la etapa de compra del equipo. Dentro de esta etapa se tiene en cuenta el detalle de la orden de compra, en donde se revisa los requerimientos de calidad; luego se selecciona el proveedor a partir de una solicitud de cotizaciones y de una evaluación de propuestas. Se realizan actividades de inspección en fábrica por parte del centro de I+D, que avale todo el proceso de fabricación, de acuerdo con las necesidades y lineamientos internos. Finalmente, se libera el equipo de la fábrica y es llevado al centro de I+D para proceder a otra etapa de revisión y comisionamiento, en donde se valoran las características físicas y funcionales. A su vez, se explica el manual de instrucciones, los modos de usos, repuestos críticos, entre otros.
<b>Fase de análisis de condiciones</b>	
En los activos industriales, luego de incorporar el activo, se realizan análisis en donde se evalúan las condiciones actuales del activo, con el propósito de identificar la necesidad de realizar ajustes o mejora, con el fin de optimizar su desempeño. Se alimenta de la información generada de los planes de mantenimiento basados en confiabilidad, y en normas tales como la SAE JA 1011 y 1012, además de los análisis de ingeniería.	En los activos de I+D, luego de realizar las evaluaciones de recibimiento del equipo al centro de investigación, se realizan análisis de condición, en donde se evalúan las condiciones actuales del equipo para hacer ajustes o mejora, con el fin de optimizar su desempeño. Se alimenta de la información generada de los planes de mantenimiento basados en confiabilidad y además, bajo los lineamientos de la norma ISO IEC 17025; con el propósito de garantizar y mantener la eficacia de los equipos en las mediciones experimentales.
<b>Fase de corrección de fallas</b>	
En activos industriales, luego del análisis de las condiciones, se procede a eliminar los defectos. Se investigan y analizan los eventos causantes de falla individual o eventos repetitivos. Se generan recomendaciones de solución que conllevan a los planes de acción que garantizan el mejoramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los activos.	En activos para I+D, luego del análisis de las condiciones, se procede a eliminar los defectos. Se investigan y analizan los eventos causantes de falla individual o eventos repetitivos. Se generan recomendaciones de solución que conllevan a los planes de acción que garantizan el mejoramiento de la disponibilidad y confiabilidad de los equipos de laboratorio.

Continúa

Activo industrial	Activo I+D
<b>Fase de gestión del cambio</b>	
En activos industriales, se debe administrar el cambio, producto de los reajustes realizados en la eliminación de los defectos. Implica actividades de identificación, análisis, aprobación, implementación, control y cierre para cualquier iniciativa de cambios de tecnología en planta. Lo anterior se traduce	En activos para I+D, se realiza el mismo tratamiento en la administración del cambio; sin embargo, en ocasiones, estos cambios se traducen en la adquisición de nuevos equipos, y no en la modificación tecnológica del equipo existente, debido a que están expuestos a constantes actualizaciones.
<b>Fase de desincorporación</b>	
Para activos industriales, la última etapa consiste en la desincorporación del activo. En esta etapa se encuentra la planeación de la desincorporación, el desmantelamiento del activo, el abandono técnico, la recuperación ambiental y la entrega final de las áreas, y finalmente, la disposición final del activo.	Para activos de I+D, la última etapa consiste en la desincorporación del activo. Contiene las mismas actividades de la desincorporación en activos industriales.

### 2.4.3 Modelos de gestión de activos industriales y gestión de activos I+D

La gestión de activos requiere e integra diferentes módulos de una organización. Si bien, los departamentos de mantenimiento y de operaciones juegan un papel importante, se requiere del compromiso y trabajo en equipo de otros departamentos como la dirección, compras, talento humano, finanzas, contabilidad, calidad, entre otros. Cada uno de ellos participa activamente en los procesos que componen al sistema de gestión de activos.

De acuerdo con Amendola (2011) "un modelo representa el funcionamiento y la organización de un determinado sistema" [2]. Para el caso de la gestión de activos, el modelo representa la forma como se integran los elementos del sistema empresa para desempeñar sus actividades [2].

No existe un único modelo de gestión de activos. Cada institución, de carácter normativo o de negocio, ha estructurado un modelo de gestión de activos de acuerdo con los requerimientos e intereses

que poseen sobre la implementación de la gestión de activos y las condiciones del entorno. Así, normas como la ISO 55001 (de 2015) y la PAS 55 (de 2008) cuentan con un modelo de gestión de activos propio. Organizaciones como el *PMM for learning* es otro ejemplo de ello.

No obstante, independientemente del enfoque que le dé cada organización, los modelos de gestión de activos, por lo general, buscan:

- Optimizar la disponibilidad de los activos.
- Optimizar los costos de mantenimiento.
- Optimizar el talento humano.
- Seguridad operativa.
- Maximizar la vida útil de los activos.
- Asegurar seguridad operativa [2].

#### *Modelo de gestión de activos de acuerdo con la NTC- ISO 55001 del 2015*

De acuerdo con la norma ISO 55001 del año 2015, una organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente un sistema de gestión de activos que integre cada uno de los elementos y procedimientos pertinentes a la gestión.

Este modelo se basa de la planeación estratégica de la empresa y, más específicamente, en los objetivos corporativos. El modelo de gestión de activos inicia con la identificación de los intereses y requerimientos exigidos por los clientes, proveedores, accionistas, el marco legislativo y las condiciones y situaciones del mercado que afectan directamente al funcionamiento de la empresa. Una vez se identifican los intereses de las partes interesadas, inicia el proceso de alineación y concordancia de lo estratégico con lo táctico y operacional. Es decir, se realiza la traducción de los lineamientos estipulados por la alta gerencia en aspiraciones y planes de acción que cuentan con un nivel mayor de detalle, en donde interviene directamente el desempeño de los activos físicos. A partir de lo anterior, se consolida un plan estratégico para la gestión de activos (PEGA), en

donde se formulan objetivos, políticas y estrategias para enfocar a la organización en actividades que aseguren la eficacia de la gestión de activos y el apoyo a la consecución de los objetivos de la unidad de negocio [22].

Para lograr la eficacia de la gestión de activos, el modelo de gestión de activos aborda diferentes áreas de la organización, diferentes a las operacionales o el mantenimiento. Se integran departamentos como el de talento humano que, a partir de las competencias que se poseen, puede interpretar de manera más acertada el enlace de lo estratégico con lo operacional, puede maximizar el desempeño de los activos físicos e identificar oportunidades o riesgos que puedan afectar los procesos o actividades que compone al sistema de gestión. Por tal motivo, la gestión de riesgos es otro eje fundamental de este modelo, para desarrollar actividades proactivas que mitiguen los posibles riesgos potenciales y potencialicen las oportunidades. Asimismo, la gestión de información desempeña un papel importante, puesto que los datos que generan las actividades de gestión de activos deben procesarse para generar información que genere valor a la organización [6].

La forma como se relacionan los diferentes departamentos dentro de un sistema de gestión de activos con base en la NTC-ISO 55001 está disponible en la figura 2.4.

Para representar el modelo anterior a un mayor nivel de detalle, Amendola *et al.* [22], proponen un modelo en donde se identifican los elementos enunciados anteriormente, junto con cada uno de sus componentes, que guardan relación con los requerimientos estipulados por la ISO 55001, como se aprecia en la figura 2.5 (página 158).

#### Modelo de gestión de activos propuesto por la PAS 55 del 2008

La PAS 55 del año 2008 es, probablemente, la primera especificación formal en diseñar un modelo de gestión de activos. Al igual que el modelo propuesto por la ISO 55001, la PAS 55 establece un modelo que convierte las aspiraciones corporativas en estrategias, políticas, objetivos y planes de acción detallados.

Figura 2.4. Modelo de gestión de activos con base en la ISO 55001



Fuente: The Self-Assessment Methodology Plus, version 2.0.

De acuerdo con Durán [23], el modelo de la PAS 55 tiene la misma estructura del propuesto por la NTC-ISO 55001 debido a que ambos tienen como base fundamental el ciclo de mejora continua, es decir, se constituyen a partir del ciclo PHVA. Sin embargo, existe una gran diferencia: el alcance del modelo. Mientras la PAS 55 estructura el modelo para gestionar específicamente activos físicos, la ISO 55001 amplía su alcance al tener una perspectiva que aborde el plano estratégico, táctico y operacional para gestionar toda clase de activos. El modelo propuesto por la PAS 55 se representa en la figura 2.6.

El modelo de la PAS 55 (2008) cubre todos los elementos de la gestión de activos en las diferentes etapas del ciclo de vida, desde la ingeniería, operación, mantenimiento y desincorporación-renovación de los activos. Aquí surge el interés de su implementación en los procesos de mantenimiento de una organización, porque además de lo expuesto anteriormente posee requerimientos claros en

Figura 2.5. Modelo de gestión de activos con base en los componentes que conforman a la norma ISO 55001



Fuente: desarrollo de un modelo de valoración de activos tangibles e intangibles alineado a la ISO 55000 de gestión de activos [22].

términos de gestión de riesgos, ciclos de vida, costos y desempeño de una manera óptima, elementos que también son requeridos en la gestión de mantenimiento [24].

*Modelo de gestión de activos propuesto por el PMM Institute for learning*

El PMM es una organización internacional fundada por investigadores universitarios expertos en la industria, que se dedican a ofrecer servicios de consultoría especializada de alta calidad a las empresas, sin importar su tamaño, en las áreas de *Asset Management*,

Figura 2.6. Modelo de gestión de activos propuesto por la PAS 55



Fuente: gestión de mantenimiento bajo estándares internacionales como PAS 55 Asset Management [24].

*Project Management, Facility Management, Shutdown, Overhaul, Maintenance Management y Reliability* [25].

El PMM propone un modelo de gestión de activos a través de una serie de pasos que se realizan de manera sistemática. La primera etapa consiste en una evaluación de diagnóstico (*Assessment*) en la que se determina el estado real de la organización frente a la gestión de activos. Se identifican aquellas actividades que realiza la empresa o aquellos procesos que tiene estructurados. Las siguientes etapas van relacionadas con la planeación de actividades para las áreas de operación y mantenimiento, la formulación de indicado-

res técnico-financieros y, finalmente, la composición de una estrategia basada en confiabilidad. [2].

Con base en lo anterior, la implementación de este modelo se basa principalmente en el aseguramiento de la confiabilidad y disponibilidad de los equipos para, de esta manera, generar valor a partir del aumento de la productividad y la reducción de costos operacionales y de mantenimiento. A continuación, se representa el modelo estructurado con cada una de las fases descritas, en donde se evidencia la relación entre cada una de ellas y la descripción de los procesos básicos que la componen (figura 2.7).

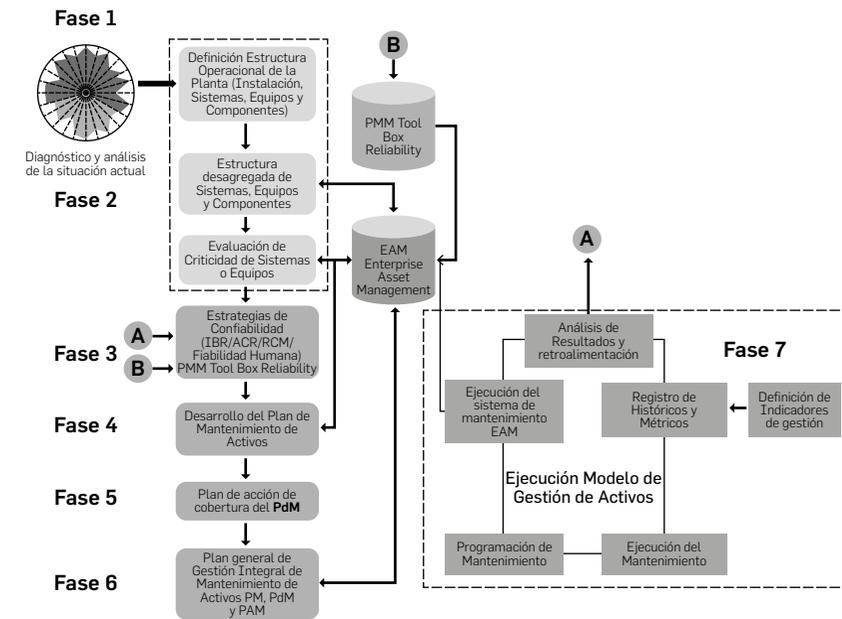
### Modelo de gestión para activos de infraestructura

En 2010, Too [26] realizó una investigación aplicada a empresas públicas y privadas de Australia, con el propósito de identificar el modelo de gestión de activos a través del análisis de los objetivos de la gestión de activos y sus respectivos procesos, específicamente para activos de infraestructura, tales como edificios, tuberías, contenedores, alcantarillado, estaciones, represas, entre otros.

Los procesos internos de la gestión de activos de infraestructura tienen como finalidad llevar a la práctica lo establecido en las metas y objetivos. Es decir, las metas se convierten en la base o punto de partida para la ejecución de los procesos de la gestión de activos [26].

El valor que genera la gestión de activos va direccionada a la eficacia en la toma de decisiones. Decisiones en cuanto a las inversiones de capital, requisitos de mantenimiento y los niveles del servicio objetivo. De acuerdo con lo anterior, es necesario identificar cuáles son los procesos, que, al momento de tomar decisiones, generen valor a la organización. Se genera eficiencia operativa debido a que la unidad de negocio centra su estudio en el rendimiento de los activos presentes en los procesos que más generan valor. Estos procesos son conocidos como procesos centrales [26]. Los procesos se encuentran inmersos en la gestión eficaz del activo a lo largo de su ciclo de vida en ellos se incorporan la adquisición, el mantenimiento, la operación y la remodelación del activo [26].

Figura 2.7. Modelo de gestión de activos propuesto por el PMM Institute for Learning



Fuente: [2].

Basados en el enfoque del ciclo de vida, estos procesos encierran tres grandes fases: planificación, creación de activos y operación, y mantenimiento. En estas tres fases, Too identifica seis procesos centrales. Dentro de la fase de planificación se encuentra la capacidad de planear y gestionar, y la evaluación de activos; en la fase de crear el activo se encuentra la obtención y, por último, la planeación del mantenimiento y el monitoreo de condición, en la fase de mantenimiento y operación. El autor establece otro proceso, conocido como el sistema de gestión de activos, el cual es el punto de unión de las tres fases [26].

Por otro lado, las organizaciones también evalúan las opciones a través de enfoques probabilísticos, en donde se incorporan elementos de la gestión de riesgos. Los riesgos relacionados con los activos incluyen tanto aquellos que afectan directamente la vida útil o el

impacto inicial en la demanda de la prestación del servicio, como también el riesgo financiero. Por lo tanto, cada vez más, las empresas se enfocan en realizar la gestión de riesgos para reducir la incertidumbre presente en la gestión de activos y, a su vez, proporcionar planes de contingencia eficaces [26].

Actualmente, existen herramientas de diagnóstico para determinar el régimen de mantenimiento necesario para ofrecer los niveles de servicio adecuados y a un nivel de riesgo aceptado. Existe un enfoque tradicional de mantenimiento basado en el tiempo (TBM) y otro basado en la condición (CBM). Sin embargo, las empresas están llevando sus intereses hacia el enfoque por condición, debido a que este utiliza tecnologías modernas que disminuyen tiempo y costos, y son más confiables que la inspección humana [26].

Sin embargo, Too explica que aún en las empresas existen espacios para inspecciones y juicios humanos en los que las revisiones visuales dictaminan una evaluación de los activos. Explica que ocurre sobre todo en revisiones de procesos generales y de una periodicidad corta [26].

#### *Modelo de gestión de activos basado en la sostenibilidad*

Marlow, Beale y Burn, a partir de un trabajo investigativo en el sector de aguas en Australia, relacionan las actividades involucradas y toma de decisiones en la gestión de activos con la sostenibilidad. En primera instancia, definen la gestión de activos como el proceso de integración de la gestión, las finanzas, las prácticas económicas y de ingeniería, que tienen como objetivo generar valor durante el ciclo de vida de un activo, pero que, a su vez, brinde niveles adecuados de servicio para el cliente, comunidades y medioambiente. Lo anterior bajo niveles de riesgos aceptables [27].

Para alinear la gestión de activos con prácticas sostenibles, es necesario que las actividades involucradas se desarrollen bajo diferentes escalas espaciales y temporales. En el corto plazo, debe haber actividades relacionadas con las operaciones y el mantenimiento. En el mediano plazo el enfoque de las actividades se relaciona con la

gestión táctica de los activos. En el largo plazo se involucra la gestión estratégica de activos

Marlow *et al.* argumentan que las actividades relacionadas con la gestión estratégica de los activos asocian los procesos de planificación, que, a su vez, delimitan el camino para lograr objetivos sostenibles. Debido a que dichas actividades participan en el diseño y adquisición de nuevos sistemas y activos. En contraste, las actividades de operación y mantenimiento, y la gestión de activos, se involucran con los activos existentes lo que indica que objetivos sostenibles ya fueron establecidos en la etapa de diseño y adquisición del ciclo de vida del activo [27].

No obstante, las operaciones del corto y mediano plazo no se deben dejar a un lado. En cualquier periodo de operación, son los activos existentes los que aportan a los resultados ambientales. Además, con los activos existentes, la organización identifica oportunidades que tienen el impacto de generar cambios en la operación, mantenimiento y gestión de activos que, finalmente, repercuten en los objetivos sostenibles. Indican que la sostenibilidad de la gestión de activos debe ser considerada en cada nivel descrito, no solo en la gestión estratégica de activos.

En el trabajo investigativo se concluye que la gestión de activos se ha convertido en una herramienta, sobre todo en la industria de aguas, para alcanzar prácticas sostenibles, sin embargo, es un tema que requiere de mayor investigación. Además, se infiere que existen barreras organizacionales que impiden la implementación de la gestión de activos fundamentada en la sostenibilidad, debido a los impactos que pueden acarrear los objetivos sostenibles, con los objetivos corporativos. Estas barreras radican principalmente en los cambios en la asignación de recursos para una actividad determinada [27].

#### *Modelo de gestión de activos basado en el mantenimiento RCM*

Viveros, Stegmaier, Kristjanpoller, Barbera y Crespo realizaron proponen un modelo de gestión de activos basado en el mantenimiento

RCM. El modelo se centra específicamente en el mantenimiento. Todo modelo de gestión de activos, desde el mantenimiento, busca asegurar la disponibilidad de los activos físicos, optimizar los costos de mantenimiento, optimizar las competencias del talento humano y maximizar el periodo de vida útil [28].

Por tal motivo, este modelo se basa en la estrategia de mantenimiento RCM para prevenir fallas potenciales en los activos físicos, identificar modos de fallas y realizar planes de acción para tratarlas, a fin de garantizar la confiabilidad de los activos físicos [28].

#### *Modelo de gestión de activos basado en el mantenimiento productivo total (TPM)*

El mantenimiento TPM posee un enfoque innovador frente a las demás estrategias de mantenimiento. Su enfoque está centrado en las personas y no en las actividades de mantenimiento como tal, por lo cual, su implementación va más allá de un modelo, convirtiéndose en una filosofía organizacional [5].

En un modelo de gestión de activos basado en el TPM quienes operan los activos físicos son los primeros en ejecutar actividades de mantenimiento preventivo que sirven de apoyo para las reparaciones desarrolladas por los técnicos de mantenimiento. Es decir, en el TPM el área de operación y mantenimiento trabajan en equipo creando un sentido de propiedad entre los operarios y los supervisores para garantizar la disponibilidad, confiabilidad y mantenibilidad de los equipos [29].

De acuerdo con Nakajima, con la implementación del TPM, las organizaciones mejoran la productividad, la calidad de procesos y productos, costos, suministros, seguridad, medio ambiente y clima organizacional. Por tal razón, es un modelo adecuado para activos industriales y sistemas de producción [29].

Para su implementación, el TPM consta de ocho pilares que son fundamentales para lograr la eficacia del modelo [5]. Cada uno de

ellos representa un paso a paso o secuenciación de actividades a desarrollar. En la tabla 2.2 se describen los pilares.

Tabla 2.2. Pilares para implementar un modelo de gestión de activos basado en el TPM

	Pilar	Descripción
1	Entrenamiento	Desarrollar espacios para capacitar y potencializar las habilidades de operarios y supervisores de acuerdo con los requerimientos de los demás pilares del TPM.
2	Mantenimiento autónomo	Conformar equipos de trabajo que lleven a cabo actividades de clasificación, orden y limpieza de los activos físicos y áreas de trabajo. Se realiza con base en las 5s.
3	Mejora enfocada	Desarrollar análisis de causas mediante la aplicación de la técnica <i>mejora Kaizen</i> .
4	Mantenimiento planificado	Desarrollar un programa de mantenimiento en donde se asignen roles y responsabilidades. Va alineado con el mantenimiento autónomo.
5	Programa de gestión inicial del equipo	Registrar experiencias y buenas prácticas para la elaboración de equipos o maquinaria que no requieran mantenimiento.
6	Sistema de mantenimiento de la calidad	Estructurar un sistema que reduzca los defectos de calidad, los cuellos de botella, el tiempo de inspección, entre otros factores, a través del control de la maquinaria productiva.
7	Sistema para la mejora de la eficiencia administrativa	Estructurar un sistema que mejore la eficiencia de operaciones administrativas. Se elabora a partir de la técnica de las 5s.
8	Sistema para el control de la seguridad y salud, y el medioambiente	Estructurar un sistema que asegure un medio de trabajo seguro y procesos de producción amigables con el medio ambiente.

Fuente: elaborado a partir de [29].

#### *Modelo para la gestión de activos en laboratorios*

De acuerdo con los resultados obtenidos de la revisión teórica y científica se infiere que la gestión de activos en I+D no está propiamente establecida, así como tampoco existe un cuerpo normativo

que proponga un modelo para la gestión de equipos de laboratorios. No obstante, la ISO IEC/17025 establece los requisitos generales para la competencia de actividades de ensayo o calibraciones en áreas de laboratorio, sin importar el tipo. No se enfoca específicamente en la gestión de los equipos o en su ciclo de vida, pero sí es una guía que deben tener los centros de I+D para obtener el desempeño esperado para sus equipos de medición y experimentación.

Como se explicó anteriormente, la ISO 17025 describe los requerimientos que deben tener las organizaciones que, dentro de su actividad económica, involucre directa o indirectamente el uso de laboratorios. Dentro de tal clasificación se encuentran los centros de I+D, que requieren de equipos e instalaciones para medir, calibrar, probar, inspeccionar, certificar o llevar a cabo cualquier tipo de actividad relacionada con el análisis de un elemento, sustancia u objeto que sea centro de interés para un determinado proyecto. La norma establece lineamientos que se ajustan al Ciclo PHVA. A continuación, se muestran aquellos relacionados directamente con la operación del equipo. De acuerdo con la figura 2.8, se determina que los centros de I+D no fabrican o construyen sus propios activos, sino que estos son fabricados por terceros, empresas especializadas en la fabricación y comercialización de equipos de laboratorio. Además, el mantenimiento como tal no se lleva a cabo, en su totalidad, por el mismo centro, sino que también la desempeña un tercero. Esto indica que, durante la gestión de activos, los centros de I+D deben gestionar de manera óptima la tercerización de sus actividades. Se muestra entonces la definición de elementos clave para las tareas que involucran a terceros.

Los equipos deben ser operados por el personal que esté autorizado. Esto implica que el manual, las instrucciones de uso y mantenimiento y todo documento suministrado por el proveedor del equipo, deben estar disponibles para el personal del área de laboratorio [30].

Se debe contar con registros de cada elemento o componente del equipo, así como también, el software de los mismos. A continuación, la información que debe contener. Se puede apreciar en la figura 2.9 (página 168).

Figura 2.8. Modelo de gestión de activos para I+D



Fuente: elaborado a partir de [30].

El programa de mantenimiento contiene la programación, el alcance, la implementación y todos los lineamientos que se deben efectuar al momento de restaurar los equipos de laboratorio. Para ello, la gestión de laboratorios debe implementar un conjunto de procedimientos que involucran al área de laboratorio y la alta dirección del mismo. Para su elaboración, la Universidad Nacional de Colombia propone un conjunto de pasos que garantizan la eficiencia y el buen desempeño en el área de mantenimiento para equipos de laboratorio [31], ver figura 2.10 (página 169).

Figura 2.9. Componentes del registro de los equipos de laboratorio



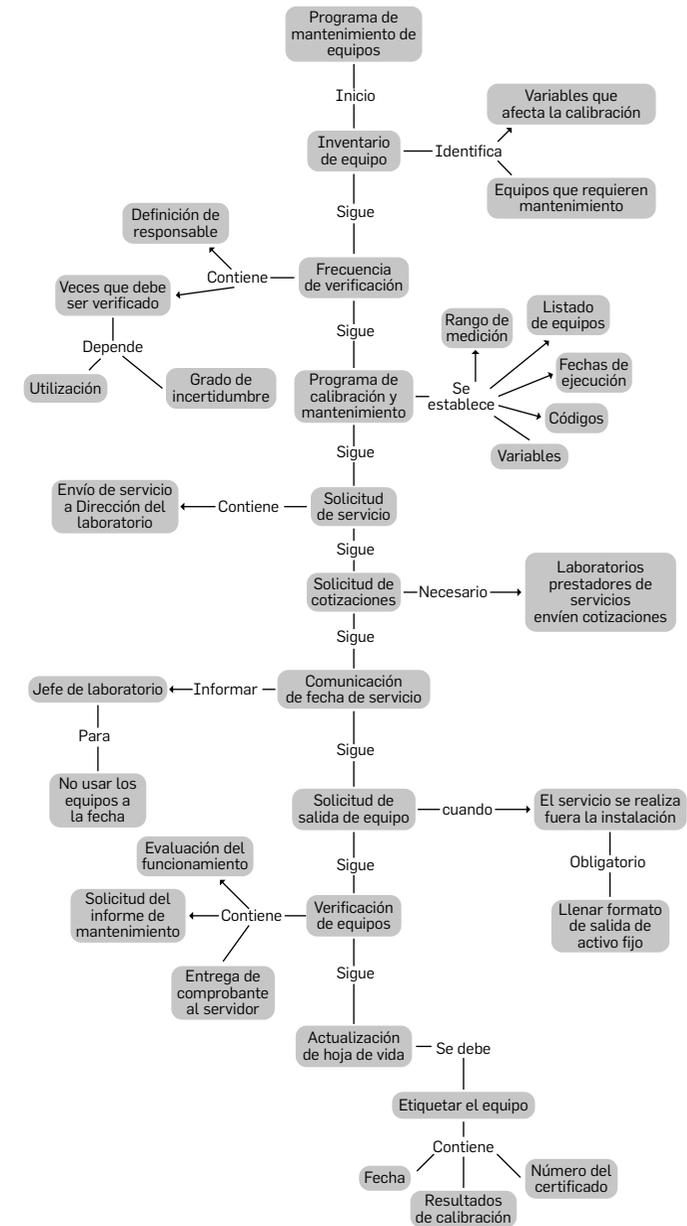
Fuente: elaborado a partir de [30].

### 2.4.4 Metodologías de diagnóstico para la gestión de activos

Antes de implementar un modelo de gestión de activos y de formular e implementar los objetivos y políticas y estrategias, es necesario determinar el estado actual de la gestión de activos en la organización, es decir, identificar los procesos estructurados o las actividades que se realizan, con el fin de tener un panorama más amplio sobre qué necesita la empresa, cuales son su fortalezas y debilidades y cuál es el mejor camino para lograr los objetivos [32]. Por tal motivo, es indispensable estudiar el estado del arte acerca de las metodologías para el diagnóstico que se aplican actualmente a nivel internacional para identificar los elementos indispensables que deben evaluarse sin importar el tipo de empresa o actividad económica.

Existen diferentes herramientas para el diagnóstico de la gestión de activos físicos. Cada una de ellas, presentan diferentes enfoques y están asociadas a una organización, ya sea normativa o de negocio. La PAM (*Pas Assessment Methodology*), es una herramienta propuesta por la PAS 55 para evaluar la gestión de activos a partir

Figura 2.10. Programa de mantenimiento para equipos de laboratorio, Universidad Nacional

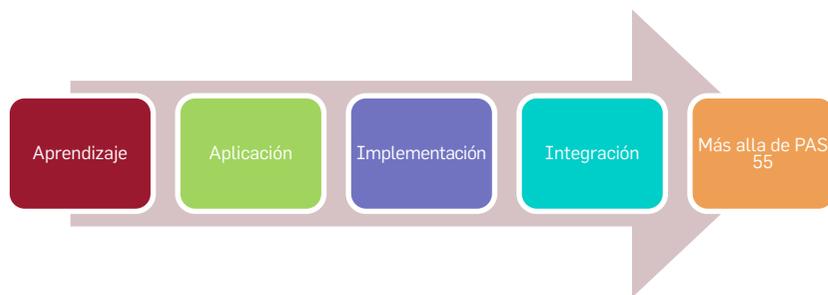


Fuente: elaborado a partir de programa de mantenimiento de laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia.

de los requerimientos establecidos; la SAM (*Self Assessment Methodology*), es una metodología que se encuentra alineada a la ISO 55000; las 3P (*People, Process and People*), que mide el nivel de madurez de la unidad de negocio en relación con el mantenimiento ejecutado dentro de la gestión de activos y finalmente, *The Maintenance Management Diagnostic Review*, que mide la gestión del mantenimiento a partir de los diez elementos que componen a la pirámide de la excelencia [33].

Dicha metodología es aplicable para cualquier tipo de organización, en donde los activos físicos son considerados como factores críticos para obtener los objetivos estratégicos [14]. De acuerdo con la PAS 55, cuando una organización demuestra que cumple con los 28 requerimientos fundamentales de la gestión de activos, evidencia que lleva a cabo un enfoque sistemático, interdisciplinario y optimizado de la gestión de activos. A su vez, demuestra que es capaz de responder, en el corto plazo, con los objetivos formulados en el largo plazo. El grado de cumplimiento de los 28 requerimientos se ve reflejado en la madurez de la gestión de activos. Esta se repre-

Figura 2.11. Categorización del diagnóstico de gestión de activos según la PAM



Fuente: PAS 55 Assessment Methodology [14].

senta a través de una categoría propuesta en el manual de gestión de infraestructura internacional [14], figura 2.11.

Las categorías son dadas de acuerdo con el puntaje obtenido en la evaluación. Si se obtiene una categoría de *aprendizaje* indica que el

nivel de madurez es nulo, es decir, los elementos de las PAS 55 no están en su lugar y la empresa debe iniciar un proceso de conocimiento y entendimiento de la norma [14].

*Requerimientos de la PAS 55 Assessment Methodology (PAM)*

Los requerimientos de la PAM miden variables para determinar el desempeño de las habilidades de gestión estratégica, el talento humano, el cumplimiento legal, la tercerización de operaciones y los riesgos. A continuación, se muestra los 28 requerimientos estipulados (tabla 2.3).

Tabla 2.3. Requerimientos estipulados por la PAM.

Numeral	Tipo de requerimiento
1	Requerimientos generales
2	Política de gestión de activos
3	Estrategia de gestión de activos
4	Objetivos de la gestión de activos
5	Plan de gestión de activos
6	Planificación para imprevistos
7	Estructura, autoridad y responsabilidades
8	Subcontratación del activo
9	Capacitación, sensibilización y competencia
10	Comunicación, participación y consulta
11	Sistema de gestión de activos
12	Gestión de la información
13	Proceso de gestión de riesgos
14	Metodología de gestión de riesgos
15	Identificación y evaluación de riesgos

Continúa

Numeral	Tipo de requerimiento
16	Uso y mantenimiento de activos
17	Requisitos legales y otros equipos
18	Gestión del cambio
19	Actividades del ciclo de vida
20	Herramientas, instalaciones y equipos
21	Rendimiento y estado de supervisión
22	Investigación de los activos, fallos, incidentes y no conformidades
23	Evaluación del cumplimiento
24	Auditoría
25	Acción correctiva y preventiva
26	Mejoramiento continuo
27	Registros
28	Revisión de gestión

Fuente: elaborado a partir de Assessment Methodology (PAM).

Una vez se aplica el instrumento con la totalidad de preguntas, la herramienta PAM computa los resultados que se obtiene, categoriza a la empresa según la clase establecida y arroja gráficos para representar, de manera más visual, las habilidades y debilidades presentes en los 28 requerimientos [14].

### *SAM (Self-assessment Methodology)*

La metodología SAM es la herramienta que reemplaza a la PAM debido a que se ajusta a los requerimientos establecidos en la ISO 55000. Para ello, incluye 39 nuevas preguntas, además de las 121 establecidas en la PAM. Por otro lado, el modo de uso se asemeja al de la PAM, sin embargo, su interfaz incluye mejoras en la navegación de cálculo y la posibilidad de incluir diferentes entrevistados [33].

La metodología SAM no certifica en ISO 55001 a las organizaciones puesto que la auditoría de tercer nivel (certificadora) está compuesta por una herramienta de evaluación distinta a la SAM. No obstante, obtener buenos resultados en la metodología asegura obtener una certificación a la unidad de negocio al momento de ser evaluada [34].

La SAM categoriza la gestión de activos con relación a seis escalas: inocencia, consciencia, aplicación, competencia, optimización y excelencia. A su vez, discrimina cinco tipos de madurez (0, 1, 2, 3 y más allá), que se encuentran relacionados con cada una de las escalas señaladas: inocencia, consciencia, aplicación, competencia, optimización y excelencia [34]. Para ver más en detalle el significado de cada una de las categorías, se muestra a continuación la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Categorización sobre el nivel de madurez según la SAM (2015)

Escala	Definición
Inocencia	No se reconoce cumplimiento alguno de los requisitos y no hay un compromiso de adquirirlo
Consciencia	Se reconoce la necesidad de cumplir con los requerimientos y hay evidencia de la intención de progresar
Aplicación	La organización ha identificado la manera de lograr, sistemáticamente, los requerimientos. Además, hay recursos suficientes disponibles
Competencia	La organización puede demostrar que cumple, sistemáticamente, con los requerimientos pertinentes a la norma
Optimización	La organización puede demostrar, que optimiza, sistemáticamente y conscientemente, el sistema de gestión de activos
Excelencia	La organización puede demostrar que emplea las prácticas líderes y alcanza el máximo valor en sus activos

Fuente: elaborado a partir de The Self-Assessment Methodology Plus.

### *Requerimientos estipulados por la SAM*

Así como en la PAM, esta metodología integra diferentes variables de distintas perspectivas para cuantificar qué tan comprometida

está la organización con la gestión de activos, y qué tan integrados están sus procesos para emplear las actividades. Por tal motivo, evalúa términos como la estrategia y la planificación, la toma de decisiones, el ciclo de vida, la gestión de información, el clima organizacional, el talento humano, la revisión y el riesgo. A continuación, en la tabla 2.5 se enuncian cada uno de ellos con los elementos que lo componen.

Tabla 2.5. Requerimientos estipulados por la SAM (2015)

Número	Requerimiento	Tipo de requerimiento
1	Estrategia y planificación	Política
2		Estrategia y objetivos
3		Análisis de la demanda
4		Planificación estratégica
5		Planes de acción
6	Toma de decisiones	Inversión de capital
7		Operación y mantenimiento
8		Realización del ciclo de vida
9		Estrategia de recursos
10		Estrategia de apagado e interrupción
11	Entrega del ciclo de vida	Técnicas de estandarización y legislación
12		Creación del activo y adquisición
13		Sistemas de ingeniería
14		Gestión de la configuración
15		Entrega de mantenimiento
16		Ingeniería de confiabilidad
17		Operación de activos

Continúa

Número	Requerimiento	Tipo de requerimiento
18	Entrega del ciclo de vida	Gestión de recursos
19		Gestión de apagones e interrupciones
20		Fallas y respuesta a incidentes
21		Desmantelamiento y eliminación de activos
22	Información de activos	Estrategia de información de activos
23		Estándares de información de activos
24		Sistema de información de activos
25		Gestión de datos e información
26	Organización y talento humano	Adquisición y gestión de la cadena de suministros
27		Liderazgo
28		Estructura organizacional
29		Cultura organizacional
30		Gestión del cambio
31	Revisión y riesgo	Evaluación y gestión de riesgos
32		Planificación de contingencia y análisis de resiliencia
33		Desarrollo sostenible
34		Gestión del cambio
35		Desempeño de activos y vigilancia de la salud
36		Supervisión del sistema de gestión de activos
37		Gestión de auditoría y aseguramiento
38		Contabilidad y valoración de activos
39		Participación de los interesados

Fuente: elaborado a partir de The Self-Assessment Methodology Plus.

### 2.4.5 Normas y especificaciones técnicas relacionadas con la gestión de activos

Una vez se identifican los elementos clave para la gestión de activos desde la perspectiva teórica, es necesario enunciar aquellas normas que están relacionadas con la implementación del sistema de gestión de activos y su eficacia.

En primera instancia se encuentra la familia de la ISO 55000: está compuesta por la ISO 55000, que se encarga de suministrar la terminología necesaria para implementar el sistema de gestión de activos; la ISO 55001 que enuncia los requerimientos que debe cumplir un sistema de gestión de activos y la ISO 55002 que es una guía para implementar el sistema de gestión de activos con base en los requerimientos de la ISO 55001. Cabe aclarar que la única norma con requisitos certificable es la ISO 55001 por lo cual, solo esta puede ser auditada, las otras dos normas sirven de apoyo para la primera [35]. No obstante, para implementar un sistema de gestión de activos no solo es necesario tener en cuenta la familia de la ISO 55000, sino además otras especificaciones y normas internacionales que se enfocan en otros aspectos que apoyan directa o indirectamente al desempeño de las actividades de gestión de activos. A continuación, se enuncian las normas, junto con su área objeto de estudio (tabla 2.6).

Tabla 2.6. Normas y especificaciones técnicas asociadas con la gestión de activos

Área de estudio	Norma/especificación	Interés	Afiliación
Gestión de activos	PAS 55-1 (2008)	Especificaciones para la gestión de activos	BSI- IAM
	PAS 55-2 (2008)	Directrices para la aplicación de PAS 55-1	BSI- IAM

Continúa

Área de estudio	Norma/especificación	Interés	Afiliación
Mantenimiento	EN 16646 (2015)	Establecer la relación entre el plan estratégico de la organización y el sistema de gestión de mantenimiento	AENOR
	UNE-EN-13460 (2009)	Describe los documentos necesarios para el mantenimiento	AENOR
	ISO 14224 (2016)	Recopilación e intercambio de datos de confiabilidad y mantenimiento de equipos	ISO
	ISO 17359 (2011)	Establece los lineamientos para ejecutar un plan de mantenimiento que monitoree las condiciones de los equipos	ISO
	SAE JA 1011 (2009)	Criterios para implementar un modelo de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM)	SAE Internacional
	SAE JA 1012 (2011)	Amplía y aclara cada uno de los criterios claves establecidos en SAE JA 1011, además resume problemas adicionales que deben ser tomados para implementar eficazmente un proceso de RCM	SAE Internacional
Ciclo de vida	ISO 15663-1 (2000)	Metodología para el cálculo del costo del ciclo de vida para industrias de petróleo y gas natural	ISO
	ISO 15663-2 (2001)	Orientación sobre la aplicación de la metodología y los métodos de cálculo del costo del ciclo de vida para industrias de petróleo y gas natural	ISO
	ISO 15663-3 (2001)	Directrices de aplicación para la ISO 15663-3 de 2001	ISO
	UNE-EN 60300-3-3 (2009)	Conceptos para el análisis del coste del ciclo de vida y cubre todas sus aplicaciones	AENOR

Continúa

Área de estudio	Norma/especificación	Interés	Afiliación
Laboratorios	ISO IEC 17025 (2005)	Establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o calibraciones, incluido el muestreo, para laboratorios	ISO
Riesgo	ISO 31000 (2009)	Principios y directrices para la gestión del riesgo	ISO
Calidad	ISO 9001 (2015)	Requisitos del sistema de gestión de calidad.	ISO
Gestión de proyectos	ISO 21500 (2012)	Orientación para la dirección y gestión de proyectos	ISO
Gestión ambiental	ISO 14001 (2015)	Requerimientos para establecer un sistema de gestión ambiental	ISO
Gestión de TI	Familia ISO 27000	Define un marco de referencia para la gestión de la seguridad de la información	ISO
	ISO 38500: 2008	Establece los lineamientos para alinear el uso de las TI con las estrategias del negocio	ISO

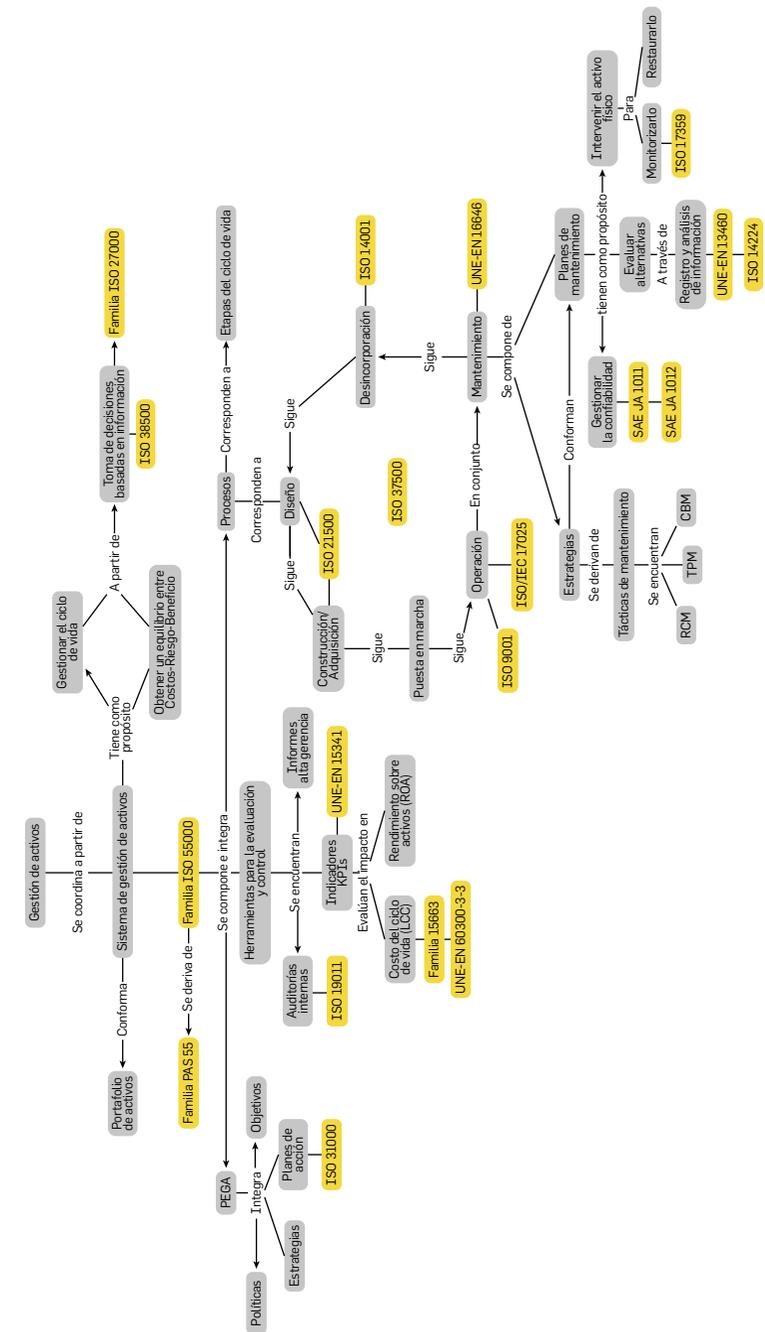
Fuente: elaborado a partir de las normas.

La manera como se integran dichas normas en el sistema de gestión de activos se puede ver en la figura 2.12.

## 2.5 Conclusiones

La gestión de activos es una disciplina que adopta la organización, no involucra al activo como tal sino a las actividades que se deben desarrollar en cada una de las etapas del ciclo de vida del activo, para que así, genere valor a la organización. Por tal razón, no solo se tiene en cuenta el área de mantenimiento, como por lo general se relaciona, sino que integra a todas las áreas de la empresa.

Figura 2.12. Integración entre las diferentes normas y especificaciones técnicas asociadas con el sistema de gestión de activos



No se evidenció documentación explícita de gestión de activos físicos para centros de I+D a partir de la revisión bibliográfica. La normatividad existente para la implementación de gestión de activos no está enfocada para una actividad económica en específico. Por tal razón, es tarea de la organización, adaptar el contenido de las normas a los activos propios de su naturaleza operacional.

En la revisión bibliográfica no se evidenció el concepto de activo I+D. Sin embargo, se propone una definición formal a partir de la naturaleza de las actividades que se desarrollan en los centros de I+D. Una vez se realiza tal definición, y con base en la recopilación de la información suministrada en las entrevistas, se determina que los factores claves que diferencian la gestión de los activos I+D frente a los industriales son el contexto operacional, la destinación del activo y las fronteras de acción pertenecientes a las etapas del ciclo de vida.

Los procesos de planeación estratégica de la gestión de activos y de evaluación de desempeño, son las áreas que presentaron más aspectos por mejorar en el diagnóstico. Para solventar dicho problema, se debe empezar desde la planeación. Se ve necesario que las diferentes partes interesadas (alta dirección, área de laboratorios, plantas piloto, departamento de mantenimiento, infraestructura y HSE), realicen reuniones sistemáticas para consolidar la planeación estratégica de la gestión de activos de manera formal y documentada. De esta manera, se asegurará que todas las actividades que componen al ciclo de vida se lleven a cabo bajo los mismos lineamientos. A su vez, se fomente el trabajo en equipo y la cooperación entre las áreas operativas y de mantenimiento.

Se considera al mantenimiento bajo condición (CBM) como una estrategia que puede detectar o anticiparse a las modalidades de fallas en los equipos críticos, sin necesidad de estar interviniéndolo periódicamente y, además, produce mayor eficiencia operativa y de mantenimiento. Se interviene el equipo solo cuando su condición física lo indique. Además, al tener los activos físicos de los centros de I+D una composición más eléctrica que mecánica, se infiere que es

óptimo evaluar el funcionamiento del activo a partir de las señales o variables de estudio propias de su composición o fabricación.

La familia de la ISO 55000 es aplicable para cualquier activo, sin importar el tipo de la actividad económica y tamaño de la organización. Sin embargo, esta norma no contiene las actividades a desarrollar, desde el nivel operativo, para gestionar cada una de las etapas del ciclo de vida. La ISO 55001 especifica que deben existir planes de acción para lograr los objetivos que se proponen, pero no hace mención a las actividades como tal de dichos planes. Es decir, la ISO 55001 no aborda las actividades específicas a tener en cuenta para identificar necesidades, adquirir, operar, mantener y desincorporar los activos físicos. La propuesta de normativa sí contiene dichas actividades y las alinea con los requisitos expuestos en la ISO 55001. Por tal motivo, se concluye que sí es necesario tener una normativa específica para activos I+D pero que esté alineada a la ISO 55001 para que se pueda lograr la certificación.

## Referencias

- [1] C. Parra y A. Crespo, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada a la gestión de activos, Sevilla: Ingeman, 2012.
- [2] L. Amendola, «Gestión integral del Mantenimiento de Activos como estrategia de negocios (Assessment, PAS 55 – ISO 55000),» PMM Institute for Learnin- Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación , Valencia, 2011.
- [3] North American Maintenance Excellence Award, «NAME,» abril 2017. [En línea]. Available: <http://www.nameaward.com/>.
- [4] AM, «Asset Management – an anatomy,» vol. 3, p. 84, 2015.
- [5] D. Mungani y J. Visser, «Maintenance approaches to different production methods,» *University of Pretoria*, pp. 1-13, 2013.
- [6] NTC-ISO 55000, Gestión de activos-Aspectos generales, principios y terminología, Bogotá: Icontec, 2015.
- [7] Á. M. Fierro Martínez y F. A. Fierro Celis , Contabilidad de activos con enfoque NIIF para las pymes, Bogotá: ECOE ediciones, 2015.
- [8] PAS 55-2, Gestión de activos. Directrices para la aplicación de PAS 55-1, Bsi- Institute for asset management., 2008.

- [9] A. Guzmán Vásquez, D. Guzmán Vásquez y T. Romero Cifuentes, *Contabilidad Financiera*, Bogotá D.C: Centro Editorial Universidad del Rosario, 2005.
- [10] T. Horngren y L. Sundem, *Introducción a la contabilidad financiera*, Monterrey: Pearson, 2000.
- [11] M. Roca y O. Ortiz Tovar, *Contabilidad financiera para Contaduría y Administración*, Barranquilla: Universidad del Norte, 2016.
- [12] C. G. Guajardo y N. E. Andrade de Guajardo, *Contabilidad financiera*, Ciudad de México: Mc Graw-Hill, 2008.
- [13] Norma Técnica Colombiana. NTC-ISO 55001, *Gestión de activos-Sistemas de gestión-Requisitos*, Bogotá: ICONTEC Internacional, 2015.
- [14] IAM, «The PAS55 Assessment Methodology,» The Institute for Asset Management, 2009.
- [15] PAS 55-1, *Gestión de activos*, Bsi- Institute for asset management, 2008.
- [16] D. Marlow, D. Beable y S. Burn, «A pathway to a more sustainable water sector.: Water Science & Technology—WST,» *Water Sci Technol.*, vol. 61, nº 5, pp. 1245-1255, 2010.
- [17] Á. Sánchez y Rodríguez, «La gestión de activos físicos en la función de mantenimiento,» *Centro de estudios de ingeniería de mantenimiento. CEIM*, 2010.
- [18] UNE-EN-60300-3-3, *Gestión de la confiabilidad. Parte 3-3: Guía de aplicación para cálculo del costo del ciclo de vida*, Madrid: AENOR, 2009.
- [19] I. Ahuja y J. Khamba, «Total productive maintenance: literature review and directions,» *International Journal of Quality & Reliability Management*, vol. 25, nº 7, pp. 709-756, 2008.
- [20] Ecopetrol, «Guía del sistema de gestión activos industriales. GAC-G-339,» Visepresidencia de Innovación y tecnología, Bogotá, 2015.
- [21] Colciencias, «Centros de Desarrollo Tecnológico,» Jueves Noviembre 2017. [En línea]. Available: [http://www.colciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento\\_de\\_actores/centros-desarrollo-tecnologico](http://www.colciencias.gov.co/portafolio/reconocimiento_de_actores/centros-desarrollo-tecnologico). [Último acceso: 13 Febrero 2017].
- [22] L. Amendola, T. Deepol, A. Sánchez, A. Ramirez y M. Ángel, «Desarrollo de un modelo de valoración de gestión de activos tangibles e intangibles alineado a la ISO 55000,» *PMM Institute For Learning*, pp. 327-338, 2015.
- [23] J. Durán y L. Sojo, «Implementando un plan de gestión de activos en el tiempo de vida útil, con el estándar PAS 55,» *The woodhouse Partnership Ltd*, 2010.
- [24] J. B. Durán, «Gestión de Mantenimiento bajo estándares Internacionales como PAS 55 Asset Management,» *The Woodhouse Partnership Ltd*, sf.
- [25] PMM institute for learning, «¿Quiénes somos?,» s.f. [En línea]. Available: <http://www.pmmlearning.com/quienes-somos/>.
- [26] E. G. Too, «A framework for strategic infrastructure asset management,» CRC, 2008.
- [27] D. Beale, D. Marlow y S. Burn, «A pathway to a more sustainable water sector,» *Water Science & Technology—WST*, pp. 1245-1252, 2010.
- [28] P. Viveros, R. Stegmaier, F. Kristjanpoller, L. Barbera y A. Crespo, «Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 21, nº 1, pp. 125-138, 2013.
- [29] J. A. García y R. M. Martínez, «Barreras y facilitadores de la implementación del TPM,» *Omnia Science*, pp. 823-853, 2013.
- [30] ISO/IEC 17025, *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*, ISO/IEC, 2005.
- [31] G. Inés Cardona y M. Alzate Florez, «Procedimiento programa de verificación y calibración de equipos de laboratorio,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2009.
- [32] L. Amendola, «Análisis GAP en la gestión de activos físicos para lograr sustentabilidad,» *Global Asset Management*, pp. 1-15, 2012.
- [33] T. A. Depool Malave, *Mejora de la gestión de activos físicos según PAS 55- ISO 55000 evaluando el desempeño de los roles del marco de competencias del IAM*, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2015.
- [34] Institute for Asset Management, *The Self-Assessment Methodology Plus*, IAM, 2015.
- [35] L. F. Sexto, «Linked in,» 16 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://es.linkedin.com/pulse/familia-iso-55000-gesti%C3%B3n-de-activos-un-an%C3%A1lisis-cr%C3%ADtico-sexto>.
- [36] Norma Internacional de Contabilidad, *Inmovilizado material*, NIC, 2005.
- [37] C. T. Horngren, W. H. Jr. y M. S. Oliver, *Contabilidad*, Ciudad de México: Pearson, 2010.

- [38] (UNISDR), Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres, «Terminología sobre reducción del riesgo de desastres,» Naciones Unidas, Ginebra, 2009.
- [39] C. I. p. l. l. d. F. d. niño, «Aproximación para el cálculo de riesgo,» s.f. [En línea]. Available: [http://www.ciifen.org/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es](http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es). [Último acceso: 16 Mayo 2017].
- [40] A. M. Gutiérrez, Mantenimiento. Planeación, ejecución y control, Ciudad de México: Alfaomega, 2009.
- [41] Comisión Nacional de Energía, Criterios generales de protección de los sistemas eléctricos insulares y extrainsulares, Chile: Comisión Nacional de Energía CNE, 2011.
- [42] C. Alrmann, «Las técnicas de monitoreo de condición, como herramienta de mantenimiento proactivo,» Buenos aires, s.f.
- [43] A. Arata, Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en las plantas industriales, Santiago de Chile: RiL editores, 2009.
- [44] J. Moubray, Mantenimiento centrado en la Confiabilidad, United Kingdom: Aladon Ltd, 2005.
- [45] OMS, Sistema de gestión de calidad en el laboratorio (LQMS), Biblioteca de la OMS, 2016.
- [46] W. A. S. Castro, Ó. D. C. Gómez y L. F. O. Franco, «Selección de proveedores: Una aproximación al estudio del arte,» Unidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2009.
- [47] J. Q. Méndez y S. O. Castillo, «Implementación de un mantenimiento basado en la condición usando modelado y simulación: Caso de estudio de un motor sincrónico de imanes permanentes,» Ingeniería e Investigación, 2011.
- [48] J. C. Pereira Trujillo, «Diagnóstico de la gestión de activos para investigación en la Universidad EAFIT,» Universidad EAFIT, Medellín, 2014.
- [49] UNE-EN-13306, Mantenimiento. Terminología del mantenimiento., Madrid: AENOR, 2011.
- [50] SAE JA 1011, Criterios de evaluación para procesos de mantenimiento centrado en confiabilidad, SAE, 1999.
- [51] L. F. Sexto Cabrera, «La contabilidad integral del activo,» *Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento*, pp. 49-56, 2008.
- [52] L. A. Mora, Mantenimiento-Planeación, ejecución y control, Alfaomega, 2009.
- [53] S. García Garrido, Organización y gestión integral del mantenimiento, Madrid: Díaz de Santos, 2010.
- [54] Departamento de Mantenimiento, Infraestructura y HSE, «Propuesta Ruta Táctica de Gestión de Activos I+D ICP 2020,» ICP, Piedecuesta, 2016.
- [55] Departamento de Mantenimiento, Infraestructura y HSE, «Implementación en 2017 de la nueva ECG del área,» ICP, Piedecuesta, 2017.
- [56] Departamento de Mantenimiento, Infraestructura y HSE, «Despliegue de objetivos e indicadores 2017,» ICP, Piedecuesta, 2017.
- [57] Ecopetrol S.A, «ecopetrol- Energía para el futuro,» 09 11 2014. [En línea]. Available: <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/lo-que-hacemos/innovacion-ciencia-y-tecnologia>. [Último acceso: 27 05 2017].
- [58] Ecopetrol S.A, «Visualización del sistema de gestión de Ecopetrol S.A,» Bogotá.
- [59] Ecopetrol S.A, «Política integral de Ecopetrol,» Ecopetrol S.A, Bogotá, 2011.
- [60] NTC-ISO 55000, Gestión de activos-Aspectos generales, principios y terminología, Bogotá, 2015.

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA DE GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS									
I. DATOS DE LA ORGANIZACIÓN									
Nombre de la organización		Número empleados en mantenimiento		Sector económico					
II. DATOS DE LOS EVALUADORES									
Nombre evaluador	Cargo	Cargo	Número de inspección	Fecha	Día	Mes	Año		
	Cargo								
III. DATOS DEL EVALUADO									
Cargo actual	Nivel de estudios		Años de experiencia en el cargo		Años de experiencia como profesional				
Miembro de la dirección	Técnico		Menor a 5 años	Menor a 5 años					
Supervisor	Tecnológico		Entre 6 años a 10 años	Entre 6 años a 10 años					

Continúa

IV. EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS										
1. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA ORGANIZACIÓN										
1.1. Percepción sobre la misión y visión										
Jefe de mantenimiento	Formación profesional	Entre 11 años a 15 años	Entre 11 años a 15 años							
Técnico	Especialista	Entre 15 años a 20 años	Entre 15 años a 20 años							
Administrativo	Maestría	Mayor a 20 años	Mayor a 20 años							
	Doctorado									
<p>Las preguntas se encuentran distribuidas a través de seis variables: planeación estratégica de la organización, la intervención de la alta gerencia en la gestión de activos, la planificación de la gestión de activos, las operaciones en la gestión de activos, el control y evaluación en la gestión de activos y los procesos de mejora continua en la gestión de activos. Responda cada una de las preguntas de acuerdo con su nivel de percepción de cumplimiento a partir de una escala de Likert (totalmente de acuerdo, de acuerdo, indeciso, en desacuerdo y totalmente en desacuerdo). Tenga en cuenta que los resultados de esta encuesta serán para tratamientos netamente académicos. Gracias por su colaboración.</p>										
<p><b>Principio básico.</b> La organización cuenta con una misión y visión bien estructuradas. Son claras en su contenido, se encuentran alineadas, son apropiadas para la actividad económica, reflejan la razón de ser de la empresa, comunicadas y entendidas por todo el personal del área de gestión de activos e involucran a todos los niveles y departamentos de la organización.</p>										
1.1.1 La misión está definida por escrito, es clara para todos los niveles, acorde a la actividad económica y su declaración evidencia el propósito de la organización.				Totally de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totally en desacuerdo		

Continúa

1. PLANEACIÓN ESTRATÉGICA DE LA ORGANIZACIÓN					
1.1. Percepción sobre la misión y visión					
Principio básico. La organización cuenta con una misión y visión bien estructuradas. Son claras en su contenido, se encuentran alineadas, son apropiadas para la actividad económica, reflejan la razón de ser de la empresa, comunicadas y entendidas por todo el personal del área de gestión de activos e involucran a todos los niveles y departamentos de la organización.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1.1.2 La misión es comunicada y entendida en la dependencia.					
1.1.3 La misión refleja el compromiso con la visión.					
1.1.4 La visión está definida por escrito, delimita una fecha en específico, define de manera clara el objetivo que se desea lograr en el largo plazo, representa un logro que aún no se ha obtenido y compromete a todos los niveles de la organización.					
1.1.5 La visión es comunicada y entendida en la dependencia.					

Continúa

1.2. Percepción sobre las políticas y objetivos					
Principio básico. La organización cuenta con objetivos y políticas bien estructurados. Los objetivos a nivel corporativo enmarcan metas en el corto y largo plazo. Estos son fáciles de medir, cuantificables, realistas, consistentes, prioritarios y están definidos para cada nivel de la organización. Las políticas están formuladas para lograr los objetivos establecidos, sirven como guía para el planteamiento de metas y estrategias, abordan situaciones repetitivas o recurrentes e involucran a cada nivel de la organización.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1.2.1 Los objetivos corporativos se encuentran bien establecidos, son claros y están demarcados para un periodo de tiempo determinado.					
1.2.2 Los objetivos son fáciles de medir y cuantificables.					
1.2.3 Los objetivos corporativos son comunicados en el área de gestión de activos.					
1.2.5 La organización cuenta con políticas para lograr la consecución de los objetivos.					
1.2.6 Las políticas sirven como guía para el planteamiento de metas y estrategias, y además abordan situaciones repetitivas y recurrentes.					
1.2.7 Las políticas son comunicadas en la dependencia.					

Continúa

1.3. Autoridad y autonomía					
Principio básico. Existe un organigrama claro y bien estructurado en el que se evidencian los niveles jerárquicos y el flujo de cómo se transmite la información a lo largo de los diferentes niveles de la organización. Además, las diferentes dependencias cuentan con el respaldo de la alta gerencia y con suficiente autonomía para desarrollar las funciones establecidas.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
1.3.1 La organización cuenta con un organigrama estructurado y definido en donde se evidencian los niveles de jerarquía.					
1.3.2 En el organigrama es visible el modo como se toman las decisiones a lo largo de todos los niveles de la organización.					
1.3.3 Su dependencia reconoce su ubicación dentro del organigrama de la empresa.					
1.3.4 Los funcionarios de su dependencia conocen bien sus funciones, deberes y responsabilidades.					
1.3.5 Su dependencia es autónoma para tomar decisiones de carácter rutinario, sin previa consulta y aprobación de la alta gerencia.					

Continúa

2. INTERVENCIÓN DE LA ALTA GERENCIA EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
2.1 Existencia de un área enfocada en la gestión de activos					
Principio básico. La organización cuenta con un área funcional que se encarga de establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente la gestión de activos. Se tiene por escrito la definición del personal responsable de la gestión de activos, así como también sus funciones, roles y responsabilidades. Finalmente, la alta gerencia proporciona los recursos necesarios para llevar a cabo en su totalidad la gestión de activos.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
2.1.1 Dentro del organigrama gerencial se encuentra definido un área funcional enfocada en la gestión de activos.					
2.1.2 La organización desarrolla e implementa procesos que conectan los propósitos requeridos y el desempeño de los activos a los objetivos organizacionales.					
2.1.3 La organización diseña, implementa, mantiene y mejora un sistema de gestión de activos estructurado en el que se evidencian políticas, estrategias, objetivos y los procesos necesarios para alcanzar lo planeado en la gestión de activos.					
2.1.4 La organización implementa procesos para asegurar la capacidad de los activos a través de todas las etapas del ciclo de vida.					

Continúa

2.2. Toma de conciencia					
Principio básico. La dependencia es consciente de su importancia para la ejecución de la gestión de activos. Identifica los riesgos y oportunidades de las actividades que se desarrollan, y conoce las implicaciones que puede acarrear las no conformidades dentro de la consecución de los objetivos para la gestión de activos.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
2.2.1 La dependencia tiene conciencia sobre la política de gestión de activos.					
2.2.2 La dependencia tiene conciencia sobre su contribución a la eficacia del sistema de gestión de activos y la mejora del desempeño de la gestión de activos.					
2.2.3 La dependencia tiene conciencia sobre sus actividades laborales, los riesgos asociados y las oportunidades de las mismas, y la forma como se relacionan entre sí.					
2.2.4 La dependencia tiene conciencia de las implicaciones de las no conformidades con los requisitos del sistema de gestión de activos.					

Continúa

2.3 Aseguramiento de recursos y competencias					
Principio básico. La alta gerencia garantiza el aseguramiento de los recursos necesarios para llevar a cabo la gestión de activos de manera eficaz. Recursos financieros, tecnológicos y de equipo de trabajo idóneo para llevar a cabo las funciones establecidas.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
2.3.1 La alta gerencia se encarga de suministrar los recursos necesarios para garantizar la eficacia en la gestión de activos. Recursos tales como dinero, bases de datos, plataformas virtuales, herramientas tecnológicas, equipos de mantenimiento, entre otros.					
2.3.2 La dependencia determina las competencias necesarias para llevar a cabo, a cabalidad, los requerimientos del puesto de trabajo asociado con la gestión de activos.					
2.3.3 La dependencia cuenta con personal idóneo en conocimiento, experiencia y formación, para llevar a cabo las funciones requeridas.					
2.3.4 La organización revisa periódicamente las necesidades y requisitos de competencias actuales y futuras.					
2.3.5 La organización desarrolla capacitaciones o espacios de aprendizaje para actualizar a los funcionarios con nuevo conocimiento referente a su área o dependencia.					

Continúa

2.4 Comunicación de la gestión de activos en la organización					
	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización dispone de espacios para comunicar resultados, riesgos y oportunidades pertinentes a los activos, la gestión de activos y el sistema de la gestión de activos, en cada uno de los niveles de la organización.					
2.4.1 La dependencia comunica de manera periódica resultados, acontecimientos, problemas, riesgos, oportunidades o cualquier tipo de información relacionada con la gestión de activos.					
2.4.2 La dependencia cuenta con herramientas tecnológicas en donde es posible comunicar cualquier tipo de información relacionada con la gestión de activos de manera rápida y eficaz y a la persona requerida.					
2.4.3 Existen espacios de comunicación entre la organización y terceros (proveedores) en donde se transmite información que impacta el desempeño de la gestión de activos.					
2.4.4 La alta gerencia comunica a todos los niveles de la organización los resultados obtenidos, la consecución de los objetivos y los aspectos a considerar para el periodo siguiente en cuanto a la gestión de sus activos.					

Continúa

2.5 Información documentada					
	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con información documentada relacionada con la gestión de activos y los requisitos legales y regulatorios					
2.5.1 La organización cuenta con un sistema de información en donde es posible almacenar, clasificar, analizar, depurar y comunicar información relacionada con la gestión de activos.					
2.5.2 La información documentada cuenta con un formato obligatorio de diligenciamiento en donde se especifican elementos claves como la identificación del autor, la versión del programa informático, el medio de soporte que se debe usar, lenguaje, entre otros.					
2.4.3 La información documentada es subida al sistema de información con previa revisión y aprobación.					
2.5.4 La información del sistema de información de la gestión de activos es actualizada siempre que es necesario.					
2.5.5 El sistema de información de la gestión de activos está disponible para todos los niveles de la organización relacionados con la gestión de activos y es usado siempre que es necesario (disponibilidad).					

Continúa

2.5 Información documentada					
Principio básico. La organización cuenta con información documentada relacionada con la gestión de activos y los requisitos legales y regulatorios	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
2.5.6 El sistema de información para la gestión de activos cuenta con un adecuado nivel de protección contra pérdida de la confidencialidad, uso inapropiado y cambios de versión.					
2.5.7 El sistema de información para la gestión de activos cuenta con mecanismos para asegurar la recuperación de documentos perdidos o eliminados accidentalmente.					
2.5.8 El sistema de información para la gestión de activos, a su vez, cuenta con información de origen externo, es decir, proporcionada por terceros.					
2.5.9 La organización cuenta con mecanismos para garantizar que la información suministrada a cada dependencia llegue al personal que debe manejarla.					
2.5.10 Existe un intercambio de información ágil y eficaz con otras dependencias a través de procedimientos normalizados y la constante interacción de los diferentes sistemas de información.					

Continúa

3. PLANIFICACIÓN EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
3.1 Plan estratégico para la gestión de activos (PEGA)					
Principio básico. La organización cuenta con un plan estratégico para la gestión de activos (PEGA), en donde se evidencian objetivos, políticas y planes para la gestión de activos; es pertinente para cada función y nivel de la organización, se encuentra documentado en el plan corporativo y están plenamente alineado a los objetivos estratégicos.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
3.1.1 La organización cuenta con un plan estratégico para la gestión de activos (PEGA), que contiene los principios y el enfoque mediante el cual la organización se propone aplicar la gestión de activos.					
3.1.2 En el PEGA se pone de manifiesto la forma como los objetivos corporativos son traducidos en objetivos para la gestión de activos.					
3.1.3 En el PEGA se pone de manifiesto el rol del sistema de gestión de activos, es decir, se encuentran definidos la estructura, roles y responsabilidades necesarias para establecer el sistema de gestión de activos y operato eficazmente.					
3.1.4 El PEGA contiene los objetivos, las políticas y el enfoque para llevar a cabo los planes de acción para la gestión de activos.					
3.1.5 El PEGA se encuentra establecido para un período de tiempo determinado y es actualizado con relación a los objetivos corporativos.					

Continúa

3. PLANIFICACIÓN EN LA GESTIÓN DE ACTIVOS						
3.1 Plan estratégico para la gestión de activos (PEGA)						
	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Indeciso	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con un plan estratégico para la gestión de activos (PEGA), en donde se evidencian objetivos, políticas y planes para la gestión de activos, es pertinente para cada función y nivel de la organización, se encuentra documentado en el plan corporativo y están plenamente alineado a los objetivos estratégicos.						
3.1.6 El PEGA se encuentra como información documentada dentro del plan corporativo.						
3.1.7 El PEGA es comunicado y entendido por cada nivel de la organización y se encuentra disponible para su revisión.						
3.2 Objetivos para la gestión de activos						
	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Indeciso	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con objetivos para la gestión de activos bien estructurados, acordes a la naturaleza de sus activos, coherentes y plenamente alineados con los objetivos corporativos, medibles y cuantificables, revisados, actualizados y comunicados a las partes interesadas pertinentes.						
3.2.1 La organización tiene definido objetivos para la gestión de activos, estos son claros y se encuentran como información documentada en el PEGA.						
3.2.2 Los objetivos de la gestión de activos son coherentes y se encuentran alineados con los objetivos corporativos de la organización.						
3.2.3 Los objetivos de la gestión de activos son actualizados como parte del PEGA.						

Continúa

3.2 Objetivos para la gestión de activos						
	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Indeciso	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con objetivos para la gestión de activos bien estructurados, acordes a la naturaleza de sus activos, coherentes y plenamente alineados con los objetivos corporativos, medibles y cuantificables, revisados, actualizados y comunicados a las partes interesadas pertinentes.						
3.2.4 Los objetivos de la gestión de activos son medibles y cuantificables.						
3.2.5 Los objetivos de la gestión de activos son comunicados y entendidos por todos los funcionarios de la dependencia.						
3.3 Políticas para la gestión de activos						
	Totalmente de acuerdo	En desacuerdo	Indeciso	De acuerdo	Indeciso	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con políticas para la gestión de activos bien estructuradas, adecuadas al propósito de la organización, en las que se evidencia el compromiso con la consecución de los objetivos para la gestión de activos, son coherentes con el plan organizacional, adecuadas a la naturaleza de los activos, actualizadas, disponibles y comunicadas por cada nivel de la organización.						
3.3.1 La organización cuenta con políticas para la gestión de activos que se encuentran encaminadas a la consecución de los objetivos de la gestión de activos.						
3.3.2 Las políticas de la gestión de activos son adecuadas al propósito de la empresa y a la naturaleza de sus activos.						
3.3.3 Las políticas de la gestión de activos se formulan de acuerdo al plan organizacional.						

Continúa

3.3 Políticas para la gestión de activos					
Principio básico. La organización cuenta con políticas para la gestión de activos bien estructuradas, adecuadas al propósito de la organización, en las que se evidencia el compromiso con la consecución de los objetivos para la gestión de activos, son coherentes con el plan organizacional, adecuadas a la naturaleza de los activos, actualizadas, disponibles y comunicadas por cada nivel de la organización.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
3.3.4 Las políticas para la gestión de activos son actualizadas con relación a los cambios producidos en la planeación estratégica.					
3.3.5 Las políticas para la gestión se encuentran disponibles como información documentada en el PEGA.					
3.3.6 Las políticas para la gestión de activos son comunicadas y entendidas por la dependencia.					
3.3.7 La política de la gestión de activos incluye un compromiso de mejora continua del sistema de gestión de activos.					
3.3.8 La política de la gestión de activos es coherente con otras políticas pertinentes de la organización.					
3.3.9 La política de la gestión de activos es implementada en las actividades referentes a la dependencia a la que pertenece.					

Continúa

3.4 Planes de acción					
Principio básico. La organización cuenta con planes de acción que contienen las actividades relacionadas con la gestión de activos. Estos planes son formulados en función de los objetivos de la gestión de activos y se encuentran documentados en el PEGA. En estos planes se identifican el método y la definición de criterios para la toma de decisiones, la priorización de actividades y recursos para llevar a cabo la gestión de activos, los procesos y métodos que se emplean en la gestión de sus activos a lo largo del ciclo de vida, la definición de las funciones que se llevan a cabo, los responsables, el periodo de finalización, el modo como se evalúan los resultados, las implicaciones financieras y no financieras y el periodo de revisión establecido.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
3.4.1 La organización cuenta con planes de acción estructurados, que contienen las actividades que se deben llevar a cabo para la gestión de activos.					
3.4.2 Los planes de acción se encuentran alineados con los objetivos de la gestión de activos.					
3.4.3 Los planes de acción de la gestión de activos se encuentran disponibles como información documentada en el PEGA.					
3.4.4 En los planes de acción se representan los procesos y métodos que se emplean en la gestión de los activos a lo largo del ciclo de vida los activos.					
3.4.5 En los planes de acción se especifican las funciones de los puestos de trabajo que se deben llevar a cabo para el desarrollo eficaz de la gestión de activos.					
3.4.6 En los planes de acción se evidencian los recursos (financieros y no financieros) que son necesarios para llevar a cabo las actividades de la gestión de activos.					

Continúa

3.4 Planes de acción					
Principio básico. La organización cuenta con planes de acción que contienen las actividades relacionadas con la gestión de activos. Estos planes son formulados en función de los objetivos de la gestión de activos y se encuentran documentados en el PEGA. En estos planes se identifican el método y la definición de criterios para la toma de decisiones, la priorización de actividades y recursos para llevar a cabo la gestión de activos, los procesos y métodos que se emplean en la gestión de sus activos a lo largo del ciclo de vida, la definición de las funciones que se llevan a cabo, los responsables, el período de finalización, el modo como se evaluarán los resultados, las implicaciones financieras y no financieras y el período de revisión establecido.	Totamente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
	3.4.7 En los planes de acción se evidencia el empleado responsable para llevar a cabo cada actividad que compone a la gestión de activos.				
3.4.8 En los planes de acción se evidencia el tiempo de inicio y finalización de la actividad determinada en la gestión de activos.					
3.4.9 Los planes de acción son actualizados como parte del PEGA.					
4. OPERACIÓN DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
4.1 Identificación de necesidad y estudios preliminares					
Principio básico. La organización implementa procesos para la evaluación de propuestas y adquisición de activos.	Totalmente de acuerdo		Indeciso	Totalmente en desacuerdo	
	De acuerdo	En desacuerdo		De acuerdo	En desacuerdo
4.1.1 La organización lleva a cabo estudios preliminares en donde se planean y establecen las características físicas y funcionales que debe poseer un activo para llevar a cabo una actividad determinada.					

Continúa

4. OPERACIÓN DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
4.1 Identificación de necesidad y estudios preliminares					
Principio básico. La organización implementa procesos para la evaluación de propuestas y adquisición de activos.	Totalmente de acuerdo		Indeciso	Totalmente en desacuerdo	
	De acuerdo	En desacuerdo		De acuerdo	En desacuerdo
4.1.2 La organización lleva a cabo estudios de factibilidad técnica del activo a adquirir, en donde se analiza la disponibilidad de personal competente para manejar el activo.					
4.1.3 La organización lleva a cabo estudios de viabilidad económica al adquirir un activo (planes de inversión).					
4.1.4 La organización lleva a cabo estudios en donde se analiza el impacto ambiental que produce la adquisición y mantenimiento de un activo.					
4.1.5 La organización lleva a cabo estudios de gestión de riesgos producidos por los cambios internos y externos que se pueden producir en el entorno.					
4.1.6 La organización establece y aplica criterios de calidad y costo para evaluar diferentes alternativas en cuanto a la selección de proveedores (gestión de <i>outsourcing</i> ).					
4.2 Adquisición de activos					
Principio básico. La organización implementa procesos relacionados con las compras, precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha del activo.	Totalmente de acuerdo		Indeciso	Totalmente en desacuerdo	
	De acuerdo	En desacuerdo		De acuerdo	En desacuerdo
4.2.1. Dentro del organigrama existe un departamento de compras en donde se efectúa, de forma sistemática, la orden de compra al proveedor determinado.					

Continúa

4.2 Adquisición de activos					
Principio básico. La organización implementa procesos relacionados con las compras, precomisionamiento, comisionamiento y puesta en marcha del activo.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4.2.2 La organización cuenta con un formato estándar para la orden de compra, en donde se especifica el proveedor, el activo o elemento a comprar, el costo monetario, las especificaciones, la fecha de compra y entrega, entre otra información relevante.					
4.2.3 La organización lleva a cabo actividades de seguimiento e inspección en fábrica de las compras de activos efectuadas a proveedores, para garantizar las necesidades y lineamientos internos en los activos.					
4.2.4 La organización lleva a cabo actividades de recepción de los activos o materiales adquiridos en donde se inspecciona, evalúa y calibra el activo adquirido para asegurar que el equipo cumpla con todos los requerimientos estipulados.					
4.2.5 Existen espacios de capacitación a los empleados asignados para el uso del activo, provenientes de los proveedores y la misma organización, en donde se explica el manual de uso, las condiciones medioambientales que debe poseer el entorno, los riesgos que se pueden producir en su manipulación y todos los requerimientos que se deben cumplir para garantizar el buen desempeño del activo.					
4.2.6 La organización lleva a cabo actividades de comisionamiento, en donde se adecuan las condiciones del entorno a los requerimientos del activo.					

Continúa

4.3 Uso y mantenimiento del activo					
Principio básico. La organización lleva a cabo actividades de análisis de condiciones de los activos, seguimiento y evaluación de desempeño de los activos. Además, se planifica el mantenimiento de acuerdo a la naturaleza del activo y el servicio que presta dentro de la organización.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4.3.1 La organización cuenta con un área específica para el mantenimiento de los activos.					
4.3.2 El área de mantenimiento establece objetivos y políticas para el mantenimiento.					
4.3.3 Los objetivos y políticas específicas del mantenimiento son comunicadas y entendidas por todo el personal de esta área.					
4.3.4 Los objetivos y políticas específicas del mantenimiento se formulan con base en los objetivos de la gestión de activos y los objetivos corporativos.					
4.3.5 La organización jerarquiza sus activos de acuerdo a un análisis de criticidad que mide el nivel de impacto que produce la función del activo en la consecución de resultados operacionales.					
4.3.6 El área de mantenimiento establece actividades de planeación de los recursos (financieros y no financieros) necesarios para llevar a cabo las actividades restauradoras.					
4.3.7 El área de mantenimiento cuenta con un programa de mantenimiento en donde se detallan todas las actividades de mantenimiento que se llevarán a cabo por activo en periodos de tiempo determinados.					

Continúa

4.3 Uso y mantenimiento del activo					
Principio básico. La organización lleva a cabo actividades de análisis de condiciones de los activos, seguimiento y evaluación de desempeño de los activos. Además, se planifica el mantenimiento de acuerdo a la naturaleza del activo y el servicio que presta dentro de la organización.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4.3.8 La organización cuenta con planes de contingencia de mantenimiento cuando se presentan fallas inesperadas en los activos.					
4.3.9 El área de mantenimiento dispone de mecanismos que permiten llevar registros y análisis de las fallas, las causas, los tiempos de parada, materiales, repuestos y herramientas utilizadas.					
4.3.10 El área de mantenimiento cuenta con un inventario bien estructurado de los materiales y repuestos que tienen disponibles para restaurar un activo.					
4.4 Desincorporación del activo					
Principio básico. La organización analiza, evalúa y cuantifica los costos e impacto que produce desincorporar un activo del sistema operacional.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4.4.1 La organización cuenta con un programa de desincorporación del activo, que contiene por escrito, las condiciones por las cuales un activo es retirado del sistema operacional.					
4.4.2 La organización realiza estudios de análisis de alternativas para decidir si el activo se debe desechar, reciclar o vender.					
4.4.3 La organización realiza estudios de análisis de riesgos producidos por el desmantelamiento del activo y retirada del mismo.					

Continúa

4.4 Desincorporación del activo					
Principio básico. La organización analiza, evalúa y cuantifica los costos e impacto que produce desincorporar un activo del sistema operacional.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
4.4.4 La organización lleva un registro de los activos que son retirados. Se encuentra disponible como información documentada en el sistema de información de la gestión de activos.					
4.4.5 La organización lleva a cabo estudios para cuantificar el costo de desincorporar un activo del sistema.					
5. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
5.1 Indicadores de evaluación de desempeño					
Principio básico. La organización tiene estructurado indicadores que miden el desempeño de los activos y la gestión de activos.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5.1.1 La organización cuenta con indicadores de desempeño para medir el rendimiento de los activos de manera periódica.					
5.1.2 La organización cuenta con indicadores de desempeño para medir el rendimiento de la gestión de activos y el impacto que produce este en los objetivos corporativos.					
5.1.3 La organización cuenta con indicadores financieros para reflejar las pérdidas o ganancias que ha producido la gestión de activos en materia monetaria.					
5.1.3 Los indicadores de desempeño son actualizados de acuerdo a los cambios que se efectúan en la planeación de la gestión de activos.					

Continúa

5. EVALUACIÓN DE DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
5.1 Indicadores de evaluación de desempeño					
Principio básico. La organización tiene estructurado indicadores que miden el desempeño de los activos y la gestión de activos.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5.1.4 Los indicadores de desempeño se encuentran alineados a los indicadores formulados en la planeación estratégica de la organización.					
5.2 Auditorías e informes de la alta gerencia					
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con un programa de seguimiento, medición, análisis y evaluación de resultados contenido en un programa de auditorías, en donde se establece qué se debe monitorear, además de los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, según sea aplicable, que garanticen la validez los resultados. Adicionalmente, establece la periodicidad de los seguimientos y el responsable para llevar a cabo las auditorías.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5.2.1 La organización planifica, establece, implementa y mantiene un programa de auditorías para las actividades internas para la gestión de activos.					
5.2.2 La organización planifica, establece, implementa y mantiene un programa de auditorías para todos los terceros que actúan en los procesos de gestión de activos (puestos, equipos, mantenimiento, entre otros).					
5.2.2 En el programa de auditoría se especifica la frecuencia en el cual debe efectuarse la medición, análisis y evaluación de resultados de la gestión de activos.					

Continúa

5.2 Auditorías e informes de la alta gerencia					
<b>Principio básico.</b> La organización cuenta con un programa de seguimiento, medición, análisis y evaluación de resultados contenido en un programa de auditorías, en donde se establece qué se debe monitorear, además de los métodos de seguimiento, medición, análisis y evaluación, según sea aplicable, que garanticen la validez los resultados. Adicionalmente, establece la periodicidad de los seguimientos y el responsable para llevar a cabo las auditorías.	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
5.2.3 En el programa de auditoría se especifica el personal encargado para llevar a cabo la medición, análisis y evaluación de resultados de la gestión de activos.					
5.2.4 El programa de auditoría contiene informes pasados de la medición, análisis y evaluación de resultados en la gestión de activos. Estos informes se encuentran disponibles como información documentada.					
5.2.5 El programa de auditoría es actualizado conforme con los cambios que se realicen en la planeación estratégica de la gestión de activos.					

Continúa

5.3 Revisión de la alta gerencia sobre el desempeño de la gestión de activos					
Principio básico	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La alta gerencia lleva a cabo revisiones periódicas de los informes realizados por las auditorías internas para identificar no conformidades, el desempeño de las acciones correctivas, el desempeño de las actividades de la gestión de activos y las oportunidades de mejoramiento continuo. Además, esta información es comunicada y se encuentra disponible como información documentada en el sistema de información para la gestión de activos.					
5.3.1 La organización cuenta con mecanismos que comunican los informes de las auditorías internas a los directivos pertinentes a la gestión de activos.					
5.3.2 La alta dirección lleva a cabo revisiones periódicas a los informes que se desarrollan en el programa de auditorías para la gestión de activos.					
5.3.3 Los informes finales hechos por la alta gerencia contienen los resultados de las acciones correctivas realizadas en la gestión de activos.					
5.3.4 En los informes finales hechos por la alta gerencia se evalúan los informes de las auditorías internas.					
5.3.5 En los informes finales hechos por la alta gerencia se ponen de manifiesto oportunidades de mejoramiento continuo para la gestión de activos.					
5.3.6 La alta gerencia comunica a todos los niveles de la organización, los resultados de la evaluación de la gestión de activos y las auditorías internas.					
5.3.7 Los informes finales hechos por la alta gerencia se encuentran disponibles como información documentada en el sistema de información para la gestión de activos.					

Continúa

6. MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS					
6.1 No conformidades y acciones correctivas					
Principio básico	Totalmente de acuerdo	De acuerdo	Indeciso	En desacuerdo	Totalmente en desacuerdo
<b>Principio básico.</b> La organización lleva a cabo acciones de mejoramiento continuo cuando ocurren eventos de no conformidades o algún tipo de incidente con los activos o la gestión de activos.					
6.1.1 La organización lleva a cabo planes de acción de mejoramiento continuo ante no conformidades identificados en el uso de los activos.					
6.1.2 La organización lleva a cabo planes de acción de mejoramiento continuo ante no conformidades en la gestión de activos.					
6.1.3 La organización lleva a cabo planes de mejoramiento continuo ante no conformidades en el sistema de gestión de activos.					
6.1.4 La organización aplica estudios o metodologías para el análisis de las causas y consecuencias de las no conformidades.					
6.1.5 La organización lleva a cabo un panorama de riesgos para efectuar acciones predictivas que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de no conformidades.					
6.1.6 La organización implementa metodologías para cuantificar el riesgo antes de llevar a cabo las acciones correctivas.					
6.1.7 La organización realiza un seguimiento de los resultados alcanzados a partir de la ejecución de acciones correctivas.					
6.1.8 Los resultados obtenidos de las acciones correctivas se encuentran disponibles como información documentada en el sistema de información.					

Fuente: Elaborado a partir del requerimiento de la norma NTC-ISO 55001 de 2015



# Capítulo 3

## Modelado del costo del ciclo de vida de los activos de I+D en una industria petrolera

Nelson Enrique Moreno Gómez<sup>1</sup>  
Martha Lucía Rey Villamizar<sup>2</sup>  
Amparo Lizette Pérez Saavedra<sup>3</sup>  
Óscar Fernando Arciniegas Velandia<sup>4</sup>  
Maryory Patricia Villamizar León<sup>5</sup>  
Rossvan Johan Plata Villamizar<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Investigador UPB. Correo electrónico: nelson.moreno@upb.edu.co

<sup>2</sup> Investigadora UPB. Correo electrónico: martha.rey@upb.edu.co

<sup>3</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: amparoperez30@hotmail.com

<sup>4</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: arci\_1010@hotmail.com

<sup>5</sup> Líder Técnico UPB. Correo electrónico: maryory.villamizar@upb.edu.co

<sup>6</sup> Líder Técnico del ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: rossvan.plata@ecopetrol.com.co



## Resumen

El presente artículo muestra un sistema híbrido de costeo a partir de los lineamientos de la norma ISO 15663 para análisis del ciclo de vida de los activos complementado con el costeo basado en actividades para una planta piloto y un laboratorio en un Centro de Innovación y Tecnología, el cual se adapta a las necesidades y objetivos de la organización. La metodología utilizada es de tipo cualitativo en la cual se llevó a cabo una revisión teórica y el posterior análisis de los diferentes sistemas contables junto con visitas de campo y entrevistas, así se generó un diagnóstico a partir del cual se identificaron fortalezas y debilidades del sistema contable actual implementado. Se identificaron cuatro fases del ciclo de vida a trabajar: incorporación, operación, mantenimiento y desincorporación, con sus variables específicas. Se estableció el procedimiento de imputación de costos directamente relacionados con cada variable y costos transferidos relacionados con actividades de apoyo a través de inductores de costo. Se cuantifica el costo de ciclo de vida integrando las fases ya mencionadas, el tiempo de vida del activo y la tasa de descuento planteada por la organización.

El aporte es importante teniendo en cuenta el impacto económico que generará un sistema de costeo ajustado a la estructura económica general de una empresa de *oil & gas*. En este contexto, el artículo presenta un modelo de costeo híbrido que permita tener una visión real de los costos del ciclo de vida útil de los activos de la organización para la toma de decisiones en contextos de compra y desincorporación de un activo.

**Palabras clave:** activo, costeo, híbrido, costo del ciclo de vida, modelo.

## 3.1 Introducción

La contabilidad se convierte en un instrumento para las empresas que permite gestionar y dirigir, desde un enfoque financiero, cada una de las actividades relacionadas con las áreas específicas que las conforman [1]. Buscando facilitar estas actividades, la teoría general de costos define diversas metodologías o sistemas de costeo, los cuales mediante la aplicación de procedimientos específicos obtienen como resultado final el costo de productos o servicios [2].

La metodología implementada en el proceso de investigación inicia a través de una revisión bibliográfica en la que se estudian temas relacionados con sistemas de costeo como: estándar, basado en actividades, por ciclo de vida, por procesos, backflush, kaizen, por órdenes de producción y sistemas de costeo híbridos. Cada metodología de costos analizada individualmente posee un gran número de ventajas y limitaciones. Sin embargo, mediante la combinación de dos o más de ellas, las ventajas pueden potenciarse mientras que las desventajas pueden eliminarse o disminuirse [2]. Posteriormente, se realizó un análisis detallado de cada uno de los sistemas de costeo mencionados extrayendo sus ventajas y desventajas de acuerdo con los objetivos planteados. Finalmente se realiza la construcción de un modelo híbrido basándose en el análisis desarrollado.

Los sistemas de costeo híbridos surgen como herramienta gerencial útil para las empresas que deseen desarrollar un proceso de mejoramiento continuo y que busquen obtener mejores resultados e información real que sea la base para la toma de decisiones estratégicas en la organización.

El modelo de costos propuesto se basa en el costeo por ciclo de vida y el sistema basado en actividades integrando aspectos como las fases del ciclo de vida de un activo (incorporación, operación, mantenimiento y desincorporación) y el proceso de imputación por medio de inductores de costo a actividades específicas dentro de las fases mencionadas.

Finalmente, el objetivo del presente documento es presentar un modelo de costeo híbrido que permita tener una visión real de los costos del ciclo de vida útil de los activos de la organización para la toma de decisiones en contextos de compra y desincorporación de un activo.

## 3.2 Revisión de literatura

### 3.2.1 Antecedentes

Bierer *et al.* [3] presentan la necesidad de enlazar dos métodos, el "costo" del ciclo de vida y el "análisis" del ciclo de vida a las técnicas de evaluación económicas más comunes con el fin de generar una base para la toma de decisiones, ya que existe poca integración entre ellos. Esto trae como consecuencia la limitación en la importancia de los resultados y su futuro análisis. Por tal motivo, se presenta un modelo basado en la contabilidad de costos de flujo de material que permita la integración de ambos métodos tomando en cuenta los requisitos del ciclo de vida. Estos métodos presentan parámetros diferenciadores, pero siguen una estructura de rendimiento de entradas y salidas determinadas, las cuales se refieren a las demandas técnicas de flujos de materiales.

Asimismo, presentan un estudio de análisis de ciclo de vida a cuatro opciones de sistemas para la optimización de un sistema de compresión de gas *lift* para la superintendencia de operación en Orito, Putumayo [4]. Dicho análisis tomó en cuenta aspectos operativos, económicos y ambientales que afectaban directa e indirectamente el proceso de selección del mismo. La elección de compra de la mejor opción determinada a través del análisis de ciclo de vida, le permitirá eliminar los sobrecostos por mantenimiento, cumplir con las especificaciones técnicas y ambientales y, finalmente, aumentar la eficiencia del proceso para el cual fue asignado. Como primer paso se realizó un diagnóstico en el cual se determinaron las necesidades y expectativas de la superintendencia para el sistema de compresión de gas *lift*, al igual que las restricciones que poseían las varia-

bles que intervendrían y las cuatro opciones disponibles para una elección final. Posteriormente, se realizó un análisis con cada una de las opciones, y la compra y montaje de un compresor fue la más conveniente tomando como base los resultados de valor presente neto, análisis de riesgo y relación costo/beneficio; aunque esta no es la opción más económica, es la que cumple con los requisitos planteados en el modelo [4].

Por su parte, Santamaría de la Cruz, presenta un caso de aplicación del costeo por ciclo de vida, enfocado en la reposición de motores de unidades compresoras, para un sistema de levantamiento por inyección de gas a pozos y la optimización de los servicios auxiliares (sistemas de enfriamiento y de reposición de agua) de estos equipos [5]. El proyecto se plantea tomando como base la vida útil de los motores, pues estos contaban con más de 25 años de operación y se encontraban generando altos costos de operación y mantenimiento. Para el desarrollo del proyecto, se realizó un análisis económico en el que se incluyeron las siguientes variables económicas:

- Costo anual de operación
- Costo anual de mantenimiento
- Costo de ciclo de vida
- Costos de no-disponibilidad y de no-confiabilidad, con base en el histórico de tasa de fallas y tiempo medio para reparar.

La ejecución de cada una de las variables planteadas, permitió obtener resultados que soportan eficazmente la decisión de realizar la compra de un equipo nuevo, dados los beneficios económicos y operativos que representaba la inversión.

### 3.2.2 Conceptos, teorías o enfoques

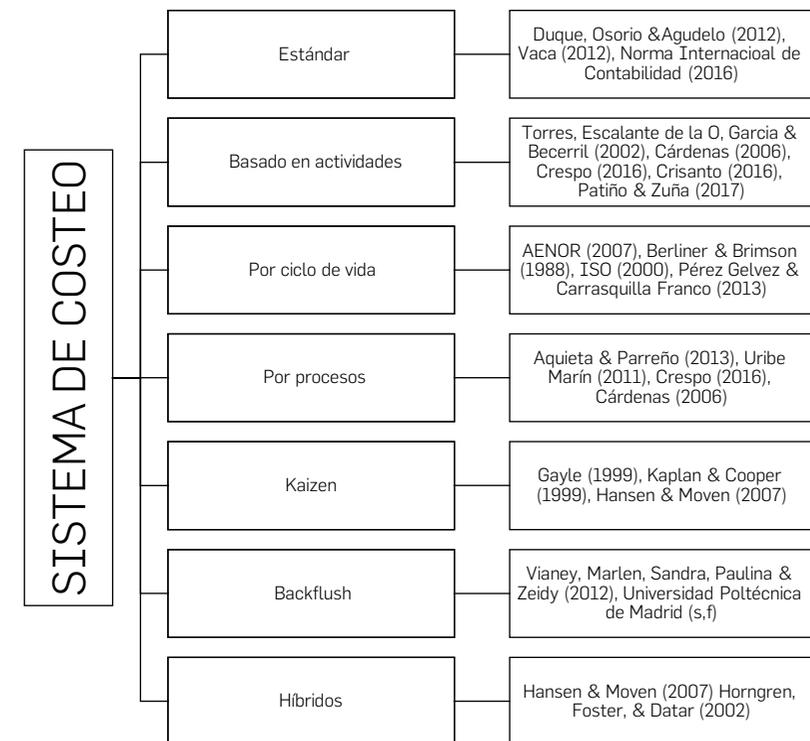
La teoría general de costos se basa en diversas metodologías denominadas sistemas de costeo. Cada una de estas presenta características específicas que se adaptan a los diferentes tipos de organizaciones existentes, permiten controlar los flujos de dinero relacionados a los costos generados en la fabricación de un producto o en la prestación de un servicio. Diversos autores han profundi-

zado en cada uno de estos modelos y presentan distintos conceptos que se interrelacionan (figura 3.1).

### Sistemas de costeo

Los sistemas de costeo son un concepto que surge a partir de la contabilidad y tienen como objetivo darle manejo a la información relacionada con el costo generado por la producción de un bien o prestación de un servicio. Este manejo hace referencia al manejo, clasificación, acumulación y asignación de información basándose en normas y técnicas contables ya establecidas [6]. Estos sistemas integran tres conceptos básicos: mano de obra, materia prima y costos indirectos [7].

Figura 3.1. Sistemas de costeo



A lo largo del tiempo, y de acuerdo con las necesidades de cada organización, han surgido sistemas de costeo que satisfacen dichas necesidades y se ajustan de manera correcta a las características específicas de cada empresa. A continuación, se presentan los sistemas más relevantes:

- **Costeo estándar**

El costeo estándar se realiza con costos precios y cantidades predeterminadas [8]. Este costeo genera algunas ventajas a través del uso de estándares en el cálculo del costo de fabricación como son el control de la producción, permite fijar de forma segura el precio de venta, asegurar el presupuesto. Lo anterior es posible teniendo en cuenta que este costeo permite comparar la información real con la predeterminada y realizar un estudio estadístico que facilite establecer las desviaciones que puedan presentar los datos históricos, en pro de obtener un presupuesto objetivo acorde a los planes operacionales y financieros de corto plazo y estratégicos de largo plazo [9].

- **Costeo por procesos**

El costeo por procesos tiene como objetivo calcular el costo de un producto de acuerdo a los costos que se generan en cada departamento y que se van acumulando a medida que el proceso avanza [10]. Este costeo tiene como particularidad que los costos de los productos o servicios se determinan por períodos más o menos constantes y cortos (mensuales, bimestrales, semestrales o anuales), en el cual la materia prima se transforma de forma continua teniendo en cuenta que la producción debe ser relativamente homogénea. Es por ello que se determina que este sistema de costeo es muy útil en empresas de producción masiva y continua de productos muy similares [9].

- **Costeo kaizen**

Según Gayle [11], el costeo kaizen plantea actividades que sirven para la mejora de las actividades y la reducción de los costos, incluye cambios en la forma en que las empresas manufacturan sus productos. Su filosofía radica en los principios de mejora

continua, el principio básico no es recortar los costos sino gestionar el control a través de herramientas planteadas por el plan de mejoramiento continuo. Su filosofía busca detectar, prevenir y eliminar sistemáticamente el uso exclusivo para ello plantea siete actividades así: 1. Mejoramiento de calidad, 2. Mejoramiento de la productividad, 3. Reducción de inventarios, 4. Acortamiento de las líneas de producción, 5. Reducción del tiempo ocioso de las máquinas y equipos, 6. Reducción de espacios utilizados, 7. Reducción del tiempo del total del ciclo. Con este sistema se busca el control de costos, pero también influye en la calidad de los procesos.

- **Costeo *backflush***

El sistema de costeo *backflush* es una manera de acumular costos en una organización donde los procedimientos son rápidos en extremo, pues asigna costos a los productos vendidos y a las unidades en inventario final [12]. Este costeo busca reducir al mínimo el tiempo de producción, ello implica que permite manejar tiempos con proveedores y el tiempo de distribución de productos, factores que inciden en el costo directo del producto, en este control participan activamente los empleados debido a que este sistema se basa en el manejo de los tiempos, elemento que afecta directamente el costo.

- **Costeo basado en actividades (ABC)**

Es un sistema de costeo que determina las actividades que generan valor en la producción o en la prestación de un servicio, y mediante la utilización de inductores de costo se obtiene el costo total [13]. Los objetivos de este tipo de costeo es poder obtener información precisa de los costos de las actividades y procesos con lo cual se busca optimizar el uso de los recursos logrando orientar el resultado hacia el posicionamiento del mercado. Se convierte en una medida de desempeño que facilita la mejora de los objetivos y elimina condiciones que no agregan valor. Es una forma de planear costos y gastos con una incidencia positiva en las utilidades debido a que permite ejercer control y reducción de costos y gastos, de esta forma acondiciona para tomar decisiones con un mayor nivel de acierto [9].

- **Costeo por ciclo de vida**

Costos acumulados de las actividades realizadas a lo largo de la vida del producto, incluso antes que inicie su fase de producción [14].

- **Sistemas de costeo híbridos**

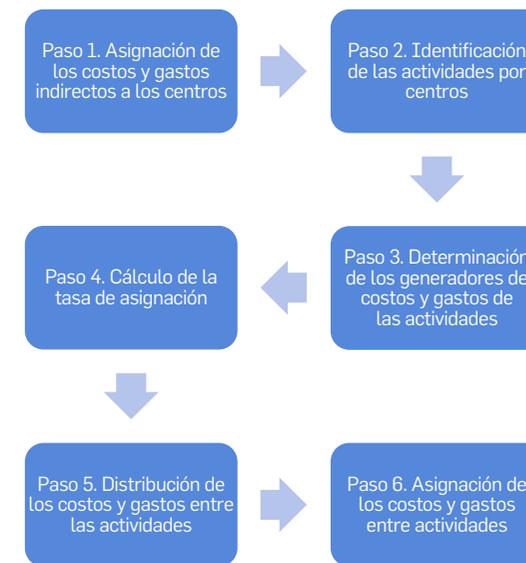
Los sistemas de costeo híbridos son aquellos en los cuales se aplica una metodología que surge como resultado de la integración de sus sistemas de costeo ya existentes.

### 3.2.2.1 Costeo basado en actividades (ABC)

El costeo basado en actividades (ABC) es definido por Torres, Escalante de la O, García y Becerril, como un método que facilita la asignación de recursos a cada una de las actividades realizadas en una organización, con el fin de destinar el costo de estas a los productos o servicios. El costeo ABC permite corregir deficiencias cuando se realiza la comparación de los recursos consumidos frente a los productos finales. Además, Cárdenas [15], explica que los costos fijos y variables se deben conservar separadamente para distinguirlos. Este método está basado en la idea de que los productos o servicios de una empresa surgen a partir de actividades, las cuales a su vez generan costos [16]. El proceso de implementación de costeo ABC, sigue la metodología presentada a continuación en la figura 3.2 [17].

Cárdenas [15], afirma que este modelo de costeo le permite a la alta gerencia reducir el desperdicio por medio de técnicas relacionadas con la administración de la capacidad de producción y el rediseño de los procesos, métodos y prácticas de producción. De igual manera, sirve de apoyo para la toma de decisiones relacionadas con la optimización y el control de recursos proporcionando información para la planeación estratégica. El costeo ABC logra convertirse en una medida de desempeño que permite alcanzar los objetivos de los grupos de interés [18] y, a su vez, se convierte en una herramienta para el seguimiento económico de los costos y la rentabilidad de la organización, tomando como base las actividades [19] sin contar

Figura 3.2. Pasos para la elaboración de un costeo basado en actividades



Fuente: Crisanto [17].

con la exactitud que brinda al momento de asignar los costos [16], eliminando aquellos que no añaden valor al producto.

Según Möller [20], un costo en un sistema basado en actividades puede relacionarse con las actividades cuando existe una relación causa-efecto entre ambos. Otro aspecto a considerar es determinar la manera correcta de repartir un costo entre las actividades buscando un alto grado de exactitud. A partir de esto se determinaron los siguientes inductores de costo para el proceso de operación de una bodega:

- Litros de agua consumidos
- Metros cuadrados utilizados
- Kilowatts consumidos
- Unidades producidas
- Horas de dedicación

La aplicación de estos inductores se destina a las actividades importantes dentro de la operación, y se obvian aquellas cuyos costos son ínfimos o no representativos. Muchas veces la empresa no cuenta con la información detallada de costos, motivo por el cual debe recurrir a estimaciones e información técnica de cada operación o activo.

En su proyecto de grado, Guerrero [21] presenta una propuesta de diseño de una estructura de costos para un portafolio de servicios de ECOPETROL a partir de un costeo basado en actividades (ABC). Para este, fue necesario realizar una caracterización del proceso y actividades involucradas en la ejecución de cada servicio, luego se aplicó la metodología de costeo ABC en donde se definen los elementos de costo y los inductores, lo cuales se presentan en la figura 3.3.

Figura 3.3. Asignación de componentes de costo a centros de costo

Centro de Costos	Actividades	Componente de Costo	Inductor
Actividades Administrativas	Crear orden de trabajo Crear carta de trabajo	Tarifa de 1 técnico de controles	2 H.M.O de 1 técnico de controles
Actividades adecuación y reparación	Limpiar, desarmar e inspeccionar Reemplazar piezas Armar Pintar Embalar	Tarifa de las actividades contratadas Kit de reparación Tarifa de 2 técnicos de controles	Tarifa de cada una de las actividades realizadas en el taller Valor del kit Tarifa de 2 técnicos de controles por 3 días
Calibración	Calibrar	Tarifa de 2 técnicos de controles Banco de pruebas Alquiler de 1 vehículos	H.M.O Técnico de controles Valor día uso de equipo 2 horas empleadas por el vehículo

Fuente: Guerrero, [21].

Finalmente, se fija el precio de ventas de los servicios analizados y se lleva a cabo un diagnóstico financiero con el fin de analizar la viabilidad de cada uno de los servicios.

De igual manera, Navas [22], presenta una investigación enfocada en el desarrollo de un sistema de costos basado en la metodología ABC que busca mejorar el desempeño de la dirección de responsabilidad

integral de Ecopetrol y aumentar la satisfacción del cliente a través de servicios de calidad.

La metodología ABC requiere la definición de elementos de costo y la asignación de inductores para la correcta imputación de los costos asociados. Para ello se determinaron los inductores requeridos con ayuda de funcionarios con conocimiento sobre el proceso a analizar. Como resultado se obtuvo que, para los recursos de personal, se podían establecer las horas hombre requeridas por actividad como inductores de costo.

Para los recursos de viaje se escogieron tres tipos de inductores de la siguiente manera:

- Pasajes aéreos
- Transporte terrestre: número de viajes.
- Viáticos: número de días por viaje.

De la misma manera, para los recursos logísticos se escogieron los inductores de la siguiente manera:

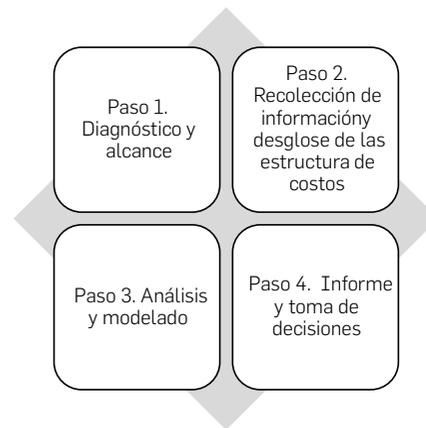
- Equipo de cómputo: horas de uso de equipos
- Vehículo: número de horas por vehículo
- Infraestructura física: área requerida
- Equipos de protección de personal: número de equipos

### 3.2.2.2 Costeo por ciclo de vida

Según la Asociación Española de Normalización y Certificación [23], el ciclo de vida de un activo está determinado desde el momento de su concepción hasta el momento de su disposición final. Berliner y Brimson [14] señalan que son aquellos costos acumulados de las actividades realizadas a lo largo de la vida del producto, incluso antes que inicie su fase de producción. La ISO 15663-1 [24], propone la aplicación del costeo por ciclo de vida para clasificar la conveniencia de opciones cuando cualquier particular del flujo de ingresos no puede estar relacionado con los objetos bajo evaluación. El cálculo de costo del ciclo de vida tiene en cuenta el valor del

dinero en el tiempo aplicado a los costos de incorporación, operación, mantenimiento y desincorporación [25].

Figura 3.4. Costeo por ciclo de vida



Fuente: Norma ISO-15663 [24].

La definición de las partes involucradas en el ciclo de vida varía dependiendo de los autores, por ejemplo, para la ISO 15663-1, las fases del ciclo de vida son *incorporación* (CAPEX) que cubre el gasto de inversión inicial correspondiente, desde el diseño del activo hasta la evaluación del mismo, la ingeniería, construcción y puesta en marcha incluyendo modificaciones hasta que se alcancen las operaciones normales. *Operación y mantenimiento* (OPEX) debe cubrir los costos relevantes durante la vida útil de operación y mantenimiento del activo. El costo debido a pérdidas de producción o capacidad incluyendo la compensación y pérdidas de ingresos. Solo los efectos del activo o sistema específico deben ser considerados. El costo de desmantelamiento debe cubrir los costos relevantes del abandono del activo, si existe una diferencia de costo. Para la norma UNE-EN-60300-3, las fases implicadas en el proceso son: concepción, diseño, desarrollo, fabricación, instalación, operación, mantenimiento y eliminación [23].

Incorporación o adquisición (CAPEX): según [26], algunas veces la modalidad de pago, los descuentos, servicios adicionales de aprovisionamiento, formación, entre otros, pueden provocar costos adicionales derivados de la adquisición del activo. Para esto es necesario establecer un margen de reserva o conjunto inicial de recambios, con el fin de asegurar la disponibilidad deseada. En otros casos, el valor de incorporación o adquisición se calcula como un porcentaje del valor del activo, tomando como referente datos históricos, metodología aplicada en algunos rubros o cuentas en un Centro de Innovación y Tecnología.

Ally y Pryor, realizaron un estudio de ciclo de vida para determinar cuál combustible alternativo empleado en autobuses entregaba el costo mínimo total de propiedad [27]. El modelo utilizó costos reales, en contraposición a los gastos nominales debido a que el uso de estos elimina la incertidumbre asociada con la inflación. Además, una tasa real de descuento del 9 % es aplicada a todos los costos, como una forma de incluir el valor del tiempo en el dinero, pues la evaluación se extiende por 15 años.

Para la selección de variables se tuvo en cuenta que se incluyen autobuses de pila de combustible de hidrógeno (HFCB), tecnologías de autobús híbrido diésel-eléctrico, autobuses de gas natural comprimido (GNC) y diésel convencional. Para cada categoría se obtuvo un valor de adquisición diferente y se estimó un costo de capital esperado por la empresa. Por otra parte, en la operación se tienen en cuenta las variables de combustible y AdBlue.

Pérez y Carrasquilla [25], presentaron un proyecto para la empresa Transistor Nacional, en este caso era necesario decidir entre la modernización o el cambio de un activo eléctrico denominado unidad constructiva (UC). Esta decisión debía generar un aumento en la rentabilidad de los servicios de transmisión de energía. Para la estructura de desglose de costo, en la variable CAPEX, se incluyeron rubros por concepto de compra de bienes, servicios de instalación, compra de predios, licencia ambiental, estudios, entre otros.

Operación (OPEX): incluye dentro de los costos de operación la energía (combustible consumido), los bienes intermedios y el equipamiento (personal), gestión particularizada y la formación de usuarios. Estos costos se entienden como una erogación necesaria, en las que una compañía debe incurrir para poder sacar beneficio de los activos. El grado y modo de utilización desempeñan un papel fundamental [26].

El estudio presentado por Ristimaki, Saynajoki, Heinonen, y Junnila, se centra en el diseño del ciclo de vida de un sistema energético de distrito para un nuevo desarrollo residencial en Finlandia [28]. En este estudio se analizaron los costes del ciclo de vida, es decir, la "viabilidad" de diferentes sistemas energéticos a través de un marco metodológico de ciclo de vida.

En la investigación se definieron las fases de operación, mantenimiento y sustitución del activo, relacionando como única subdimensión de la fase de operación el costo por consumo de energía. Para la fase de mantenimiento y sustitución se definieron costos de 35 actividades relacionadas las cuales fueron extraídas de un trabajo realizado por Kiiras *et al.* [29].

Mantenimiento (OPEX): hace referencia a los costos necesario para conservar los productos (activos) en buen estado de funcionamiento. El mantenimiento puede ser correctivo o preventivo. El costo de mantenimiento es el más significativo después del costo de incorporación, y a causa de la falta de datos relacionados con los procesos de mantenimientos, los costos en este tema no suelen ser muy precisos [26]. El cual se puede estimar de acuerdo a las especificaciones técnicas de falla de los activos.

Según Sarmiento y Peñaranda, los costos de mantenimiento para el análisis de ciclo de vida del sistema de compresión de gas *lift* de la superintendencia de operaciones de Putumayo se definen como los costos generados por mano de obra y repuestos relacionados con mantenimientos preventivos, los cuales fueron entregados por la estación provincia de ECOPETROL S.A. donde se encuentran equipos objeto de estudio [4]. Adicionalmente, se define un costo por

*overhaul* que son costos de reparaciones generales de equipos, los cuales no se incluyen en los costos de mantenimiento. Por su parte, Santamaría de la Cruz presenta diferentes posibles inductores de costo para realizar la imputación de los mismos a un proceso de mantenimiento [5]:

- Área operativa.
- Equipos o conjuntos.
- Familia de equipo.
- Partes de equipo.
- Causa de falla.
- Tipo de trabajo.
- Origen del trabajo.
- Por asignación contable de los consumos del repuesto.
- Oficios o especialidades y por especialistas.
- Por intervención a componentes.
- Causa de falla (síntoma y acción tomada).
- Área de responsabilidad.
- Zona geográfica.
- Cuadrilla.
- Períodos de tiempo.
- Sistemas o subsistemas.

La gestión de costos tiene como objetivo optimizar las cantidades de mano de obra, materiales y paradas, plantea compromisos que reflejen una buena relación costo-beneficio en el área de mantenimiento y que a su vez tengan distintos puntos de comparación.

Desincorporación: este concepto incluye la suspensión de uso de un activo. En otras palabras, se trata del costo de eliminación o recuperación. Este costo está tomando gran importancia en la actualidad debido al impacto que genera en el costo total de un activo [26]. Según Sarmiento y Peñaranda [4], la definición de la variable de desincorporación, para las alternativas se manejan de acuerdo al ciclo de vida evaluado para los activos, el cual es de 10 años, y debido al tiempo de operación de los mismos se considera que están totalmente depreciados. Estos activos no serán vendidos y serán puestos en función de otras facilidades que necesiten equipo de apoyo.

La evaluación de los costos mencionados para las alternativas de sustitución del sistema de gas *lift*, permitió obtener como resultado una propuesta que cumpliera con los objetivos propuestos

Pastor [30], indica que para realizar de manera fiable la estimación para el costeo por ciclo de vida, esta debe realizarse de manera artesanal utilizando una gran cantidad de recursos y tiempo. En aquellos casos en que no se disponga de recursos o tiempo para solventarlo se puede recurrir a parámetros (por ejemplo, aquellos que nos dan el costo de ciclo de vida en función de los costes de adquisición).

### 3.2.2.3 Sistemas de costeo híbridos

Según Hansen y Mowen, este tipo de sistemas de costeo tienen como característica principal que surgen a partir de la mezcla de metodologías y características de dos o más sistemas de costeo ya desarrollados [31]. Existen sistemas de costeo denominados híbridos que se basan en el uso del costo real para el manejo de materia prima, del costeo estándar para el manejo de la mano de obra y del costeo predeterminado para el cálculo de los costos indirectos [1].

## 3.3 Metodología

### 3.3.1 Características metodológicas

El proceso de investigación desarrollado tiene un alcance descriptivo concluyente, en el cual se busca realizar una descripción del proceso de costeo por ciclo de vida de una planta piloto y un laboratorio ubicados en las instalaciones de un Centro de Innovación y Tecnología, y sus aspectos más importantes con el fin de formular una herramienta teórica general que permita, en un estudio futuro, observar las variaciones de los costos generados por el proceso de I+D en dicho centro del sector *oil & gas* y el impacto en la organización, especialmente en el área de mantenimiento.

La importancia de este proceso también se ve reflejado en la posible extrapolación del modelo desarrollado para empresas en las que

el área de mantenimiento tenga un gran impacto en su estructura de costos. El tipo de diseño en el que se clasifica la investigación es el mixto no experimental ya que se realiza sin manipular deliberadamente las variables y los fenómenos son observados en su ambiente natural para posteriormente ser analizados, transeccional o transversal ya que se realiza en el periodo correspondiente al primer y segundo semestre del año 2017.

### 3.3.2 Fases del proceso de investigación

La metodología implementada fue organizada en cuatro fases:

#### Revisión bibliográfica

Un proceso de revisión de la literatura genera un punto de vista adecuado para observar a fondo, analizar y estructurar la base para una investigación. Este proceso ayuda en la identificación de conceptos teóricos y prácticos en un área específica de conocimiento, generando una guía para el desarrollo de nuevos conceptos. Se definieron los tipos de sistema de costeo como conceptos principales a analizar, tomando como base libros, artículos de investigación, tesis doctorales y de maestría. El proceso de recolección del material bibliográfico se desarrolló utilizando bases de datos académicas como Google-scholar ([www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com)), Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), Science Direct ([www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)) y EBSCO HOST ([www.ebsco.com](http://www.ebsco.com)) utilizando las palabras clave costos y sistemas de costeo. Una vez identificados los sistemas de costeo a estudiar, se inicia la búsqueda de cada uno por su nombre.

#### Revisión de la situación actual de la empresa

Se lleva a cabo la revisión o diagnóstico de la empresa a través de dos subfases. La primera, está enfocada en un diálogo continuo con personal de apoyo en el área contable de la organización. Para ello, fue necesario generar una serie de inquietudes sobre las cuales se quería obtener información detallada, estas inquietudes surgieron a partir de los antecedentes de implementación de sistemas de costeo estudiados, esto con el objetivo de poder

contrastar las técnicas utilizadas en la empresa con las implementadas en otras organizaciones.

Una vez se tuvieron claro los aspectos que se querían conocer, se concertaron reuniones continuas a lo largo del año en que se desarrolló el proyecto, en las cuales se iban abordando los temas a tratar. La dinámica de las reuniones consistía en realizar una pregunta que era contestada a través de un relato apoyado, en ocasiones, por gráficas. A medida que estas explicaciones avanzaban, surgían más preguntas de temas que no habían sido contemplados. El registro de la información suministrada se realizó a través de grabaciones de voz, toma de apuntes y lista de pendientes para los cuales se generaban compromisos de entrega de información. La segunda subfase consistió en visitas de campo a la planta piloto y al laboratorio objeto de estudio. Se pudo conocer de manera general el funcionamiento de la planta y del laboratorio, las personas involucradas en el proceso, el objetivo de los estudios realizados en ellos, los activos que tenían a disposición y se tuvo acceso a los manuales de uso de los activos que se analizarían específicamente, así como el manual de uso de la planta.

De los manuales mencionados se pudo extraer información relacionada con consumo de energía, consumo de agua, periodos sugeridos de mantenimiento, tiempo de funcionamiento e insumos requeridos, lo cual facilitaría la identificación de las subdimensiones para las fases de operación y mantenimiento y la construcción de los inductores de costo. Debido a la gran cantidad de información, procesos y políticas manejadas por la organización, el proceso de diagnóstico fue iterativo y se iban observando nuevos aspectos que debían ser analizados para determinar si eran tomados en cuenta o no y su implicación en el modelo.

### **Identificación, comparación y elección de los sistemas de costeo**

Una vez obtenidos los resultados de las fases anteriores, se analizaron cuáles eran las características y necesidades principales para la implementación de un sistema de costos que cumpliera con los

objetivos que tiene la organización. Para ello se determinaron criterios puntuales a analizar, entre los cuales se encuentran:

- a. Integralidad del sistema de costeo.
- b. Grado de detalle del cálculo.
- c. Relación entre el sistema y las características de la empresa.
- d. Facilidad para implementación (metodología).

Teniendo claros los aspectos a analizar, se realizó una discusión en la que se expusieron las ventajas y desventajas de los sistemas de costo analizados, teniendo en cuenta la experiencia, experticia y conocimientos complementarios que tienen los integrantes del grupo de acuerdo con su vida profesional. Adicionalmente, fue necesario incorporar los aspectos obtenidos del proceso de diagnóstico, porque a través de él se podía observar cuáles eran las facilidades y limitaciones de la organización respecto a la implementación o prueba de un nuevo sistema de costeo. Para complementar el análisis se toma como referencia aquellos sistemas de costeo que estén avalados por normas técnicas u organizaciones internacionales, ya que estos brindan un nivel de confiabilidad mayor.

La elección del modelo de costos se da como resultado de la integración de puntos de vista y objetivos planteados por el equipo de trabajo y un Centro de Innovación y Tecnología. Se define que es necesario aplicar un sistema de costeo donde se analice el ciclo de vida de un activo, a partir de esto se observa que para lograr un modelo que se acerque a la realidad del costo del activo y se cumpla con las expectativas planteadas es necesario integrar un sistema de costeo complementario y así generar un modelo híbrido.

### **Construcción del modelo**

La construcción del modelo del sistema de costos ajustado a las necesidades de la empresa, es la recopilación de las fases mencionadas anteriormente enfocadas hacia el objetivo organizacional de la compañía. Para ello, fue necesario identificar que la variable objeto de estudio sería el costo del ciclo de vida de un activo. La elección de la variable se da tomando en cuenta el sistema de costeo por ciclo

de vida, el cual propone analizar cada una de las fases del ciclo de vida del mismo. Posteriormente se reunió información relacionada con características técnicas, vida útil, tratamiento dado a los activos por parte de la organización, lo cual se tomó como base para el desglose de la estructura de costos.

Otro de los aspectos relevantes fue la identificación y elección de los inductores de costo requeridos para las subdimensiones cuyos costos son manejados de manera global por la organización. La elección de los inductores se llevó a cabo analizando la relación de correlación, la cual indica la relación causa-efecto entre el consumo de recursos, la actividad y el producto o servicio.

Finalmente, fue necesario determinar una expresión matemática que permitiera cuantificar de manera precisa el costo del ciclo de vida del activo, relacionando cada una de las subdimensiones y el valor del dinero en el tiempo. La norma ISO15663 y Yáñez, Agüero, Acevedo y Semeco [32] proponen, por separado, una expresión matemática para el cálculo del costo del ciclo de vida. Analizadas las dos, se llegó a la conclusión que la expresión propuesta por Yáñez *et al.* [32] se ajusta de mejor manera a las necesidades del proyecto ya que permite incorporar fácilmente costos transferidos, genera mayor claridad sobre el cálculo hecho y permite efectuar modificaciones en caso de realizar un análisis en cualquier año de vida útil del activo.

## 3.4 Resultados

### Revisión de la bibliografía

Se analizaron los títulos y resúmenes de 70 artículos considerados importantes y de relevancia para el estudio, los cuales fueron analizados a profundidad, se observaron los diferentes puntos de vista de cada uno de los autores respecto a los temas a estudiar. De este análisis final se escogieron 37 documentos bibliográficos los cuales fueron incluidos debido a su contribución e importancia para el estudio de los sistemas de costos. A partir de esto, se realizó una

extracción de conceptos haciendo énfasis en la definición y metodología de cada sistema de costeo integrando los puntos de vista de los diferentes autores escogidos.

El proceso de revisión bibliográfica de los distintos sistemas de costeo existentes permitió obtener las características, ventajas y desventajas que cada uno presenta. Esto dio como resultado el desarrollo de un modelo híbrido a partir del costeo por ciclo de vida y el costeo basado en actividades, el cual se ajusta a las necesidades del proyecto y a las proyecciones de costeo de un Centro de Innovación y Tecnología.

### Revisión de la situación actual de la empresa

El sistema de imputación de costos utilizado actualmente por un Centro de Innovación y Tecnología corresponde a un costeo por procesos o departamentos. Actualmente, se maneja un rubro denominado recursos de inversión el cual hace referencia a los recursos asociados a la compra o adquisición de activos para desarrollo de actividades de investigación y desarrollo. La adquisición de activos genera, a futuro, costos de operación, mantenimiento y desincorporación, aunque en la actualidad el costo de desincorporación no se ve reflejado plenamente en el sistema contable y no se cuenta con una política específica de desincorporación para activos de investigación y desarrollo establecida.

Costos como los seguros de operación, servicios públicos e implementación de sistemas de seguridad y salud en el trabajo son cargados globalmente, es decir, que se encuentran en SAP como un valor cargado a la gerencia correspondiente, pero no se encuentran discriminados para cada centro de costos. Respecto a los costos de la actividad de mantenimiento, se pudo identificar que se realizan mantenimientos preventivos y correctivos. Los costos directos de dicho proceso son cargados al departamento de mantenimiento, es decir, costos de materia prima y costos de mano de obra relacionados, por otra parte, los costos indirectos de mantenimiento son cargados al departamento de Dirección general. Otro aspecto a destacar es el manejo de los costos, a través del software SAP, mediante

la utilización de centros de costos específicos, esto facilita el acceso a la información y organiza la manera de imputar los costos.

En el caso específico de un Centro de Innovación y Tecnología, se ha podido observar que la implementación del costeo por procesos o departamentos permite el manejo de los costos de cada gerencia, que en su mayoría se asignan de forma global y a través de un porcentaje son asignados a cada laboratorio. Lo anterior, genera dificultad al momento de analizar el costo detallado de cada actividad relacionada a un laboratorio específico. Este sistema de costeo es considerado por los funcionarios como básico para el manejo de los costos teniendo en cuenta el volumen de proyectos que se ejecutan.

### **Identificación, comparación y elección de los sistemas de costeo**

El costeo por ciclo de vida proporciona criterios que facilitan la toma de decisiones en cualquiera de las fases del ciclo de vida de los activos. Por su parte, el costeo basado en actividades proporciona mayor precisión al momento de asignar los costos, debido a que se realiza por medio de inductores de costo. Ambos sistemas manejan información detallada y un análisis del comportamiento de los costos. Sin embargo, ambos modelos tienen en cuenta costos futuros, los cuales se basan en estimaciones y generan cierto riesgo en la exactitud y confiabilidad del sistema. Por esta razón, los inductores de costo se vuelven fundamentales en el desarrollo de ambos modelos, pues permiten asegurar la correcta asignación de los costos.

Al plantear un modelo híbrido entre el costeo por ciclo de vida y el costeo basado en actividades se busca que este logre adaptarse a las necesidades de la organización y que sea lo suficientemente preciso para representar todas las variables que afectan la vida útil de un activo. También surge como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones al momento de realizar la incorporación y desincorporación de un activo teniendo en cuenta los costos en los que se pueden incurrir.

### **Construcción del modelo**

Una característica a destacar es que la identificación de las variables relacionadas con cada etapa del ciclo de vida varía dependiendo del activo, del tipo de organización y su actividad, lo cual conlleva a que las posibles variables identificadas para un Centro de Innovación y Tecnología, serán diferentes para otra empresa que desee aplicar este sistema de costeo.

Adicionalmente, se determinaron las variables de incorporación, operación, mantenimiento y desincorporación, las cuales facilitarán el desarrollo de un análisis cuantitativo de los costos de los activos que permita formular estrategias para un correcto manejo de los costos involucrados. Algunas variables que se pueden añadir al modelo son presentadas a continuación, sin embargo, estas pueden cambiar de acuerdo a las necesidades de cada compañía.

#### Variables de incorporación

- Costo de adquisición del activo.
- Costo de operador logístico para la importación del activo.
- Costo de gestión para la incorporación del activo (comités).
- Costo de pruebas.
- Costo del proceso de compras.

#### Variables de operación

- Costo de mano de obra operativo.
- Costo de mano de obra supervisores.
- Costo de depreciación.
- Costo seguro de operación.
- Costo de insumos.
- Costo de servicios públicos.
- Costo del contrato para operar.

#### Variables de mantenimiento

- Costo de contratos de mantenimiento.

- Costo de calibración de equipos.
- Costo de materiales, partes y repuestos.

#### Variables de desincorporación

- Contrato de operación logística inversa.
- Costo de análisis técnicos para la desincorporación.

#### Variables asociadas con los costos transferidos

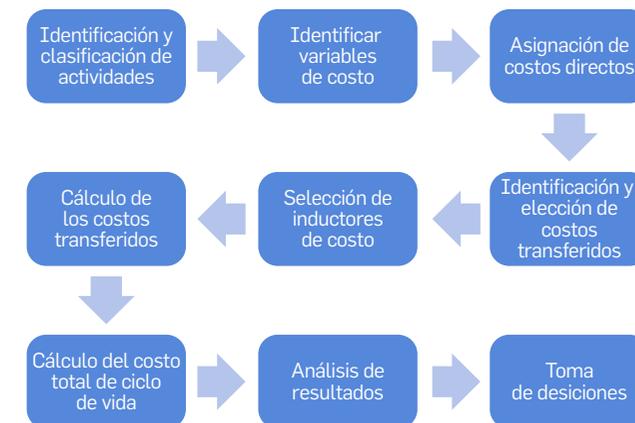
- Costo de sistemas integrados de gestión de calidad, seguridad integral y ambiental.
- Costo de salarios administrativos.
- Costo de vigilancia y aseo.
- Costo planta de tratamiento de agua.
- Depreciación de planta física.

La metodología propuesta para la aplicación del sistema de costeo se basa en los siguientes pasos, los cuales fueron adaptados de la metodología de costeo basado en actividades con el costeo por ciclo de vida:

1. Identificar cada una de las actividades que realiza la empresa con el fin de relacionarlas con los objetos de costos y a su vez clasificarlas en las fases del ciclo de vida ya planteados, de igual manera es necesario identificar la vida útil del activo y la tasa de descuento que se aplicara
2. Identificar los costos en los que incurren las actividades identificadas en el paso 1.
3. Asignar los costos directos a cada una de las fases del costo del ciclo de vida, con el fin de obtener el costo total de cada ciclo.
4. Identificar y seleccionar los costos transferidos de acuerdo a las actividades que no están relacionadas directamente con la planta objeto de estudio.
5. Seleccionar los inductores de costo para costos indirectos que son útiles para la distribución o asignación de los recursos a las actividades.

6. A partir de los inductores escogidos, calcular los costos de las actividades según el consumo de recursos de estas.
7. Sumar los costos totales de cada una de las fases para obtener el costo total del ciclo de vida.
8. Realizar un análisis de resultados de acuerdo a los objetivos planteados por la organización.
9. Toma de decisiones.

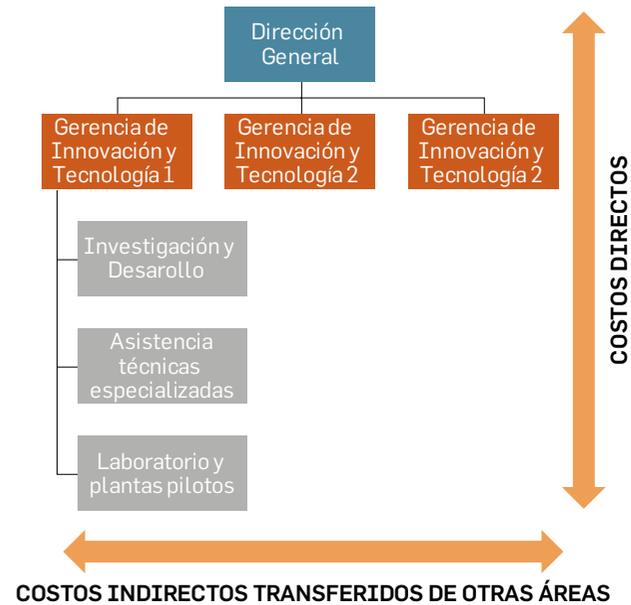
Figura 3.6. Metodología para aplicación de sistema de costos



En todas las organizaciones existen costos que surgen a causa de la actividad de cada área o proceso desarrollado, estos son llamados costos directos, pero existen costos que surgen de procesos de apoyo a las actividades principales de la organización, los cuales no son imputados directamente a cada departamento y son llamados como costos indirectamente transferidos. La figura 3.7 muestra de manera gráfica un ejemplo de cómo es el comportamiento de los costos en cada área de un Centro de Innovación y Tecnología.

Por este motivo, el modelo de costos planteado utiliza inductores de costo, propios de la metodología basada en actividades, para realizar la correcta imputación de los mismos a cada área o actividad

Figura 3.7. Comportamiento de los costos en cada área de un Centro de Innovación y Tecnología



de la organización que corresponda. La necesidad de cuantificar el costo del ciclo de vida del activo genera el desarrollo de una expresión matemática que permite obtener un valor preciso que pueda ser analizado y controlado por la organización. Por este motivo, el modelo está representado mediante la ecuación matemática, en donde se calcula el costo de cada una de las fases a través de los costos que la componen, es decir, sus subdimensiones:

$$CCV = \sum_{i=1}^m (\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^o C_{kji} / (1+r)^j + \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^o O_{kji} / (1+r)^j + \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^o M_{kji} / (1+r)^j + \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^o D_{kji} / (1+r)^{n+1} + \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^o CT_{kji} / (1+r)^j)$$

[1]

CCV: costo del ciclo de vida

C: costos de incorporación de las subdimensiones "k" en el año "j" para el activo "i"

O: costos de operación de las subdimensiones "k" en el año "j" para el activo "i"

M: costos de mantenimiento de las subdimensiones "k" en el año "j" para el activo "i"

D: costos de desincorporación de las subdimensiones "k" en el año "j" para el activo "i"

CT: costos transferidos de las subdimensiones "k" en el año "j" para el activo "i"

r: tasa de descuento

m: total de activos en el laboratorio o planta piloto

n: vida útil del activo

o: total de subdimensiones que contiene la fase del ciclo de vida

i: cualquier activo del laboratorio o planta piloto

j: cualquier año en la vida del activo

k: cualquier subdimensión de la fase del ciclo de vida

El factor de descuento (r) según las NIIF es una tasa antes de impuesto que refleja las evaluaciones actuales del mercado, relacionadas al costo del dinero en el tiempo. En este caso corresponde al costo de capital de los recursos financieros de un Centro de Innovación y Tecnología [33].

La vida útil de un activo según las NIIF se define como "el periodo durante el cual se espera que un activo esté disponible para su uso por una entidad o el número de unidades de producción o similares que se espera obtener del mismo por parte de la entidad" [33].

### 3.5 Discusión de los resultados

La elección de los sistemas de costeo basado en actividades y costeo por ciclo de vida, y el posterior planteamiento del sistema de costeo híbrido que integra características de los dos, está diseñado con el objetivo de estar acorde con el dinamismo de la industria de hidrocarburos. Es claro que los sistemas de costeo tradicionales fueron desarrollados para empresas y sistemas de producción específicos que carecían del dinamismo, tecnología y sistemas de información con la que cuentan las empresas actualmente, por este

motivo el desarrollo de sistemas híbridos representa una ventaja para ese tipo de organizaciones modernas.

El desarrollo del sistema de costeo requirió de un proceso de diagnóstico de la organización, en el cual se determinó la necesidad de tener un conocimiento detallado de la misma, sus actividades principales y secundarias, sus falencias en los procesos de imputación de costos y las políticas en el manejo de los costos de cada actividad. También, era necesario tener claro cuáles eran los objetivos que persigue la empresa con el fin de potenciar aquellos aspectos positivos extraídos del diagnóstico y reevaluar o reenfocar aquellos que se observaban como débiles. Dadas estas circunstancias se planteó un modelo que tiene como fin observar los costos generados por un activo desde la identificación de la necesidad del mismo, es decir, desde la etapa de incorporación, hasta su desincorporación de la organización.

Se dio la elección del modelo matemático para el costeo del ciclo de vida propuesto por la norma ISO 15663, debido a que es posible obtener valores precisos y representar cuantitativamente el ciclo de vida de las plantas piloto y equipos de una manera integral a través de sus costos. Además, por medio de la ecuación matemática es posible analizar de manera detallada cuál de las etapas del ciclo genera un mayor costo, caso contrario de otros modelos que no permitían observar esto tan claramente. Adicionalmente, la elección del sistema de costeo basado en actividades para los costos transferidos se debe a los criterios de asignación empleados por este modelo, el cual busca una mayor precisión y la identificación de actividades que no generan valor añadido a la organización.

Tomando como base los resultados observados en los antecedentes de casos de aplicación del costeo por ciclo de vida, se puede observar que la construcción e implementación del mismo puede variar. Ristimaki, Saynajoki, Heinonen y Junnila, afirman que la construcción de un modelo de costos que tenga en cuenta el ciclo de vida se divide en dos fases: la construcción y aplicación, las cuales resumen de manera general las cuatro fases planteadas por el modelo propuesto en el artículo, donde la construcción hace referencia a los

costos de incorporación y la aplicación hace referencia a los costos de operación, mantenimiento y desincorporación [28].

El enfoque dado a las subdimensiones varía de acuerdo a los activos y a la organización a la que se le aplicará el costo por ciclo de vida. De igual manera, presentan un análisis para un nuevo diseño del sistema de energía del distrito residencial, por lo tanto las subdimensiones de operación y mantenimiento están estrechamente relacionadas con aspectos de consumo energético, a diferencia de un modelo planteado para la industria de *oil & gas* en donde el enfoque es totalmente diferente, de allí, la necesidad de una relación estrecha de las personas responsables del diseño del modelo con las actividades que desarrolla cada organización por cuanto esto genera como resultado el nivel de precisión óptimo del modelo en el cálculo del ciclo de vida de acuerdo a las condiciones actuales.

Ally y Pryor presentan las mismas variables o subdimensiones para cada una de las fases del ciclo de vida, ya que, en este caso, la aplicación del sistema de costeo busca determinar cuál es la mejor opción relacionada con sistemas de transporte de autobús en Australia [27]. Por este motivo, los autores determinaron que únicamente requerían estas subdimensiones, ya que con ellas se podía llegar al objetivo planteado. Esto permite concluir que la definición de objetivos específicos para la implementación del costeo por ciclo de vida, condiciona directamente la construcción del mismo y el nivel de detalle requerido en el proceso de estructuración de las subdimensiones.

Debido a la cantidad de información disponible, Sarmiento y Peñaranda plantean la subdimensión de pérdidas por disponibilidad y confiabilidad las cuales estiman pérdidas no planeadas inherentes a la posibilidad de fallo de cada alternativa en función de determinar los costos por fallos imprevistos [4]. El modelo de costos planteado en este artículo tiene como objetivos, a futuro, incluir costos que se relacionen con la tasa de fallo de un activo, niveles de disponibilidad y demás aspectos relacionados con el mantenimiento de los activos. No fue posible la incorporación de esta subdimensión en el

modelo actual ya que la organización se encuentra en una fase de construcción de la misma.

En la fase de desincorporación se tiene presente el concepto de logística inversa, ya que los activos, o sus partes, son utilizados en actividades que necesiten de equipo de apoyo y por esta razón no son vendidos al finalizar su vida útil.

Sarmiento Peñaranda no toman en cuenta costos transferidos indirectamente que afectan el activo objeto de estudio, estos costos tienen implicación sobre el costo total del ciclo de vida por cuanto existen operaciones transversales en la organización que son necesarias para el correcto funcionamiento del activo, aunque los modelos teóricos planteados no los tomen en cuenta [4].

### 3.6 Conclusiones

Los sistemas de costeo tradicionales, en muchos casos no presentan de manera integral el costo de los activos a lo largo de su ciclo de vida en una organización y esto le impide a la organización tomar decisiones apropiadas de acuerdo con la situación de la misma, por este motivo surge el sistema de costeo híbrido para dar solución a este problema.

El costeo híbrido no se debe definir como una metodología específica, ya que esta surge de la combinación de dos o más metodologías acordes a las necesidades y objetivos de la organización. La estructuración de un sistema de costeo híbrido permite obtener información más completa respecto a los costos incurridos por cuanto el modelo se adapta bien al sistema de producción implementado por la empresa o al tipo de prestación de servicio desarrollado, adicionalmente permite ejercer un mayor control sobre los costos e implementar un sistema de mejoramiento continuo.

El sistema de costeo propuesto genera una desventaja cuando se presenta un desconocimiento del modelo de ciclo de vida de un activo y el proceso de integración del mismo crea una dificultad en la

implementación por la estructura de los sistemas de información en la clasificación de las cuentas contables. Sin embargo, este brinda una visión real de los costos en los que incurre la empresa en cada uno de sus departamentos o actividades a lo largo del ciclo de vida de los activos, también se convierte en un soporte para la toma de decisiones y en una forma de analizar los costos de manera detallada y minuciosa.

La implementación del sistema de costeo se debe realizar de manera gradual debido al tamaño de la empresa y a la robustez de la información manejada. Los resultados de la implementación del sistema de costeo pueden variar en cada una de las empresas, y esto depende de las necesidades y restricciones que se presenten.

### Referencias

- [1] C. Horngren, G. Foster y S. Datar, *Contabilidad de Costos: Un enfoque gerencial*, Decima ed., Ciudad de México: Pearson Educación, 2002.
- [2] M. I. Duque, L. F. Gómez y J. A. Osorio, "El costeo híbrido: La mezcla entre tradición e innovación en la aplicación de metodologías de costeo," Trabajo de grado, Contaduría Pública, Universidad de Antioquia, Medellín, 2009.
- [3] A. Bierer, U. Gotze, L. Meynerts y R. Sygulla, "Integrating life cycle costing and life cycle assessment using extended material flow cost accounting," *Journal of cleaner Production*, vol. 108, pp. 1289-1301, 2015.
- [4] L. C. D. Sarmiento y C. Á. T. Peñaranda, Análisis de costos de ciclo de vida del sistema de compresión de gas lift de la Superintendencia de operaciones en Orito Putumayo, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander, 2010.
- [5] A. Santamaría De La Cruz, "Gestión de Repuestos de gastos e inversión on base en análisis de costo de ciclo de vida," *Revista Club de mantenimiento*, pp. 2-6, 2006.
- [6] G. Sinisterra, *Fundamentos de contabilidad financiera y de gestión*, Cali: U. del Valle, 1997.
- [7] A. L. Vaca, Los sistemas de costeo: bases y metodologías, *Contexto, Revista de investigaciones*, vol. 1, no. 1. 2012.

- [8] M. Duque, J. Osorio y D. Agudelo, "Análisis de la aplicación del sistema de costeo estándar en las empresas manufactureras colombianas," *Revista del Instituto Internacional de Costos*, abril, 2012.
- [9] P. Zapata Sánchez, *Contabilidad de costos. Herramientas para la toma de decisiones*, 2da Edición ed., Bogotá: Alfaomega, 2015.
- [10] M. Aquieta y L. Parreño, *Caracterización del Sistema de Costos por procesos en la Empresa Productos Lácteos Bayamo.*, Cuba: Universidad de Granma, 2013.
- [11] L. Gayle, *Contabilidad y administración de costos*, Ciudad de México: McGraw - Hill. Sexta edición, 1999.
- [12] A. Vianey, G. Marlem, H. Sandra, U. Paulina y Z. Zeidy, *Análisis de los métodos de costeo tradicional - ABC*, Ciudad de México: Instituto Politécnico Nacional, 2012.
- [13] A. Torres, M. Escalante de la O, H. Garcia y A. Becerril, *Contabilidad de costos: Análisis para la toma de decisiones*, Ciudad de México, McGraw-Hill, 2002.
- [14] C. Berliner y J. A. Brimson, *Cost Management for Today's Advanced Manufacturing*, Boston: Harvard Business, 1988.
- [15] R. A. Cárdenas, *Administración de costos: Métodos modernos de costos y manufactura*, Ciudad de México : McGraw-Hill Interamericana, 2006.
- [16] Y. Crespo, *El costeo ABC y su aplicación en la determinación de los costos por productos.*, Guayaquil: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil, 2016.
- [17] B. Crisanto, "Elaboración de un sistema de costeo basado en actividades para el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Universidad de Piura," Tesis de pregrado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Piura, Perú, 2016.
- [18] J. Patiño y M. Zuña, "Propuesta de un sistema de costos ABC y análisis de sus beneficios en las empresas del sector turístico de la provincia del Azuay, periodo 2015. Caso práctico: Empresa Parque Acuatico Azulplanet CIA. LTDA. del Canton Gualaceo.," Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Universidad de Cuenca., Cuenca, 2017.
- [19] R. S. Kaplan y R. Cooper, *Coste y Efecto*, Barcelona: Gestión 2000, 1999.
- [20] G. Möller, "El sistema de costes basado en las actividades (ABC), Implantación en una bodega," Tesis de pregrado, Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, Universidad de Valladolid, Valladolid, 2011.
- [21] C. H. Guerrero, "Diseño de la estructura de costos para un portafolio de servicios industriales de la gerencia de oleoductos de ecopetrol a partir de un sistema de costeo ABC," Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2005.
- [22] L. J. A. Navas, "Diseño y aplicación de un modelo de costos para la dirección y responsabilidad integral de ECOPETROL S.A.," Tesis de pregrado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2007.
- [23] Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE-EN 60300-3-3,» de *Norma Española*, Madrid: AENOR, 2009.
- [24] International Standard Organization, *ISO 15663-1, Petroleum and natural gas industries - Life cycle costing.*, ISO, 2000.
- [25] A. Pérez Gelvez y E. Carrasquilla Franco, "Costeo del ciclo de vida de un activo: Proyecto unidad constructiva," Tesis maestría en Administración, EAFIT, Medellín, 2013.
- [26] C. Gormand, *Controlar el costo de un producto. El costo del ciclo de vida*, Madrid: AENOR, 2001.
- [27] J. Ally y T. Pryor, "Life cycle costing of diesel, natural gas, hybrid and hydrogen fuel cell bus systems: An Australian case study," *Energy Policy*, vol. 94, pp. 285-294, 2016.
- [28] M. Ristimaki, A. Saynajoki, J. Heinonen y S. Junnila, "Combinin life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district enery system desing," *Energy*, vol 63, pp. 168-179, 2013.
- [29] J. Kiiras, J. Hyartt, A. Saari y J. Kammonen, *Property Maintenance Expenses in Finland 1992* Helsinki University of Technology, 1993.
- [30] J. Pastor , "Procedimiento de estimación del coste del ciclo de vida de un sistema de armas en España," Tesis doctoral, Universidad Nacional de Educación a Distancia, España, 2015.
- [31] M. Mowen y D. Hansen, *Administración de costos: Contabilidad y control, Quinta edición*, Ciudad de México: Cengage Learning, 2007.
- [32] M. Yañez, M. Agüero, M. Acevedo y K. Semeco, "Análisis económico del ciclo de vida de activos," s.f, pp. 129-150.
- [33] Consejo de Normas Internacionales de Contabilidad (IASB), *Norma Internacional de Información Financiera para pequeñas y medianas entidades*, Londres: IASCF Publications Department, 2009, p. Sección 21.



# Capítulo 4

## Parametrización de la severidad de los tipos de fallo para ocho plantas piloto en un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*

Maryory Patricia Villamizar León<sup>1</sup>, Alfonso Santos Jaimes<sup>2</sup>, Juan Carlos Villamizar Rincón<sup>3</sup>, Marcela Villa Marulanda<sup>4</sup>, Omar Pinzón Ardila<sup>5</sup>, Silvia Alejandra Sotelo López<sup>6</sup>, Pedro Nel Jaimes Jaimes<sup>7</sup>, Carlos Alfonso Mejía Rivera<sup>8</sup>, Henry Yitzhak Acosta Carrascal<sup>9</sup>, Orlando José Espinosa López<sup>10</sup>, Juan Felipe Moreno Caballero<sup>11</sup>, José Luis Mojica Estrada<sup>12</sup>, Yeirleth Liliana Sánchez Cancela<sup>13</sup>, Jorge Andrés Roa Jeréz<sup>14</sup>, Rossvan Johan Plata Villamizar<sup>15</sup>, Carlos Eduardo Martínez Arias<sup>16</sup>, Héctor Julio Picón Hernández<sup>17</sup>, Carlos Andrés González Sánchez<sup>18</sup>, David de Jesús Pérez Martínez<sup>19</sup>

<sup>1</sup> Líder Técnico UPB. Correo electrónico: maryory.villamizar@upb.edu.co

<sup>2</sup> Investigador UPB. Correo electrónico: alfonso.santos@upb.edu.co

<sup>3</sup> Investigador UPB. Correo electrónico: juan.villamizar@upb.edu.co

<sup>4</sup> Investigadora UPB. Correo electrónico: marcela.villa@upb.edu.co

<sup>5</sup> Investigador UPB. Correo electrónico: omar.pinzon@upb.edu.co

<sup>6</sup> Investigadora UPB. Correo electrónico: silvia.sotelo@upb.edu.co

<sup>7</sup> Investigador UPB. Correo electrónico: pedro.jaimes@upb.edu.co

<sup>8</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: carlosalfonsomejiaivera@gmail.com

<sup>9</sup> Profesional en Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: henryyacostac@gmail.com

<sup>10</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: ortlandojespinoso@gmail.com

<sup>11</sup> Profesional en Ingeniería Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: jf.art@hotmail.com

<sup>12</sup> Profesional en Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: mojjk72@gmail.com

<sup>13</sup> Profesional en Ingeniería Mecánica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: lilianacancela10@gmail.com

<sup>14</sup> Profesional en Ingeniería Electrónica, Universidad Pontificia Bolivariana. Correo electrónico: jorgeroa.jerez@gmail.com

<sup>15</sup> Líder Técnico, ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: rossvan.plata@ecopetrol.com.co

<sup>16</sup> Investigador, ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: carlos.martinez@ecopetrol.com.co

<sup>17</sup> Investigador, ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: hector.picon@ecopetrol.com.co

<sup>18</sup> Investigador, ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: carlosan.gonzalez@ecopetrol.com.co

<sup>19</sup> Investigador, ICP - Ecopetrol. Correo electrónico: davidje.perez@ecopetrol.com.co



## Resumen

El propósito de la investigación es parametrizar la severidad de los tipos de fallo priorizados en los activos I+D relevantes para ocho plantas piloto (casos de estudio), a partir de la implementación de diferentes metodologías organizadas en tres fases: fase I diagnóstico MES (*Maintenance Effectiveness Survey*), fase II ACR (*Root Cause Analysis*) y fase III FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*). En la fase I se diagnostica el área de mantenimiento de la empresa del sector *oil & gas* a partir de la metodología MES, la cual tiene en cuenta: (i) recursos gerenciales, (ii) gerencia de la información, (iii) equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, (iv) planificación y ejecución, (v) soporte, calidad y motivación, y finalmente, (vi) aspectos técnicos asociados a la confiabilidad. Como resultado se obtiene un 75 % de los casos de estudio en el nivel de “muy buenas prácticas de mantenimiento” y el 25 % restante “clase mundial”, sin embargo, los encuestados expresan deficiencias en ciertas preguntas de las diferentes perspectivas, para las cuales fueron propuestas acciones de mejora.

En este contexto, en la fase II se identifican los posibles tipos de fallo, escogiendo el 80 % de estos teniendo en cuenta su cálculo del riesgo total anual (RTA) para aplicarles el análisis de causa raíz (ACR). Las plantas piloto son asumidas como un único activo para la empresa y, por ende, para la aplicación del ACR. De los once ACR realizados, se llega en un 100 % a nivel de causa raíz, siendo todas estas clasificadas como causa raíz latente. Finalmente, en la fase III, se lleva a cabo la parametrización de la severidad de los tipos de fallo priorizados, utilizando un formato de la empresa asociado a la valoración del riesgo, el cual contempla los escenarios de: (i) fuego, (ii) explosión y (iii) toxicidad. Adicionalmente, se emplea el formato matriz valoración de riesgos (RAM) para la valoración del riesgo al efecto asociado, estos son registrados en los análisis de modos, efectos y criticidad de fallo (AMFEC o FMECA) actualizado a partir de la comparación del formato AMFE de la empresa frente a la norma española UNE-EN-60812, recomendando la modificación de dos columnas, mantener tres, eliminar siete e incluir seis columnas dentro del formato.

**Palabras clave:** mantenimiento, SIX SIGMA, petróleo y gas, activos I+D.

## 4.1 Introducción

Todo tiene un inicio y un fin. Los activos presentan un ciclo de vida que define dichos tiempos. Este fin se puede extender a partir de la implementación de estrategias de mantenimiento idóneas. La práctica del mantenimiento ha ido evolucionando con el hombre al pasar del tiempo. En sus inicios se realizaba de manera involuntaria y acarreada por la necesidad de reparar los utensilios de caza y sobrevivencia al rededor del mundo (120.000 a. C.).

Hacia 1780 fue tomando importancia en el ámbito académico y práctico y adquirió la denominación de mantenimiento correctivo, de acuerdo con su nombre, hace alusión al arreglo del objeto que se realizaba en la ocasión en que el objeto fallara [1].

En 1914, los países beligerantes dieron luz a un nuevo concepto: mantenimiento preventivo [1], cuya "finalidad es encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallos" [2]. Luego, comenzaron a implementar modelos de control estadísticos de calidad (SQC) en 1946, los cuales hacen referencia a la aplicación de métodos estadísticos para monitorear, evaluar los sistemas y determinar si un cambio clave en una variable de los ajustes es apropiado [1].

A partir de la década de 1950, con la reconstrucción de la industria después de la guerra, en particular la de Japón y Alemania, se desarrolló un mercado mucho más competitivo. Se hace más evidente una creciente intolerancia al tiempo de inactividad. El costo de la mano de obra se hizo cada vez más importante, llevando esto a una mecanización y automatización cada vez mayor. La maquinaria era de construcción ligera y funcionaba a velocidades más altas. Se desgastaban más rápidamente y fueron vistas como menos confiables. La producción demandó un mejor mantenimiento que condujo al desarrollo del mantenimiento preventivo planificado [3].

Entre los años de 1960 y 1970, en Estados Unidos, gracias a la industria automotriz, se dieron a conocer métodos y técnicas innova-

doras de la materia en cuestión, tales como el análisis de modos de fallos y sus efectos (FMEA), mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), análisis de causa raíz (ACR, en 1965) y los sistemas computarizados para la administración de mantenimiento (CMMS). Esto debido a dos puntos en particular [1]: (i) comienza a percibirse el mantenimiento como calidad de proceso, valor agregado, y no solo como algo presente imperativo, brindando mayor eficiencia; y, (ii) la época de la computación que trajo consigo un modo eficiente en la recolección y almacenamiento de datos para su posterior análisis, ya que "una de las razones dominantes del mantenimiento ineficiente es la falta de datos para cuantificar la necesidad real de reparación o conservación de maquinaria, equipo y sistemas de una planta" [4].

El ACR se destaca como uno de los métodos más empleados hasta el día de hoy, entre sus técnicas incluye: el análisis de barrera, eventos y factores causales, diagramas de árbol y el diagrama de causa y efecto. Estas son muy útiles en la identificación de causas básicas para que los esfuerzos sean del máximo [5]. Igualmente, el FMEA, un análisis de abajo hacia arriba, que parte de los componentes y su forma de fracaso con el fin de analizar, en el extremo de la cadena, los efectos sobre las funciones del sistema, de tal manera que se permitan la prevención y limitación de los fenómenos de propagación de las fallos [6], así mismo, es útil para el análisis los diversos mecanismos de mitigación de los modos de fallo, para la determinación de los requisitos de operacionales y de mantenimiento, y en el desarrollo de manuales de mantenimiento [7].

Complementando las técnicas principales, nacen otras que ayudan al proceso de mantenimiento en cuestión de toma de decisiones complejas. Debido a las limitaciones en los recursos, tanto económicas como de tiempo, es menester determinar en qué objeto se van a distribuir dichos recursos. Es por tal motivo que los procesos cuantitativos aplicados a la toma de decisiones, donde intervienen más de una variable, se ven implementados en una vasta variedad de situaciones, ya que ofrecen una gama de posibles soluciones óptimas ponderadas a partir de criterios establecidos y valorados por expertos, lo que elimina su subjetividad. Una de las aplicaciones

más importantes es la priorización, con la que se determina el mérito relativo de un conjunto de alternativas [8].

El área de mantenimiento no siempre es considerada primordial dentro de algunas organizaciones, por lo cual no se involucra en la toma de decisiones estratégicas. Sin embargo, en cuestión del costo total, el mantenimiento representa uno de los mayores rubros de la operación en muchas industrias [4]. Por ejemplo, para una empresa del sector *oil & gas* los costos fijos de mantenimiento representan el mayor rubro, con un 20 % de los balances de costos de ventas [9].

El objetivo del mantenimiento es asegurar que todo activo físico cumpla con las funciones deseadas, favoreciendo la competitividad de las empresas a través de la eficiencia, la productividad y el control de costos, que se adquieren en su correcta aplicación [10]. El mantenimiento correctivo es entre 60 % y 70 % menos eficiente que uno preventivo o predictivo [11]. Por tal razón, la implementación de un sistema de mantenimiento preventivo adecuado en las empresas puede lograr mayores rendimientos y una reducción en los costos gracias a un aumento de entre el 10 % y 20 % de la productividad [12], obteniendo una mejora en el rendimiento del mantenimiento [13].

Colombia no está exenta de estos avances en materia de mantenimiento y aplica diversidad de métodos y técnicas idóneas de acuerdo con la industria en particular a tratar, así, se ha relacionado una evolución positiva del mantenimiento en diferentes temas particulares como lo son la gestión, costos y formación. De hecho, estos tres temas fueron el pilar de la investigación realizada en el 2007 por el capítulo Cundinamarca de la Asociación Colombiana de Ingenieros [14].

La asociación realizó un *Diagnóstico del mantenimiento en Colombia* en el año 2015, el cual se enfocó en determinar el estado actual del sector en el país y su tendencia en los últimos años. En los resultados emitidos del XVIII Congreso Internacional de Mantenimiento y Gestión de Activos, el Ingeniero Ismael Arenas, presidente de ACIEM, comentó que "en ACIEM consideramos que el sector de mantenimiento ha evolucionado de una forma positiva haciendo un tránsito hacia la gestión de activos, sin embargo el estudio permitió

identificar aspectos que deben ser mejorados, como la ausencia de mantenimiento predictivo" [15]. Lo que evidencia una línea de continuo cambio dirigido a mejorar los procesos y al cumplimiento de las normas en el área, apoyada en una variedad de metodologías y procesos. Finalmente, en industrias de gran tamaño, de alto impacto económico para el país como lo es la generación de energía, presenta una mayor inversión y asistencia del tema.

Ecopetrol, a través de los años, ha llevado a cabo investigaciones en el tema. Algunos casos específicos son: Análisis de Modos y Efectos de Fallos (FMEA) para la optimización de la estrategia en el mantenimiento de los equipos de generación de energía eléctrica de la refinería de Cartagena mediante el uso de herramientas de confiabilidad en el 2007 [16], y a su vez un modelo de gestión de mantenimiento para la planta de inyección de agua Campo Tello, basado en estudios de confiabilidad mediante la aplicación de metodologías, entre esas RCFA (*Root Cause Failure Analysis*) y FMEA en el 2008 [17].

Se evidencia, entonces, que es una empresa que se mantiene actualizada en sus proyectos de mantenimiento y demuestra la importancia de la investigación a realizar para obtener una mayor eficiencia a través del mantenimiento idóneo, y aumentar la rentabilidad. Sin embargo, a la fecha, no se había llevado a cabo una investigación en gestión de las estrategias de mantenimiento en activos de I+D dentro de un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*, lo que señala la importancia del proyecto de investigación.

Se ha analizado ampliamente el rendimiento del mantenimiento en el área de producción, sin embargo, para un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas* se requiere de un análisis detallado debido a la diferencia de contexto operacional: producción e investigación. Por tal motivo, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿cuál es el nivel de impacto de los tipos de fallos de los equipos relevantes, en cada una de las plantas piloto y en los laboratorios para un centro de innovación y tecnología del sector *oil & gas*?

Los planes de mantenimiento se diseñan de acuerdo con las características propias de las industrias y de los equipos, con la fi-

nalidad de maximizar su disponibilidad y minimizar los costos. En esta investigación se desarrolló un plan de trabajo organizado en cuatro fases que integran las siguientes técnicas: el MES (*Maintenance Effectiveness Survey*) para caracterizar la situación actual del área en dicho centro de innovación; análisis de causa raíz – ACR (*Root Cause Analysis*), para determinar las causas y efectos de los fallos más representativos de dichos equipos priorizados; y análisis de modos, efectos y criticidad de fallo –FMECA (*Failure Mode Effect and Criticality Analysis*), para prevenir incidentes de seguridad y reducir su incidencia.

El objetivo de la investigación es parametrizar la severidad de los tipos de fallo relevantes a los equipos priorizados de I+D para una muestra representativa de un centro de innovación del sector *oil & gas*. Este documento se encuentra distribuido en cinco secciones, en la sección primera se trabajará la introducción, en la segunda sección se presenta la revisión de literatura, la sección tercera expone la metodología, en la sección cuarta se presentan los resultados, la sección quinta desarrolla la discusión de los resultados y expone las conclusiones.

## 4.2 Revisión de literatura

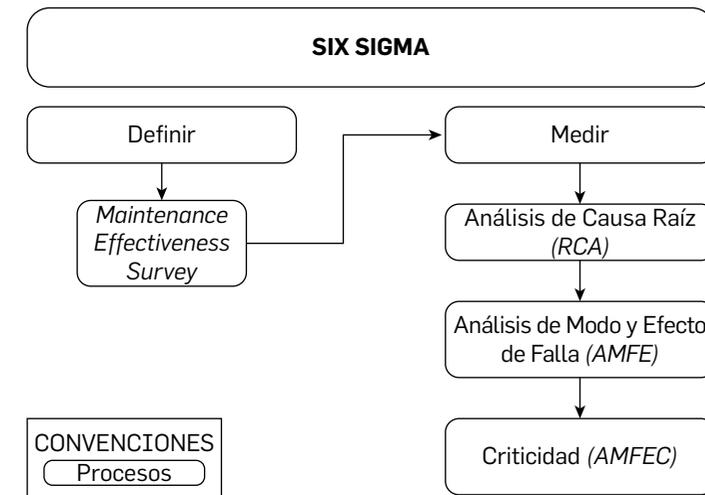
### 4.2.1 Conceptos, teorías o enfoques

La relación de estructura teórica utilizada en este trabajo se muestra en la figura 4.1 comenzando con la metodología Six Sigma, se explican sus dos primeras fases: definir y medir; la evaluación del área de mantenimiento: *Maintenance Effectiveness Survey* (MES); el análisis de causa raíz (ACR); y el análisis de modos efectos y criticidad de la falla (AMFEC).

#### 4.2.1.1 Metodología SIX SIGMA

La metodología SIX SIGMA es un “sistema estructurado de herramientas y técnicas de gestión de la calidad total aplicada a procesos, productos y servicios” [18]. Esta metodología integra herramientas

Figura 4.1. Diagrama de relación de la estructura teórica utilizada



asociadas a la gestión de la calidad, se establecen metas de corto plazo que permitan conseguir objetivos a largo plazo. Estos objetivos a largo plazo se centran en el establecimiento de procesos más robustos, donde los defectos alcanzados son unos pocos por millón de oportunidades [19].

La metodología SIX SIGMA, representa un proceso que es “99.99966 % bueno”; lo que significa, por ejemplo: siete artículos perdidos por hora entre 20.000 en el envío de paquetes; no contar con agua potable durante un minuto cada siete meses; realizar 1,7 operaciones quirúrgicas incorrectas por semana por 5.000 procedimientos o el realizar un aterrizaje corto o largo cada cinco años en los grandes aeropuertos del mundo [20]. Para lograr esto, SIX SIGMA trabaja cinco fases: definir, medir, analizar, mejorar y controlar. En esta investigación se cubren dos fases: definir y medir.

La primera fase del proceso, *definir*, tiene como objetivo establecer la causa de un problema, acotar sus límites: dónde empezar y dónde parar el proceso. Lo anterior proporciona perspicacia respecto a la concentración de los esfuerzos de mejora [21].

El objetivo de la fase *medir* es la recolección de datos de los componentes del sistema que se desea analizar, que busca identificar las relaciones existentes y a partir de estas, definir las metas. Además, "Una vez un negocio sabe dónde está y dónde quiere llegar, las brechas existentes pueden determinarse, así como los esfuerzos y los recursos necesarios para reducirlas y alcanzar las metas" [21]. Dentro de las herramientas propuestas, se destaca el análisis de modo de fallo y sus efectos AMFE o AMFEC que añade la criticidad [21]. En [7] se presenta el AMFEC como uno de los métodos más efectivos en los análisis de confiabilidad aplicados a SIX SIGMA. Teniendo en cuenta que el AMFEC trabaja a partir de la definición de los modos de fallo, una técnica apropiada para su identificación es el análisis de causa raíz (ACR).

#### 4.2.1.2 Técnica de diagnóstico MES (Maintenance Effectiveness Survey)

El objetivo de la encuesta MES es identificar las fortalezas y debilidades de la gestión de mantenimiento para así identificar las oportunidades y corregir errores. Esta acción proporciona una visión de la estructura, las relaciones, los procesos y las personas relacionadas a las prácticas de un buen mantenimiento. Este es el primer paso en un proceso de mejoramiento del área de mantenimiento [22]

En la aplicación, se recomienda asegurar que las personas que las realizan tengan pleno conocimiento de que se hace de esta manera para proteger sus identidades, así que se recomienda guardar las encuestas en un sobre debidamente rotulado con el título *Encuestas de mantenimiento*, entregarlas a las personas y poner una caja donde estas deben ser devueltas. El tiempo estimado para desarrollar una encuesta de este tipo es de unos 20 a 30 minutos [24].

La técnica de diagnóstico MES (*Maintenance Effectiveness Survey*) se fundamenta en un cuestionario en el que se evalúan 60 preguntas distribuidas en cinco áreas del mantenimiento. Las áreas de mantenimiento evaluadas son: (i) recursos gerenciales, (ii) gerencia de la información, (iii) equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, (iv) planificación y ejecución y (v) soporte-calidad-motivación [23].

El proceso de cuantificación de las áreas a diagnosticar se lleva a cabo de la siguiente manera: los colaboradores seleccionados evalúan las doce preguntas elaboradas por cada área (total 5 áreas/60 preguntas) graduándose en una escala de 1 a 5 [23] así: 1 = Muy deficiente, 2 = Deficiente, 3 = Regular, 4 = Bueno y 5 = Excelente.

Finalmente, dichas puntuaciones se suman y se promedian entre el número total de las personas encuestadas. Clasificando la categoría del área de mantenimiento en función de los siguientes rangos [23]:

- 300-261: categoría "Clase Mundial" /nivel de excelencia en mantenimiento
- 201-260: categoría "Muy buena" /nivel de buenas prácticas en mantenimiento
- 141-200: categoría "Por arriba del nivel promedio" /nivel aceptable en mantenimiento
- 81-140: categoría "Por debajo del promedio" /nivel no muy bueno en mantenimiento, con oportunidades para mejorar
- Menos de 80: categoría "Muy por debajo del promedio" /nivel muy malo mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar.

#### 4.2.1.3. Análisis de causa raíz (ACR)

En la década de los setenta surge en la industria mundial la necesidad de hacer los sistemas productivos más confiables. Para lograr esto, se empezaron a implementar herramientas con el fin de analizar las causas que generaban obstrucción en los sistemas, fallas que provocaban un funcionamiento erróneo tanto en las tareas establecidas inicialmente para un procedimiento, como también en el rendimiento de las habilidades humanas. Estas técnicas tuvieron gran acogida en la industria nuclear y en la aviación en las cuales, luego de varios años de investigaciones y pruebas, se desarrolla la técnica análisis causa raíz (ACR), la cual presenta sus primeros estudios en la psicología industrial y el estudio de los factores humanos, acercándose al análisis del error de una manera retrospectiva [25].

Por otro lado, el Departamento de Energía de los Estados Unidos en el documento *Root Cause Analysis Guidance Document* de 1992, define el ACR como "La investigación y reporte de las causas de ocurrencias para permitir la identificación de acciones correctivas adecuadas para prevenir la recurrencia y, por lo tanto, proteger la salud y la seguridad del público, los trabajadores y el medio ambiente" [26]. Vorley y Tickle, QM&T, 2002, por su parte, la definen como "una metodología objetiva, minuciosa y disciplinada empleada para determinar las causas subyacentes más probables de problemas, quejas y eventos no deseados dentro de una organización, con el objetivo de formular y acordar acciones correctivas para, al menos, mitigar, si no eliminar, esas causas y así producir una mejora significativa del rendimiento a largo plazo" [27].

De esta manera, el propósito de la técnica ACR consiste en determinar el origen, la frecuencia y el impacto de la falla sobre el ambiente, la seguridad y las operaciones, mediante un proceso de análisis secuencial cualitativo. Para aplicar esta técnica se requiere de una revisión detallada de todos los elementos implicados en las fallas, tales como: personas, equipos, procedimientos, entornos, entre otros factores. Los resultados del ACR permiten plantear estrategias encaminadas a mejorar la confiabilidad de los sistemas, a través de soluciones efectivas para todos los posibles modos de fallo [25], [28].

Para la aplicación del ACR [29], se determinan cuatro pasos generales.

- **Recolección de datos.** El primer paso para realizar el análisis es obtener información. Sin datos completos y un buen entendimiento del evento, los factores causales y las causas raíces del acontecimiento no podrán ser detectadas. La recolección de datos es lo que más lleva tiempo en el análisis de un evento.
- **Aplicación de método o herramienta ACR.** Es aquí donde se organiza y analiza la información obtenida en la etapa anterior y se identifican brechas y deficiencia en el conocimiento a medida que avanza la investigación. Cuando la ocurrencia ha sido totalmente analizada, los investigadores se encuentran en una buena posición para determinar cuáles fueron los mayores contribuido-

res en el incidente, llamados también factores causales. Los factores causales son aquellos fallos humanos o fallos de equipos que, si fueran eliminados, prevendrían la incidencia o reducirían su severidad.

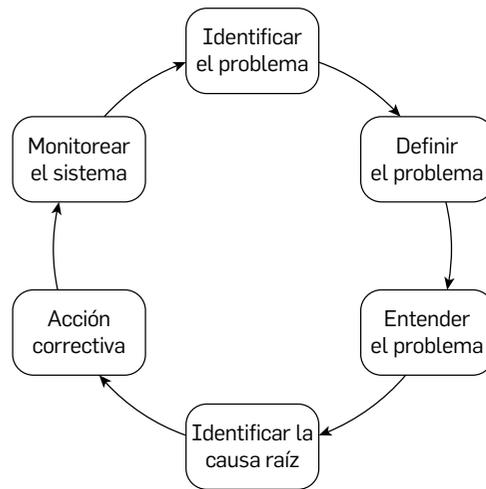
- **Identificación de la causa raíz.** Como consecuencia, al detectar todos los factores causales, los investigadores comienzan con la detección de la causa raíz. La pregunta que se deben hacer los investigadores es por qué factores causales particulares existieron u ocurrieron. La identificación de las causas raíz ayuda al investigador a determinar las razones por las que ocurrió el evento, de manera que los problemas que rodean la ocurrencia pueden ser abordados.
- **Generación de recomendaciones e implementación.** Se deben generar recomendaciones alcanzables en un tiempo estipulado, teniendo en cuenta la identificación de las causas raíz para los determinados factores causales, y de esta forma prevenir su recurrencia. El analista de la causa raíz no es normalmente responsable de la implementación de las recomendaciones generadas en el análisis. Sin embargo, el no implementar las recomendaciones convierte al esfuerzo utilizado para realizar el análisis de causa raíz en una pérdida, tanto económica como de tiempo [29].

La figura 4.2 (página 262) muestra el ciclo del ACR con los pasos anteriormente mencionados.

La aplicación del ACR requiere de una serie de técnicas que producen una aproximación sistemática, cuantificada y documentada para la identificación, entendimiento y resolución de causas ocultas [30]. Entre estas, destacan las siguientes:

- **Herramienta ACR: diagrama de espina de pescado (Ishikawa)**  
Este método se utiliza para ordenar gráficamente posibles causas raíz en grupos lógicos [31]. El resultado se muestra al final de una línea horizontal (la "cabeza" del "pez"), y las ramas que conducen desde esta línea identifican la categoría de nivel más alto. Las categorías usadas son:

Figura 4.2. Pasos del ACR de forma cíclica



Fuente: Mini guide to root cause analysis [30].

- Madre naturaleza (entorno, entorno)
- Material (elementos físicos, requisitos, normas)
- Hombre (personas, habilidades, gestión)
- Medición (métricas, datos)
- Métodos (proceso, procedimientos, sistemas)
- Máquina (equipo, tecnología)

- **Herramienta ACR: método de los cinco porqués**

Es un proceso basado en el equipo similar al de lluvia de ideas, diseñado para investigar progresivamente las causas de nivel inferior de cada causa potencial. La herramienta permite llegar a la causa raíz de un problema con bastante rapidez por hacer repetidamente la pregunta: ¿por qué? Cinco es una propuesta general, ya que se puede llegar a necesitar más o menos. El uso de la herramienta es relativamente simple [31]:

- Primero, identifique el enunciado del problema.
- Luego, pregunte por qué ocurrió el problema (incluya múltiples razones potenciales, si es posible).
- Continúe preguntando, ¿por qué? por cada razón potencial hasta que las respuestas se identifiquen como causas raíz accionables (detenga el ejercicio cuando las respuestas se vuelvan como la gravedad, el frío en Alaska, etc.).
- Excluir sistemáticamente elementos basados en pruebas objetivas (como resultados de pruebas, etc.) hasta que las causas raíz procesables estén aisladas.

Las posibles causas deberán ser verificadas, si realmente son una causa al problema anterior [31].

- **Herramienta ACR: Pareto analysis**

En [32] se expone un enfoque estadístico para la resolución de problemas que utiliza una base de datos con inconvenientes que permiten identificar el número de factores causales predefinidos que han ocurrido en su negocio o sistema. Se basa en el principio de Pareto, también conocido como la regla 80-20, que supone que el 80 % de sus problemas son causados por el 20 % de las causas. Se pretende dirigir los recursos hacia las causas más comunes. A menudo mal utilizado como un método ACR, sin embargo, el análisis de Pareto se utiliza mejor como una herramienta para determinar dónde iniciar el análisis.

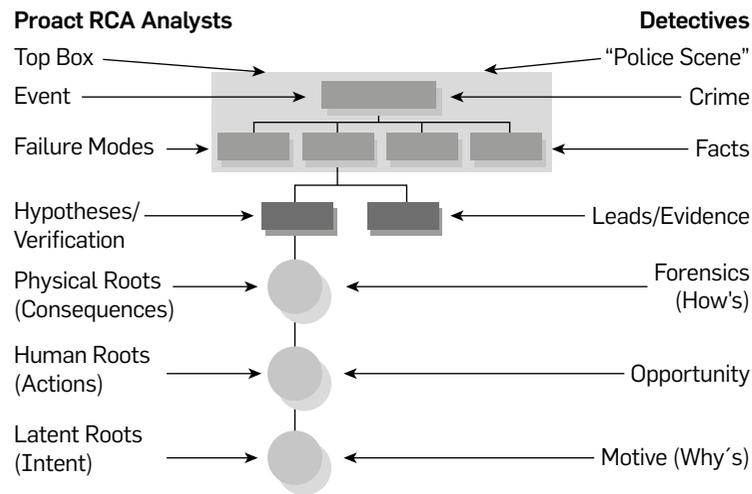
- **Definición de causa raíz: física, humana o latente**

Según [33] una vez se definen las posibles causas raíz, se procede a identificar y clasificar las causas en tres categorías. En [34] se muestra un diagrama lógico (ver figura 4.3, página 264) entre las similitudes de un proceso ACR y una investigación criminal, el cual incluye: el evento primario, los modos de fallo presentados, las hipótesis planteadas, junto con la definición de tres categorías de causa raíz: física, humana y latente.

- **Definición de causa raíz física**

La causa raíz física es la primera categoría que se encuentra a través del proceso. Estas causas son observables, tangibles y

Figura 4.3. Diagrama lógico similitudes entre un ACR y una investigación criminal



Fuente: [34].

se encuentran al nivel de componente. Las causas raíz físicas generalmente son identificables en el árbol lógico dado que son las primeras consecuencias perceptibles después de alcanzado un error por decisión humana. Es importante anotar que existe una tendencia por parte del analista a la hora de usar métodos de resolución de problemas a detenerse en este nivel, llamando dichas causas como causas raíz.

#### • Definición de causa raíz humana

Las causas raíz humanas casi siempre desencadenarán una causa raíz física. Las causas de origen humano son errores de decisión. Estos son errores de omisión o comisión. Esto significa que, o decidimos no hacer algo que deberíamos haber hecho, o hicimos algo que se suponía que no deberíamos hacer. Terminar un análisis con una conclusión de *error humano* es una salida errónea. Por esa razón, se utiliza la raíz humana solo para representar una decisión humana que desencadenó una serie de consecuencias físicas. Simplemente decir *error humano* no describe lo que realmente sucedió para comprender el marco de referencia sobre el comportamiento

de las personas y juzgar si tiene algún sentido, así que es necesario tener en cuenta el contexto de trabajo.

El autor propone los diez principales contribuyentes de errores humanos:

1. Supervisión ineficaz
2. Falta de sistema de rendición de cuentas
3. Entorno distraído
  - Baja alerta
  - Complacencia
4. Tensión de trabajo/presión de tiempo
5. Exceso de confianza
6. Gestión de tareas por primera vez
7. Comunicaciones imprecisas
8. Orientación vaga o incorrecta
9. Deficiencias de entrenamiento
10. Nueva tecnología

Según [34] "El comprender las condiciones que incrementan el riesgo de error humano en la toma de decisiones, permite implementar cambios proactivos para reducir el riesgo". Cuando se llega a este nivel, no se está interesado en quién lo hizo, sino por el contrario por qué se tomó la decisión en ese momento. Comprender el razonamiento detrás de las decisiones que resultan en un error es fundamental para conducir un ACR apropiado.

Cuando no se puede determinar el porqué, las personas toman una decisión, las causas no se pueden determinar, el problema no se puede resolver de forma permanente. Por lo tanto, no se puede eliminar su riesgo de recurrencia.

#### • Definición de causa raíz latente

Las causas latentes son los sistemas organizacionales (reglas o leyes) que las personas utilizan para tomar decisiones. Cuando dicho sistema tiene fallos, resulta en errores de decisión. El término "Latente" se define como: "Las consecuencias adversas que pueden permanecer inactivas dentro del sistema por un lar-

go tiempo, las cuales solo se vuelven evidentes cuando se combinan con otros factores que violan las defensas del sistema" [34].

Estos sistemas se ponen en marcha para ayudar a las personas a tomar mejores decisiones. Cuando un sistema es inadecuado u obsoleto, la gente termina cometiendo errores de decisión basados en información defectuosa. Estas son las verdaderas causas de los eventos indeseables.

#### 4.2.1.4 Análisis de los modos de fallo y sus efectos (AMFE)

El AMFE se define en [35] cómo una técnica para identificar los peligros asociados con el equipo de una planta de proceso. En [6] se trata el AMFE como un análisis de abajo hacia arriba, que parte de los componentes y su forma de fracaso con el fin de analizar, en el extremo de la cadena, los efectos sobre las funciones del sistema, que permita la prevención y limitación de los fenómenos de propagación de los fallos.

Para [13] el AMFE es un análisis sistemático de los modos de fallos potenciales para prevenirlos, del cual se pueden identificar cuatro tipos de AMFE para: sistema, diseño, proceso y servicio. (i) Sistema AMFE se centra en las funciones del sistema global; (ii) AMFE de diseño se centra en los componentes y subsistemas; (iii) proceso AMFE se centra en la fabricación y procesos de montaje y (iv) AMFE de servicio se centra en funciones de servicio. Todo proceso tiene un propósito, de hecho en [13] los objetivos de la metodología son: (i) identificar y reconocer posibles fallos incluyendo sus causas y efectos, (ii) evaluar y priorizar los modos de fallo identificados ya que los fracasos no son iguales e (iii) identificar y sugerir acciones que puedan eliminar o reducir las posibilidades de los fallos que se produzcan. Así mismo, el proceso consta de cinco pasos lógicos: (i) seleccionar un proceso de alto riesgo. (ii) revisar el proceso: este paso implica seleccionar cuidadosamente un equipo de personas con diversas responsabilidades de trabajo y niveles de experiencias, (iii) ideas sobre posibles modos de fallo, (iv) identificar las causas de los modos de fallo y (v) lista de posibles efectos de cada modo de fallo.

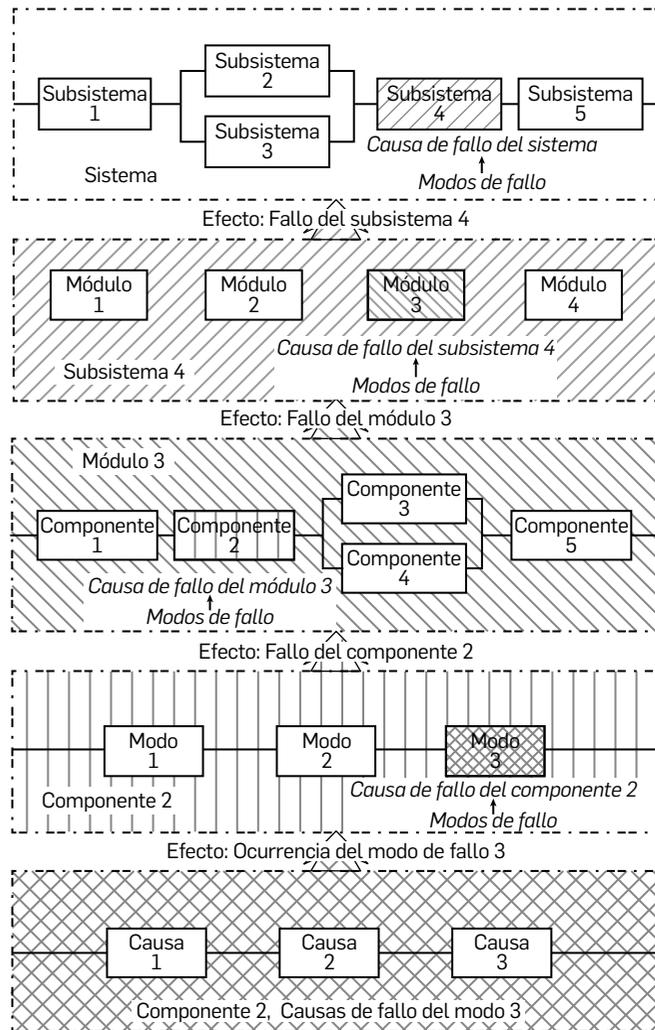
En este contexto, [13] resalta cinco beneficios de la realización de AMFE: (i) aumento de la satisfacción del cliente mejorando la seguridad y fiabilidad y mitigar el efecto adverso de los problemas antes de que lleguen al cliente, (ii) mejorar la eficiencia del desarrollo en términos de tiempo y costo por problemas de fiabilidad y fabricación durante las etapas de diseño, (iii) documentar, priorizar y comunicar riesgos haciendo temas explícitos a los clientes, administración y miembros del equipo de AMFE, (iv) ayudar a reducir las posibilidades de fracaso catastrófico que puede resultar en lesiones o efectos adversos sobre el medio ambiente y (v) optimizar esfuerzos de mantenimiento proponiendo tareas de mantenimiento preventivo aplicable y eficaz para los modos potenciales de fallo. Existen normativas internacionales que permiten estandarizar el proceso, como es el caso de la Normativa Española UNE-EN-60812, que se presenta a continuación.

#### **Definición del procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE) bajo la Normativa Española UNE-EN-60812**

La teoría sobre el análisis de modos de falla y sus efectos (AMFE) conforme la norma española UNE-EN 60812 [36] que se deriva de la norma europea EN 60812:2006, que a su vez adopta la norma internacional IEC 60812:2006. Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 200 sobre las normas básicas eléctricas cuya Secretaría desempeña la Asociación Española de Normalización y Certificación. Según la norma se define el análisis de los modos de fallo y sus efectos (AMFE) como un "procedimiento sistemático de análisis de un sistema para identificar los modos de fallo potenciales, sus causas y sus efectos en el funcionamiento del sistema". Para iniciar el análisis, el sistema debe estar lo suficientemente definido como para ser representado con un diagrama funcional de bloques en el que pueda definirse el funcionamiento de cada uno de sus elementos. "El análisis inicia con los elementos de más bajo nivel. Un efecto de un modo de fallo en un nivel inferior puede convertirse en causa de fallo de un modo de fallo de un elemento de nivel superior. El análisis se realiza de abajo hacia arriba hasta identificar el efecto

final del sistema". Un ejemplo de diagrama de bloques dado por la norma es el que se muestra en la figura 4.4.

Figura 4.4. Relación entre los modos de fallo y sus efectos en una jerarquía de sistema



Fuente: Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas, procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE). UNE-EN 60812, Comité técnico AEN/CTN 200 Normas básicas Eléctricas, AENOR.

Es de resaltar que la norma indica que un AMFE minucioso debe ser realizado por un equipo compuesto por diferentes expertos que puedan detectar la magnitud y las consecuencias de los diferentes tipos de deficiencia potenciales.

### Objetivos del AMFE

Los objetivos del AMFE dados por la norma son los siguientes:

- Identificación y evaluación completas de todos los efectos no deseados dentro de los límites definidos del sistema a analizar y la secuencia de sucesos ocasionados por cada uno de los modos de fallo del elemento en los distintos niveles de la jerarquía funcional del sistema, cualquiera que sea su causa.
- Determinación de la criticidad o la prioridad para considerar o atenuar cada modo de fallo respecto al correcto funcionamiento del sistema y su impacto sobre el proceso afectado.
- Clasificación de los modos de fallo identificados según las características pertinentes, incluyendo su facilidad de detección, su capacidad para el diagnóstico, la capacidad de prueba, medidas de compensación y operación (reparación, mantenimiento, logística, etc.).
- Identificación de fallos funcionales del sistema y la estimación de medidas de su severidad y de probabilidad de fallo.
- Desarrollo de un plan de mejora del diseño para atenuar los modos de fallo.
- Apoyar el desarrollo de un plan de mantenimiento eficaz para atenuar o reducir la probabilidad de fallo.

### Aplicación del AMFE

Para la aplicación del análisis, la norma plantea los siguientes ítems y, finalmente, resume lo descrito a continuación en el diagrama de flujo de la figura 4.5 (página 271).

### Consideraciones generales

“El análisis se realiza normalmente identificando los modos de fallo, sus respectivas causas y los efectos inmediatos y finales. Los resultados analíticos pueden presentarse en una hoja de trabajo que contenga un núcleo de información esencial para el sistema completo

y los detalles desarrollados para ese sistema específico. El análisis muestra las formas que el sistema podría fallar potencialmente, los componentes y sus modos de fallo, que podrían ser causa del fallo del sistema y las causas de ocurrencia de cada modo de fallo individual" [36].

### Causas de fallo

"Deberían identificarse y describirse las causas más probables de fallo para cada modo de fallo potencial. No es siempre necesario identificar y describir las causas de fallo para todos los modos de fallo". "La identificación y descripción de las causas de fallo, así como las sugerencias para su mitigación deberían basarse en los efectos de los fallos y en su severidad" [36].

### Efectos de los fallos

Es necesario identificar, evaluar y registrar las consecuencias de cada modo de fallo en el funcionamiento, función, o estado del elemento del sistema. Un efecto de fallo puede también influir en el un nivel superior y finalmente en el más alto nivel. Por consiguiente, en cada nivel debería evaluarse el efecto de los fallos que se traduce en el nivel superior.

### Métodos de detección

"El analista debería determinar, para cada modo de fallo, la forma en la que se detecta el fallo y los medios por los que el usuario o el técnico de mantenimiento son conscientes del mismo" [36].

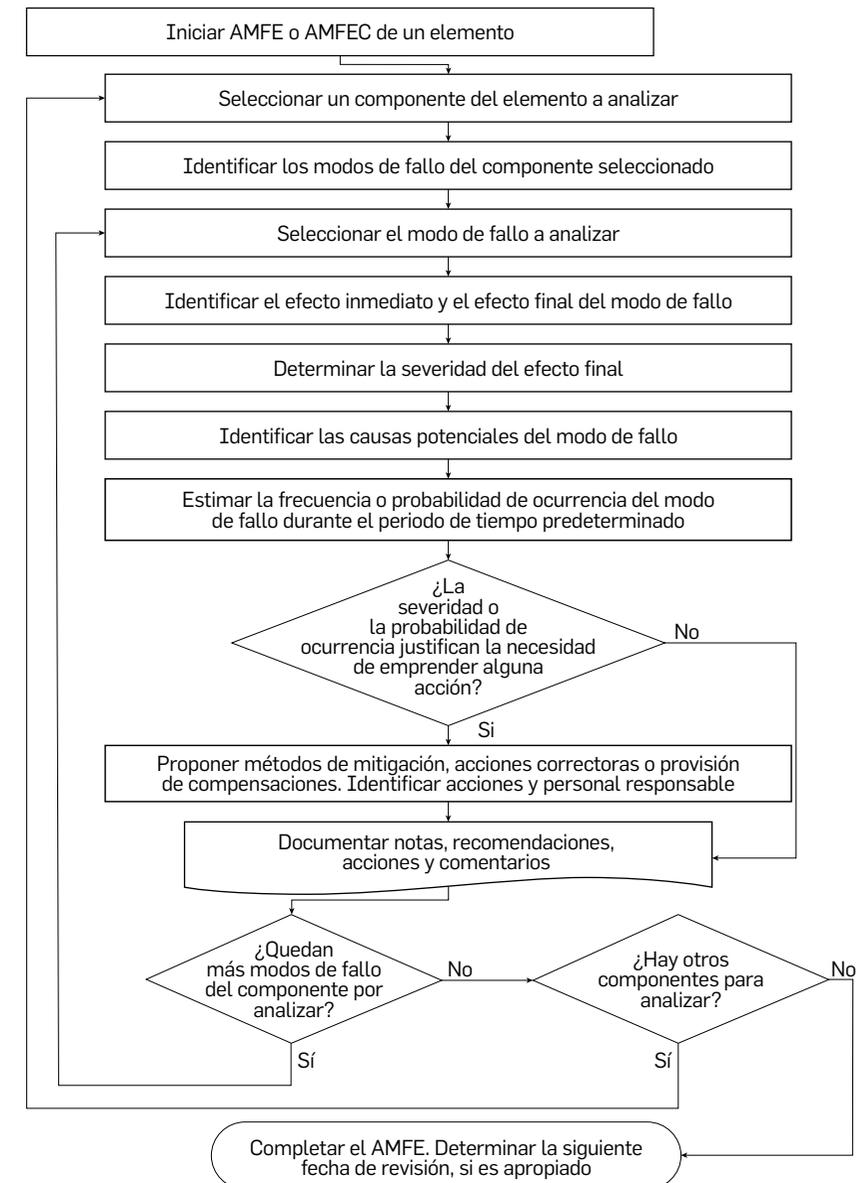
### Medidas para compensar los fallos

Se recomienda registrar en el AMFE otras medidas como: elementos redundantes que permitan la continuidad del funcionamiento si uno o más elementos fallan, medios alternativos de funcionamiento, dispositivos de supervisión o alarma, cualquier otro medio que permita el funcionamiento eficaz o limite el daño.

### Clasificación de la severidad

La severidad es una valoración de la importancia del efecto del modo de fallo en el funcionamiento del elemento. Un ejemplo de clasificación de severidad se observa en la tabla 4.1.

Figura 4.5. Diagrama de flujo del análisis



Fuente: Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas, procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE). UNE-EN 60812, Comité técnico AEN/CTN 200 Normas básicas Eléctricas, AENOR.

Tabla 4.1. Ejemplo ilustrativo de clasificación de severidad para efectos finales

Clase	Nivel de severidad	Consecuencias a personas o ambiente
IV	Catastrófico	Modo de fallo que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y, por consiguiente, causar serios daños al mismo y su ambiente o dañar al personal.
III	Crítico	Modo de fallo que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo y su ambiente, pero que no constituye una amenaza seria de daño o para la vida del personal.
II	Marginal	Modo de fallo que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable o sin amenazar la integridad y la vida del personal.
I	Insignificante	Modo de fallo que potencialmente podría degradar las funciones del sistema, pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para la integridad y la vida del personal

Fuente: Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas, Procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE). UNE-EN 60812, Comité técnico AEN/CTN 200 Normas básicas Eléctricas, AENOR.

#### 4.2.1.5 Análisis de modos, efectos y criticidad del fallo (AMFEC)

Según [7] el acrónimo AMFE puede dividirse en dos AMFE y un CA: análisis de efectos de modo de fallo (AMFE) y de criticidad (CA). El AMFE es un análisis cualitativo de los modos de fallo mientras que la criticidad (CA) es un análisis cuantitativo del riesgo. Ahora bien, el propósito del análisis de criticidad (CA) por [7] consiste en clasificar cada modo de fallo potencial que se ha identificado en el AMFE, según la influencia combinada de la clasificación de severidad y su probabilidad de ocurrencia basada en los mejores datos disponibles.

El nivel de criticidad de los fallos se puede determinar a partir de diferentes propuestas. Estas pueden ser mediante un proceso estandarizado de la empresa particular, o bajo una metodología propuesta por algún otro autor encontrada mediante una revisión de literatura. En este contexto, según [21] el AMFE puede llegar a apli-

carse e incluir la valoración de la severidad de los efectos de fallo y su probabilidad de ocurrencia. Dicho análisis se denomina AMFEC (análisis de modos, efectos y criticidad del fallo). Para [21] el AMFEC es “un método que mira hacia el futuro y determina dónde pueden localizarse los fallos potenciales”. En [35] se propone para el nivel de criticidad, una serie de metodologías para el análisis de riesgo, las cuales se exponen en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Metodologías para el análisis del riesgo

FASE DEL PROYECTO	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	RESULTADOS ESPERADOS
INGENIERÍA CONCEPTUAL	<p><i>HAZID - Hazard Identification</i> (Identificación de peligros)</p> <p><i>CHECKLIST</i> (Lista de chequeo)</p> <p><i>WHAT IF</i> (¿Qué pasa si?)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Orientación para el proceso de selección.</li> <li>• Detectar peligros de proceso inaceptables.</li> <li>• Ayudar para el diseño del proceso.</li> <li>• Identificar las modificaciones clave del proceso que reducen el nivel de riesgo.</li> <li>• Asistir en la ubicación geográfica del proyecto.</li> </ul>
INGENIERÍA BÁSICA	<p><i>PHA - Preliminary Hazards Analysis</i> (Análisis de peligros preliminares)</p> <p><i>HAZID - Hazard Identification</i> (Identificación de peligros)</p> <p><i>CHECKLIST</i> (Lista de chequeo)</p> <p><i>WHAT IF</i> (¿Qué pasa si?)</p> <p><i>FMEA - Failure Mode Effects Analysis</i> (Análisis de Modos y Efectos de Fallos)</p> <p><i>HAZOP - Hazard and Operability</i> (Análisis Funcional de Operatividad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los peligros de manera más detallada en el proceso seleccionado y en el diseño propuesto.</li> <li>• Riesgos asociados a la ubicación geográfica.</li> <li>• Riesgos en equipos especiales o críticos en el proceso.</li> </ul>

Continúa

FASE DEL PROYECTO	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	RESULTADOS ESPERADOS
INGENIERÍA DETALLADA	<p><i>CHECKLIST</i> (Lista de chequeo)</p> <p><i>WHAT IF?</i> (¿Qué pasa si?)</p> <p><i>FMEA - Failure Mode Effects Analysis</i> (Análisis de Modos y Efectos de Fallos)</p> <p><i>PHA - Preliminary Hazards Analysis</i> (Análisis de peligros preliminares)</p> <p><i>HAZOP - Hazard and Operability</i> (Análisis Funcional de Operatividad)</p> <p>Metodología <i>BOW-TIE</i></p> <p>Estudios de elementos críticos, seguridad.</p> <p>Barreras y estándares de rendimiento.</p> <p><i>SIL - Safety Integrity Level / VERIFICATION AND SRS - Safety Requirement Specification</i> (Nivel de integridad de seguridad / Especificación de requisitos de seguridad)</p> <p><i>QRA - Quantitative Risk Assessment</i> (Análisis Cuantitativo de Riesgo)</p> <p><i>FHA - Fire Hazard Analysis</i> (Análisis del Peligro de Incendio)</p> <p><i>RAMS - Reliability, Availability, Maintainability And Safety</i> (Fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar todos los peligros en el proceso, evaluando los riesgos asociados.</li> <li>• Identificar aspectos de la operación no contemplados inicialmente.</li> <li>• Ayudar a establecer procedimientos de operación y puesta en marcha.</li> </ul>

Continúa

FASE DEL PROYECTO	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	RESULTADOS ESPERADOS
INGENIERÍA DETALLADA	<p><i>RBI Risk-Based Inspection Studies / RCM Risk Centered Maintenance</i> (Estudios de inspección basada en riesgos / Mantenimiento Centrado en el riesgo)</p> <p><i>EERA - Escape, Evacuation And Rescue Analysis</i> (Escape, evacuación y análisis de rescate)</p> <p><i>SVA - Security Vulnerability Analysis</i> (Análisis de vulnerabilidad de seguridad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar todos los peligros en el proceso, evaluando los riesgos asociados.</li> <li>• Identificar aspectos de la operación no contemplados inicialmente.</li> <li>• Ayudar a establecer procedimientos de operación y puesta en marcha.</li> </ul>
INSTALACIONES EN OPERACIÓN	<p><i>CHECKLIST</i> (Lista de chequeo)</p> <p><i>HAZOP - Hazard and Operability</i> (Análisis Funcional de Operatividad)</p> <p><i>SIL - Safety Integrity Level / VERIFICATION AND SRS - Safety Requirement Specification</i> (Nivel de integridad de seguridad / Especificación de requisitos de seguridad)</p> <p><i>FHA - Fire Hazard Analysis</i> (Análisis del Peligro de Incendio)</p> <p><i>QRA - Quantitative Risk Assessment</i> (Análisis Cuantitativo de Riesgo)</p> <p><i>RAMS - Reliability, Availability, Maintainability And Safety</i> (Fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurar la operación y que la información sobre la calidad, los requisitos legales, la seguridad del proceso y los procedimientos operativos esté completa y actualizada.</li> <li>• Incorporar las lecciones aprendidas de accidentes o incidentes recientes y considerar la posibilidad de agregar nuevos equipos, sistemas y tecnologías que mejoren los niveles de seguridad.</li> </ul>

Continúa

FASE DEL PROYECTO	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	RESULTADOS ESPERADOS
INSTALACIONES EN OPERACIÓN	<p><i>RBI Risk-Based Inspection Studies/ RCM Risk Centered Maintenance</i> (Estudios de inspección basada en riesgos / Mantenimiento Centrado en el riesgo)</p> <p><i>EERA - Escape, Evacuation And Rescue Analysis</i> (Escape, evacuación y análisis de rescate)</p> <p><i>SVA - Security Vulnerability Analysis</i> (Análisis de vulnerabilidad de seguridad)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asegurar la operación y que la información sobre la calidad, los requisitos legales, la seguridad del proceso y los procedimientos operativos esté completa y actualizada.</li> <li>Incorporar las lecciones aprendidas de accidentes o incidentes recientes y considerar la posibilidad de agregar nuevos equipos, sistemas y tecnologías que mejoren los niveles de seguridad.</li> </ul>

Fuente: [35].

### 4.3 Metodología

La estructura metodológica se evidencia más adelante, en la figura 4.6, bajo la metodología SIX SIGMA. A continuación, se presentan los resultados organizados siguiendo la estructura presentada en la misma figura, compuesta por tres fases.

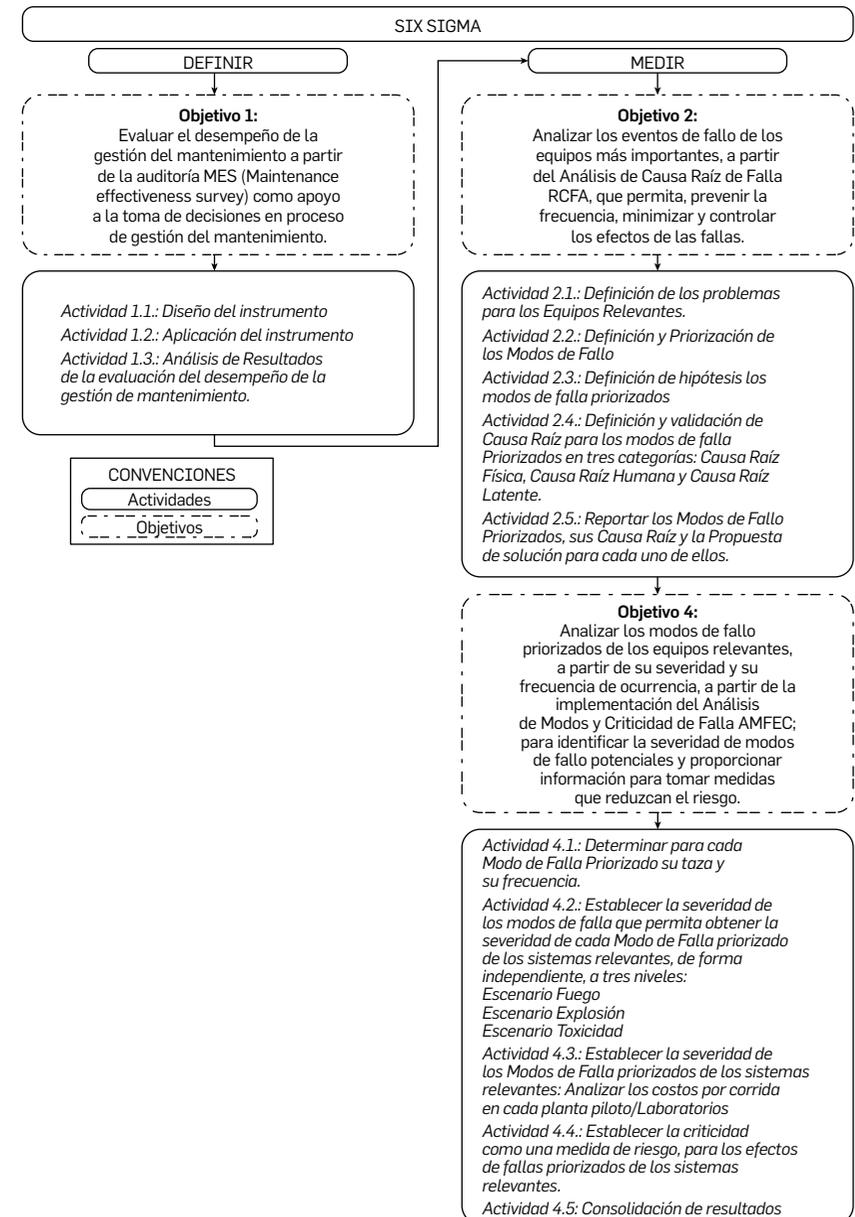
#### Fase I

##### Actividad 1.1.

*Diseño del instrumento para el diagnóstico del área de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector oil & gas*

La metodología desarrollada y validada por el *Marshall Institute* llamada MES (*Maintenance Effectiveness Assessment*) se aplicó a los líderes de las plantas piloto con el fin de conseguir un

Figura 4.6. Diagrama de relación de la estructura metodológica utilizada en el Plan Detallado de Trabajo PDT.



diagnostico real de la situación actual en tema de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector *oil & gas*. Los instrumentos MES se elaboraron tomando como base a [23] y se ajustaron al contexto operacional. El instrumento se organizó en seis categorías:

- Recursos gerenciales consta de 12 preguntas. Máximo de puntos = 60.
- Gerencia de la información consta de 11 preguntas. Máximo de puntos = 55.
- Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo consta de 12 preguntas. Máximo de puntos = 60.
- Planificación y ejecución consta de 12 preguntas. Máximo de puntos = 60.
- Soporte, calidad y motivación consta de 11 preguntas. Máximo de puntos = 55.
- Aspectos técnicos asociados a la gestión de mantenimiento consta de 14 preguntas. Máximo de puntos = 70.

La evaluación del instrumento se organizó en seis opciones:

- Muy deficiente: 1
- Deficiente: 2
- Regular: 3
- Bueno: 4
- Excelente: 5
- No sabe/No responde
- No Aplica

### *Actividad 1.2.*

#### *Aplicación del instrumento para el diagnóstico para el área de mantenimiento*

La duración aproximada en la aplicación del instrumento fue de 20 minutos, durante los cuales fueron entrevistados los líderes de las plantas piloto.

### *Actividad 1.3.*

#### *Análisis de resultados del diagnóstico del área de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector oil & gas*

Las puntuaciones totales fueron sumadas y promediadas entre el número total de las personas encuestadas. Se clasificó la categoría del área de mantenimiento en función de los siguientes rangos:

- 360 - 289: Categoría "Clase Mundial"/nivel de excelencia del mantenimiento
- 288 - 217: Categoría "Muy buena"/nivel buenas prácticas de mantenimiento
- 216 - 145: Categoría "Por arriba del nivel promedio"/nivel aceptable en mantenimiento.
- 144 - 73: Categoría "Por debajo del nivel promedio"/nivel no muy bueno de mantenimiento con oportunidades para mejorar.
- Menos de 73: Categoría "Muy por debajo del promedio"/nivel muy malo de mantenimiento con muchas oportunidades para mejorar.

Los resultados del diagnóstico son presentados mediante un diagrama radial. Se resaltan los aspectos en donde los encuestados evalúan: Muy deficiente, Deficiente y Regular, para plantear a futuro acciones de mejora.

## Fase II

### *Actividad 2.1.*

#### *Definición de los problemas para los equipos relevantes*

Para la definición de tipos de fallo, se tomó como base la *Guía proceso de eliminación de defectos* de la empresa, la cual comprende las actividades necesarias para determinar la propuesta de solución de un incidente o fallo con el fin de eliminar la causa raíz y evitar su repetición o mitigar sus consecuencias. Posteriormente, se desarro-

lló la primera de las cuatro etapas de la guía, donde se analiza el problema y es definido el nivel de investigación de los eventos basados en la matriz de valoración de riesgos RAM, lo que permite establecer las metodologías a implementar. Finalmente, se determinó para el nivel N1 denominado *Consecuencia baja*, la metodología de los cinco porqués mediante la implementación de los formatos oficiales de la empresa.

### Actividad 2.2.

#### Definición y priorización de los tipos de fallo

Es llevada a cabo basados en la sección sobre Mecanismo de fallo de [37] en la norma ISO 14224, la cual hace referencia al mecanismo de fallo como un proceso físico o químico, o cualquier otro proceso o combinación de proceso que conducen al fallo. El mecanismo de fallo es un atributo del evento de fallo que se puede deducir técnicamente, un ejemplo sería, la causa aparente observada del fallo. Así pues, los códigos en el mecanismo de fallos están básicamente relacionados con una de las siguientes categorías príncipes de tipos de fallo propuestos por [37]:

- Fallos mecánicos.
- Fallos de material.
- Fallos de instrumentación.
- Fallos eléctricos.
- Influencia externa.
- Varios.

Una vez definidos los tipos de fallo, se realizó una priorización de estos. Se hace necesaria la priorización de los tipos de fallo ya que el análisis de causa raíz (ACR), siguiente fase de la investigación, es aplicada a los tipos de fallo y un equipo puede presentar múltiples tipos de fallo. La priorización de los tipos de fallo se llevó a cabo para las plantas piloto, según el tipo de fallo presentado en los históricos de fallos del 2013 y 2017, en función del nivel de criticidad de los mismos según el indicador de riesgo total anual (RTA) propuesto por Crespo [23], expuesto a continuación:

#### Ecuación 1

$$RTA=CAR+PAF$$

#### Ecuación 2

$$CAR=FF*(CMO+CM)$$

#### Ecuación 3

$$PAF=FF*PE$$

#### Ecuación 4

$$PE=TR*IP$$

Donde:

- CAR: coste anual de reparación (pesos/año).
- PAF: penalización anual por fallos (pesos/año).
- FF: frecuencia de fallo (fallos/año).
- CMO: costes mano de obra por fallo (pesos/fallo).
- CM: costes materiales por fallo (pesos/fallo).
- TR: tiempo de reparación (horas/fallo).
- IP: impacto de producción (pesos/hora).
- PE: penalización por evento fallo (pesos/fallo).

Las variables de CMO, CM, TR e IP, son determinadas a partir de un promedio entre sus respectivos valores, con la finalidad de calcular la variable según su unidad.

Los costos de mano de obra, de materiales y el tiempo de reparación, son solicitados a la empresa para cada uno de los eventos registrados en los históricos de fallos. El impacto de la producción es determinado recolectando información de los AMFE respectivos, de una columna que representa la producción perdida en dólares por hora, la cual fue llevada a pesos colombianos empleando la tasa representativa del mercado (TRM) para el año evaluado del evento correctivo, esta tasa es obtenida del Banco de la República de Colombia. Una vez definido el valor RTA y jerarquizado cada tipo de fallo, se utilizó el criterio de Pareto para analizar y definir las hipótesis de los tipos de fallos que generan el 80 % de las pérdidas [38].

*Actividad 2.3.*

*Definición de hipótesis los tipos de fallo priorizados*

Son definidas y validadas las hipótesis durante el proceso de ACR en conjunto con el diferente personal que intervino, sean líderes de planta piloto, mantenedores del área de mantenimiento u operarios de las plantas.

*Actividad 2.4.*

*Reportar los tipos de fallo priorizados, sus causa raíz y la propuesta de solución para cada uno de ellos*

Una vez priorizados los tipos de fallo conocemos el objetivo de implementación del análisis de causa raíz. Se aplica el método de análisis de causa raíz (ACR) para los tipos de fallo priorizados en las plantas piloto.

Para el desarrollo de la presente sección se empleó el manual para la aplicación de la metodología de análisis de causa raíz [39], el cual consta de cuatro fases explicadas con más detalle a continuación en la tabla 4.3.

*Actividad 2.5.*

*Definición de causa raíz para los tipos de fallo priorizados en tres categorías: causa raíz física, causa raíz humana y causa raíz latente*

Finalmente, con las causas raíz encontradas se determinaron cuáles de ellas son de categoría física, humana o latente, según la definición presentada en el marco teórico de la presente investigación.

Tabla 4.3. Metodología de análisis de causa raíz

Fases	Descripción	Pasos
I. Registro de incidentes o malos actores	La captura (registro) de un incidente o mal actor junto con la información relevante, decidir si se debe realizar un ACR y a qué nivel se debe conducir la investigación en caso de ser necesario	1. Reporte de incidentes o malos actores
		2. Clasificación de Incidentes o jerarquización de malos actores
II. Análisis de problemas	Dividir una situación compleja en porciones manejables. Respuestas a "¿cuál es el problema?"	3. Identificación de problema
		4. Definición de problemas
III. Análisis de causa raíz	La búsqueda sistemática de las causas de un problema. Respuestas a "¿por qué?"	5. Análisis de causas posibles
		6. Validación de datos
		7. Verificación de causas
IV. Desarrollo de la solución	Una técnica sistemática para seleccionar la alternativa más balanceada (una que elimine las causas sin crear nuevos o peores problemas).	8. Selección de criterios

Fuente: Manual para aplicación de la metodología de análisis de causa raíz para la solución de problemas [40].

Fase III

*Actividad 3.1.*

*Determinar la frecuencia para cada tipo de fallo priorizado*

Se determina para los tipos o tipos de fallo priorizado en la Actividad 2.2., que cuenten con la información necesaria, su respectiva frecuencia, empleando la información suministrada en los históricos de fallos del 2013 al 2017 suministrados por la empresa. Se calculó la frecuencia para los tipos de fallo, mediante el siguiente cálculo [41]:

**Ecuación 5**

$$Frecuencia P. = (Q.eventos del MFP)/Tiempo$$

Donde:

- MTBF: Tiempo medio entre fallos. Hace referencia al tiempo que paso desde que ocurrió un fallo, hasta que ocurrió otro del mismo modo de fallo.
- Q. eventos del MFP: Cantidad de eventos registrados para los tipos de fallo priorizados.
- Tiempo: Rango de tiempo para el cual se trabaja la información.

#### *Actividad 3.2.*

##### *Establecer la severidad de los tipos de fallo priorizados*

Una vez terminado el análisis de ACR definiendo el tipo de causa raíz, se procedió con el análisis de severidad del tipo de fallo priorizado.

Establecida la severidad en los tipos y tipos de fallo priorizados, se escoge establecer la severidad a partir de la metodología actualmente empleada por la empresa en función de los escenarios de: (i) fuego, (ii) explosión y (iii) toxicidad, al mismo tiempo. Para esto se utilizó el formato el cual es resuelto por tipo de fallo priorizados, por parte de los respectivos líderes.

#### *Actividad 3.3.*

##### *Analizar los costos por incidente de los tipos de fallo priorizados*

Con el propósito de analizar los costos por cada incidente registrado de los tipos de fallo priorizados se llevó a cabo el cálculo del indicador de riesgo total anual (RTA), propuesto por Crespo [23] presentado anteriormente en la metodología de la Actividad 2.2., se empleó la información recolectada en esa misma actividad. Adicionalmente, se presenta un gráfico de línea de tiempo con los resultados. Este indicador es calculado para cada planta piloto que cuenta con la información necesaria para su respectivo cálculo.

#### *Actividad 3.4.*

##### *Establecer la criticidad como una medida de riesgo para los efectos de los tipos de fallo priorizados*

La criticidad del efecto de los tipos de fallo se estableció a partir de la matriz RAM a partir de dos fases. La primera fase consistió en identificar para todos los tipos de fallo priorizados de las plantas piloto sus "efectos". La segunda fase consistió en evaluar la "criticidad" de cada uno de los efectos identificados a partir de la valoración RAM. Adicionalmente, se actualizó el estudio de modos y efectos de fallo (AMFE) para las plantas piloto, los cuales fueron provistos por la empresa, planteándose recomendaciones a partir de la norma española (UNE-EN-60812) con respecto al procedimiento de análisis de los modos de fallo y de sus efectos (AMFE), de diciembre 2008.

## 4.4 Resultados

A continuación, se presentan los resultados organizados siguiendo la estructura presentada en la sección metodología, compuesta por las tres fases.

### Fase I

#### *Actividad 1.1.*

##### *Diseño del instrumento para el diagnóstico del área de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector oil & gas*

### Resultados

El instrumento cuenta con seis perspectivas: "recursos gerenciales" responde doce preguntas, "gerencia de la información" responde once preguntas, "equipos y técnicas de mantenimiento preventivo"

responde doce preguntas, "planificación y ejecución" responde doce preguntas, "soporte, calidad y motivación" responde once preguntas, "aspectos técnicos asociados a la gestión del mantenimiento" responde catorce preguntas.

*Actividad 1.2.*

*Aplicación del instrumento para el diagnóstico para el área de mantenimiento*

**Resultados**

Fue encuestado todo el personal planificado asociado a líderes de las plantas piloto en cuestión.

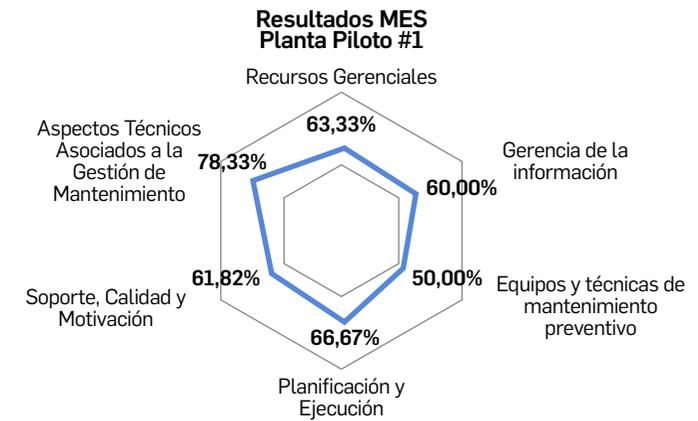
*Actividad 1.3. Análisis de resultados del diagnóstico del área de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector oil & gas*

**Resultados**

A continuación, se exponen los resultados del diagnóstico del área de mantenimiento en un Centro de Innovación y Tecnología, del sector *oil & gas*, para una muestra de ocho plantas piloto. Se exponen mediante figuras de tipo radial los resultados del instrumento MES para las ocho plantas piloto.

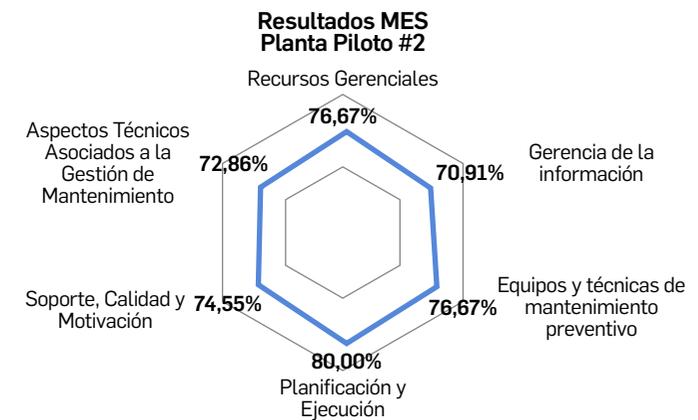
En la tabla 4.4 (página 291) se planten las acciones de mejora genéricas para cada una de las preguntas con respuestas: Muy Deficiente, Deficiente y Regular.

Figura 4.7. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 1



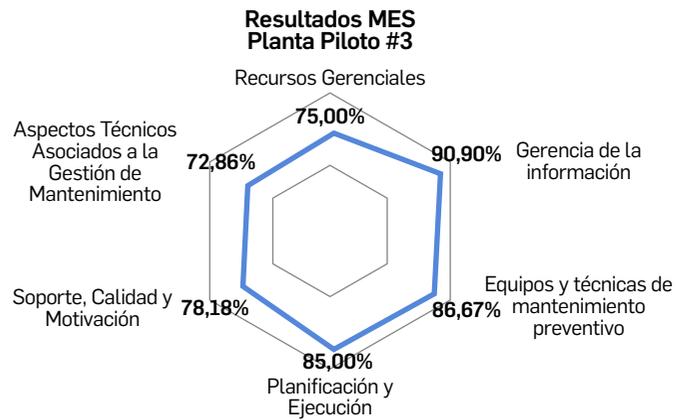
Categoría: 217–288, categoría "Muy buena"/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 4.8. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 2



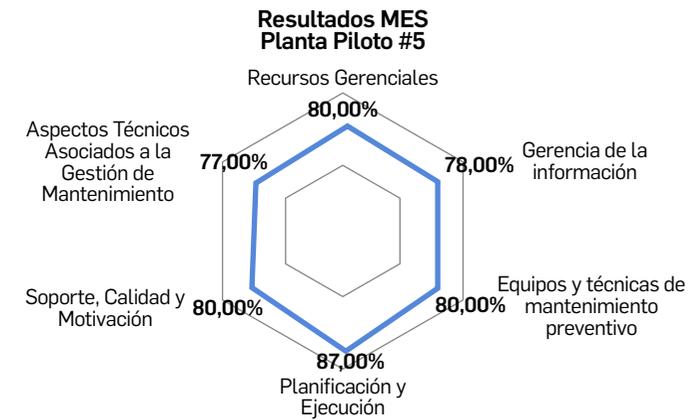
Categoría: 217-288, categoría "Muy buena"/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 4.9. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 3



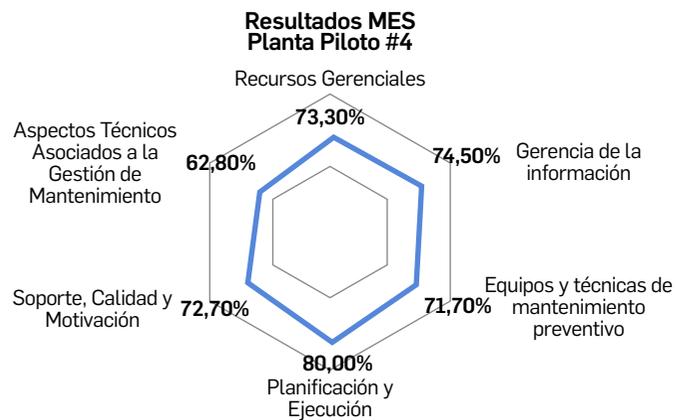
Categoría: 300–261, categoría “Clase Mundial”/nivel de excelencia en mantenimiento.

Figura 4.11. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 5



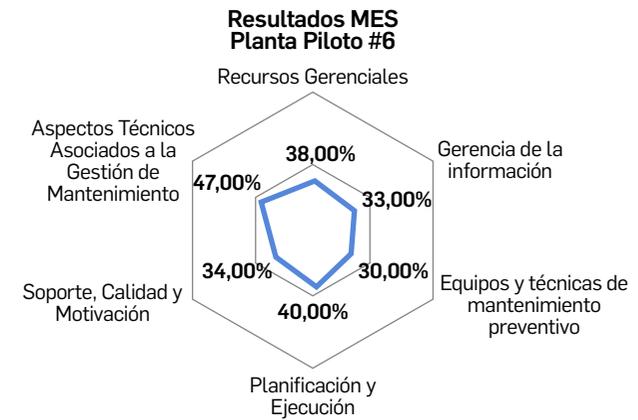
Categoría: 300–261, categoría “Clase Mundial”/nivel de excelencia en mantenimiento.

Figura 4.10. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 4



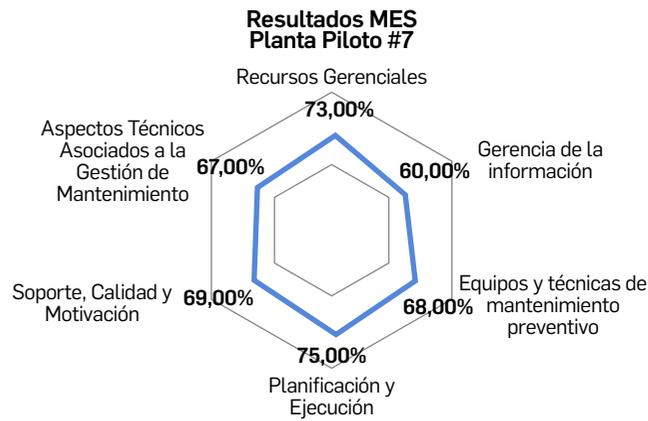
Categoría: 217–288, categoría “Muy buena”/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 4.12. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 6



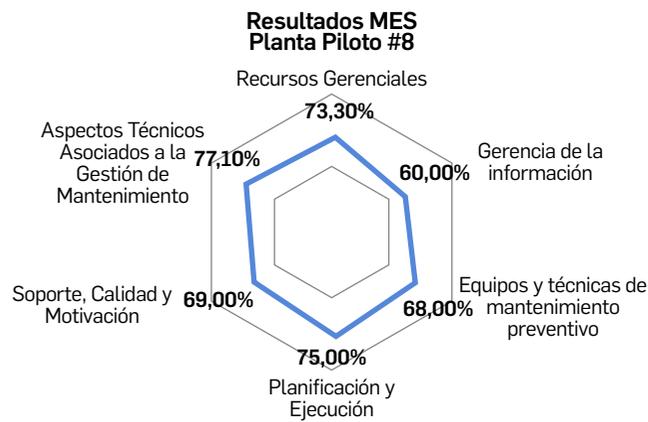
Categoría: 217–288, categoría “Muy buena”/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 4.13. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 7



Categoría: 217–288, categoría "Muy buena"/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Figura 4.14. Representación gráfica resultados aplicación MES, planta piloto 8



Categoría: 217–288, categoría "Muy buena"/nivel buenas prácticas de mantenimiento.

Tabla 4.4. Acciones de mejora respuestas mes

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Recursos gerenciales	1	¿Usted siente que el área de mantenimiento está dotada para realizar su trabajo?	Diseñar una lista de chequeo que incluya los recursos necesarios para realizar la labor.
	2	¿La estructura completa del área de mantenimiento parece ser lógica y favorece al cumplimiento de las actividades de mantenimiento?	Se recomienda revisar la estructura del área.
	3	¿El área de mantenimiento ayuda a eliminar las barreras que el mantenedor encuentra en su trabajo y de las cuales no tiene control?	Promover unión de trabajo entre operación y mantenimiento.
			Se recomienda realizar capacitaciones al personal de mantenimiento.
	4	¿La dirección del ICP estimula al área de mantenimiento a alcanzar las metas de los líderes de los laboratorios y plantas piloto?	Promover unión de trabajo entre líderes de operación y personal de mantenimiento
	5	¿La dirección del ICP estimula a los líderes de laboratorios y plantas piloto a que ayuden a mantenimiento en la realización de sus actividades?	Promover realización de actividades proactivas de mantenimiento.
			Promover la participación de los líderes de operación en la labores de mantenimiento.
6	¿Se desarrollan equipos de trabajo entre mantenimiento y la operación (laboratorios-plantas piloto), para resolver problemas que afecten a ambas partes?	Es importante conformar equipos multidisciplinarios para resolver problemas que afecten a las áreas de mantenimiento y de operación.	
7	¿La dirección del ICP estimula al personal de mantenimiento y a los líderes de laboratorio y plantas piloto a que trabajen juntos en la resolución de problemas que afectan la disponibilidad de los equipos I+D?		

Continúa

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Recursos gerenciales	10	¿La dirección del ICP revisa y le hace seguimiento a los objetivos de las plantas piloto y los laboratorios en reuniones de trabajo con el personal de mantenimiento y líderes de laboratorios y plantas piloto?	Gestionar la socialización de los objetivos y metas a cumplir a todo el personal de mantenimiento. Se recomienda gestionar la participación de los líderes del área de mantenimiento en la definición y cumplimiento de objetivos y metas propuestas.
	12	¿Los objetivos del área de mantenimiento están alineados con la visión y misión de la dirección del ICP?	Socializar e interiorizar la misión y visión del Centro de Innovación y Tecnología al personal ejecutor del mantenimiento.
Gerencia de la información	13	¿La organización utiliza de forma eficiente el sistema computarizado de gestión del mantenimiento (SAP)?	Facilitar cursos de la plataforma de información al personal correspondiente.
	15	¿La organización mantiene actualizado el SAP?	Se recomienda realizar un adecuado seguimiento de las O.T. hasta su cierre.
	16	¿Ha sido el personal debidamente entrenado para su uso?	Facilitar cursos de la plataforma de información al personal correspondiente.
	17	¿La organización mantiene registros precisos de fallas en sus sistemas?	Promover una cultura de actualización continua del sistema de información.
	18	¿Están los materiales y repuestos codificados en SAP?	Se recomienda mejorar la forma de catalogar y codificar los diferentes elementos de sistema de información.
	19	¿Se toman decisiones a partir de los reportes generados por SAP?	Se recomienda actualizar la plataforma de información teniendo en cuenta las necesidades en el proceso de toma de decisiones.
	20	¿La organización evalúa los tiempos operativos y fuera de servicio?	Incluir y monitorizar en el sistema de información parámetros útiles para generar estrategias de mejora.

Continúa

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Gerencia de la información	22	¿La organización del mantenimiento se compara para medir su desempeño?	Se recomienda establecer un equipo de seguimiento y control que permita comparar su desempeño. Realizar análisis mensuales en base a las actividades gestionadas el mes anterior, asimismo, identificar falencias y realizar acciones de mejor respecto a estos incidentes.
	24	¿El área del mantenimiento utiliza algún tipo de medida de comparación (costos de mantenimiento/costos de producción)?	Se recomienda actualizar la plataforma de información teniendo en cuenta las necesidades en el proceso de toma de decisiones.
Equipos y técnicas de mantenimiento Preventivo	26	¿Se revisan periódicamente los planes de MP, aumento/descenso, necesidades de adiestramiento, etc.?	
	27	¿El área de mantenimiento tiene personal dedicado exclusivamente a realizar actividades de mantenimiento preventivo (MP)?	Conformar equipos de personal de mantenimiento que se dediquen exclusivamente a realizar actividades de mantenimiento preventivo.
	28	¿El personal de los laboratorios y plantas piloto, ayudan en las actividades de mantenimiento autónomo (limpieza, lubricación, ajustes e inspección visual)?	Promover al personal correspondiente sobre las buenas prácticas del mantenimiento autónomo.
	29	¿El área de mantenimiento utiliza técnicas de mantenimiento predictivo (vibración, análisis de aceite, ultrasonido, etc.)?	Enfocar capital humano a investigar las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo enfocado a los equipos relevantes de las plantas piloto y laboratorios.
	30	¿El área de mantenimiento les hace seguimiento a los costos de mantenimiento preventivo y predictivo?	Se recomienda implementar indicadores de gestión para llevar dicho seguimiento.
	31	¿Los grupos de producción y operaciones permiten que el personal de mantenimiento tenga acceso a los equipos en las fechas estimadas de mantenimiento preventivo (MP)?	Informar adecuadamente las fechas estimadas para las acciones de mantenimiento preventivo a los grupos de producción y operaciones.

Continúa

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Equipos y técnicas de mantenimiento Preventivo	32	¿El área de mantenimiento tiene la cultura de analizar y evitar las fallas repetitivas?	Generar capacitaciones en el personal de mantenimiento asociado a las buenas prácticas de sus actividades.
	33	¿Se incluye al personal de mantenimiento, laboratorios y plantas piloto en el proceso de evaluación de equipos nuevos?	Se recomienda durante el proceso de incorporación de equipos tener en cuenta la opinión del personal de la operación.
	35	¿Se adiestra de forma adecuada a las personas que van a mantener los equipos nuevos?	Realizar capacitaciones específicas referente a los equipo con la ayuda de instructores de casa matriz.
	36	¿Las gerencias del ICP hacen seguimiento y evalúa los costos de operación y mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de sus activos?	Implementar indicadores de gestión que permitan llevar el seguimiento de los costos de la operación y el mantenimiento, a lo largo del ciclo de vida de los activos.
Planificación y ejecución	37	¿Son priorizadas las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo?	Realizar priorización de equipos y modos de fallo, y teniendo en cuenta los resultados, generar orden de prioridad para las actividades de mantenimiento.
	41	¿El área de mantenimiento registra la información obtenida por la ejecución de la actividad de mantenimiento (correctiva/preventiva)?	Realizar capacitaciones al personal responsable de llevar los registros de la información por la ejecución de la actividad de mantenimiento en el sistema de información.
	43	¿Son las actividades correctivas bien planificadas antes de ejecutarse?	Se recomienda la organización de cada una de las actividades a realizar en las acciones correctivas permitiendo la organización y ejecución planificada.
	44	¿El área de mantenimiento utiliza planificadores de mantenimiento para preparar el alcance de mantenimiento mayor asociado a plantas piloto?	Diseñar un procedimiento mediante el cual el área de mantenimiento pueda elaborar planes mayores asociados a las plantas piloto.
	45	¿El área de mantenimiento utiliza contratistas calificados para realizar labores de mantenimiento?	Se recomienda estudiar la situación actual para enfocar la contratación del personal de mantenimiento en función de estos problemas.

Continúa

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Planificación y ejecución	48	¿Se define el camino crítico de los mantenimientos mayores asociados a las plantas piloto y se identifican los repuestos críticos?	Se recomienda realizar estudios para la jerarquización de los componentes y realizar planificación de las acciones correctivas.
Soporte, Calidad Y Motivación	49	¿Están disponibles los repuestos y materiales a la hora de ejecutar actividades de mantenimiento?	Se recomienda establecer modelos de inventarios asociados a las características de los equipos.
	50	¿Está el proceso de compra de repuestos bien organizado y sus tiempos de repuesta son eficientes?	Realizar una revisión y actualización del proceso de compra de repuestos.
	51	¿Se controla bien la salida y entrada de repuestos a la bodega de materiales?	Se recomienda mejorar la segmentación por componentes en los sistemas de información.
	52	¿Se tiene un proceso de cuantificación de <i>stock</i> de repuestos que incluya el criterio del impacto de no tener el repuesto en la bodega de materiales?	Realizar un estudio de inventarios que evalúe el impacto de no contar con <i>stock</i> para repuestos críticos en bodega de materiales.
	53	¿Se tienen identificados los tiempos de reposición y los costos de los repuestos?	Se recomienda realizar catalogación de los componentes críticos y mantenerlos en <i>stock</i> .
	54	¿El criterio de calidad en el desarrollo de las actividades de mantenimiento está por encima del criterio de rapidez?	Se recomienda establecer los criterios más importantes a la hora de realizar las actividades de mantenimiento con personal de operación y mantenimiento.
	55	¿Se tiene un proceso que permita verificar la calidad de las actividades de mantenimiento ejecutadas?	Realizar actividades que permitan verificar la calidad de las tareas ejecutadas por mantenimiento.
	56	¿Es la calidad en el área de mantenimiento un objetivo importante?	Se recomienda analizar los objetivos primordiales del área de mantenimiento.
57	¿Tiene la organización un interés real en satisfacer las diferentes necesidades de sus trabajos?	Concientizar a la organización mediante charlas, sobre los beneficios económicos que acarrea a está satisfacer las necesidades de sus trabajos mediante un interés real.	

Continúa

Perspectiva	N.º de Preg.	Pregunta	Acción de mejora
Aspectos Técnicos asociados a la Gestión de Mantenimiento	65	¿La disponibilidad media de la planta es adecuada?	Realizar estudios sobre el tema con el propósito de darle una solución pertinente al problema.
	68	¿La evolución del tiempo medio entre fallos en equipos esenciales es positiva?	Se recomienda calcular indicadores clave para mejorar la gestión del área de mantenimiento.
	69	¿El número de órdenes de mantenimiento (OM) de emergencia es bajo?	
	70	¿El número de OM de emergencia está descendiendo?	
	71	¿El tiempo medio de reparación en equipos esenciales está descendiendo?	
	72	¿El tiempo medio de reparación en equipos esenciales es bajo?	
	74	¿El número de averías repetitivas está descendiendo?	
	75	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento es el adecuado?	Realizar planes de optimización con el propósito de mantener o subir el indicador.
	76	¿El número de horas/hombre invertidas en mantenimiento está descendiendo?	Se recomienda calcular indicadores clave para mejorar la gestión del área de mantenimiento.
	77	¿El gasto en repuestos es el adecuado?	Realizar estudios sobre el tema con el propósito de darle una solución pertinente al problema.
78	¿El gasto en repuestos está descendiendo?	Se recomienda calcular indicadores clave para mejorar la gestión del área de mantenimiento.	

## Fase II

### Actividad 2.1.

*Definición de los problemas para los equipos relevantes*

### Resultados

Debido a que la empresa no cuenta con un formato de modos de fallo estandarizado para las plantas piloto y, adicionalmente, en su sistema de información se definen como un único activo, los modos de fallo serán definidos según el tipo de fallo presentado, es decir, eléctrico, mecánico e instrumental.

### Actividad 2.2.

*Definición y priorización de los tipos de fallo*

### Resultados

Los tipos de fallo se definieron como: mecánico, eléctrico, electrónico e instrumental, esto se registra en los históricos de fallo suministrados por la empresa. Este tipo de fallo se priorizan según el cálculo del riesgo total anual (RTA). Trabajando el 80 % de los tipos de fallo priorizados para cada planta piloto expuesta. La priorización de los tipos de fallo para las plantas piloto se presenta en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Tipos de fallo priorizados para cada planta piloto

Tipo de fallo	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulado
<b>Planta piloto 1</b>		
Instrumental	49,76 %	49,76 %
Mecánico	25,65 %	75,41 %
Eléctrico	24,59 %	100,00 %

Continúa

Tipo de fallo	Porcentaje relativo	Porcentaje acumulado
<b>Planta piloto 2</b>		
Instrumental	49,83 %	49,83 %
Mecánico	41,34 %	91,17 %
Eléctrico	8,83 %	100,00 %
<b>Planta piloto 3</b>		
Mecánico	100 %	100 %
<b>Planta piloto 4</b>		
Instrumental (taponamiento)	33,74 %	33,74 %
Instrumental (deficiencia estructural)	32,71 %	66,45 %
Instrumental (falla comunicaciones)	22,03 %	88,48 %
Salida Errática	11,52 %	100 %
<b>Planta piloto 5</b>		
Mecánico	62,54 %	62,54 %
Instrumental	18,95 %	81,49 %
Eléctrico	18,51 %	100 %
<b>Planta piloto 6</b>		
Mecánico	58,35 %	58,35 %
Eléctrico	29,76 %	88,11 %
Instrumental	11,89 %	100 %
<b>Planta piloto 7</b>		
Mecánico	71,00 %	71,00 %
Instrumental	29,00 %	100 %
<b>Planta piloto 8</b>		
Mecánico	66,47 %	66,47 %
Eléctrico	19,45 %	85,92 %
Electrónico	14,02 %	99,94 %
Instrumental	0,06 %	100 %

Actividad 2.3.

Definición de hipótesis los tipos de fallo priorizados

Resultados

A continuación, se presenta la definición y la respectiva verificación de las hipótesis durante el proceso de ACR para las plantas piloto expuestas.

Tabla 4.6. Resultados de la definición y verificación de hipótesis para los tipos de fallo priorizados

Planta	Tipo de fallo	Hipótesis
Planta piloto 1	Instrumental	Taponamiento
	Mecánico	Sobrepresión en el ajuste de la rosca del reactor
Planta piloto 2	Mecánico	Coquización del flujo de la línea
	Instrumental	Ciclo de vida útil
		Falla prematura
		Ausencia de mantenimiento proactivo
		Backpressure de nitrógeno sin regulación
Planta piloto 3	Mecánico	Inicialmente se puede concluir que el problema se ubica en el <i>chiller</i> del estabilizador de la planta
Planta piloto 4	Instrumental (taponamiento)	Válvula no disminuye nivel
		Falla controlador de flujo
	Instrumental (deficiencia estructural)	Medidores y válvulas deteriorados
		Explosión del <i>Ritter</i>
Instrumental, (falla de comunicación)	Medidor del flujo averiado	

Continúa

Planta	Tipo de fallo	Hipótesis
Planta piloto 5	Mecánico	Contaminación de la bomba de vacío
		Fallas en mantas de calentamiento
		Ausencia de mantenimiento
		Desgaste en junta cardánica
	Instrumental	Daños en sensores de vacío
		Fallo por mal uso
		Descalibración por RTD
Planta piloto 6	Mecánico	La falla de la bomba Eldex interrumpe el proceso petroquímico hidrocraqueo
Planta piloto 7	Mecánico	Localizado en los controlador H2- vasos reguladores de aire (STD)
	Instrumental	Localizados en el sensor de gases N6L3M9 PP1 (OTH)
Planta piloto 8	Eléctrico	Sobrepresión en la línea
		Horno no logra llegar a la temperatura indicada
		Carga no logra alcanzar la temperatura deseada
		Se evidencia por sobrecalentamiento
	Mecánico	Motor no llega a las RPM deseadas
		Eje soporte motor fracturado
		No transfiere producto hacia el tanque

**Actividad 2.4.**

*Definición y validación de causa raíz para los tipos de falla priorizados, en tres categorías: física, humana y latente*

**Resultados**

En esta sección se presenta los análisis de causas raíces elaboradas para cada planta piloto partiendo de la metodología propuesta. A continuación, se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 1 asociado al tipo de fallo mecánico, tabla 4.7.

Tabla 4.7. Análisis de causa raíz concreta, planta piloto 1: tipo mecánico

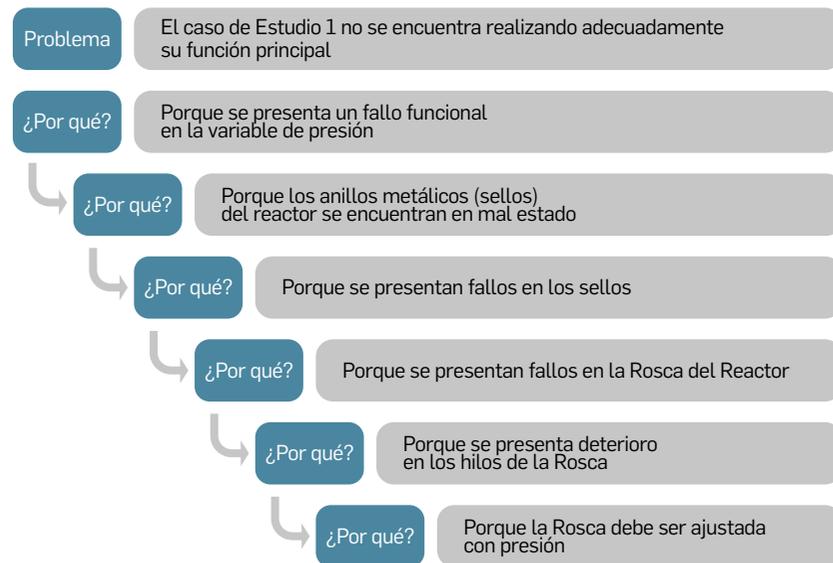
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: reporte de incidentes	OT. 67460: Descripción: "Corregir fuga de aceite bomba Milton Roy" (12/02/2014). OT. 69789: Descripción: "Separar anillos de sello incrustados reactor" (17/06/2014). OT. 71777: Descripción: "Mtto correctivo bomba dosificadora" (07/10/2014).
	Paso 2: clasificación de incidentes  Personas: 3C = Medio. Ambiental: 3C = Medio. Económica: 1E = Bajo.	Matriz RAM  Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: identificación del problema  Ventanas operativas planta piloto 1 Presión: 20-70 bar Temperatura: 450 °C máx. Velocidad espacial: 0.2-4 h-1	Esperado: ventanas operativas de la planta piloto. Actual: se encuentra en condiciones de operación. Impacto: un mes o un día laboral de horas no trabajadas, ya sea por compra o mantenimiento (asumiendo contar con los <i>kits</i> necesarios).
	Paso 4: definición del problema	Localización: sistema de presión en la unidad de reacción. Tiempo: 1 fallo (en 4 años). Extensión: puede afectar otras plantas piloto (casos excepcionales).
III. Análisis de causa raíz	Paso 5: análisis de causa posible  Diagrama 5 porqués planta piloto 1 (ver figura 4.15) Diagrama causa-efecto planta piloto 1 (ver figura 4.17)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT).
	Paso 6: validación de datos	Causa probable: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados por operarios de la planta.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
IV. Análisis de causa raíz	Paso 7: verificación de causas	Causa raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados con la OT 69789 de mantenimiento.
V. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Incluir en el estándar de trabajo una actividad para analizar los sellos del reactor de la planta. Fundamentar el estándar de trabajo para el mantenimiento preventivo de la planta, en base a un estudio del comportamiento por desgaste en función de la fiabilidad de la planta piloto. Desarrollar un procedimiento operativo para la tarea de ajustar la rosca.

A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 1. Figura 4.15.

Figura 4.15. Diagrama cinco porqués planta piloto 1



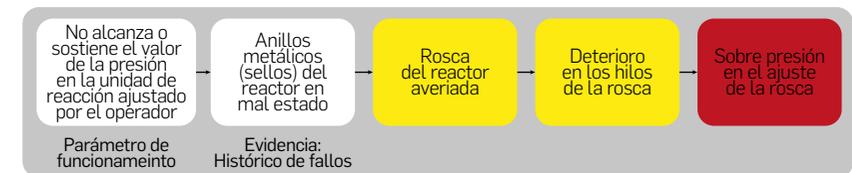
Antes de presentar los resultados, se expone en la figura 4.16 la convención de colores asociada a los diagramas de causa-efecto.

Figura 4.16. Convención de colores asociada a los diagramas de causa-efecto



A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 1.

Figura 4.17. Diagrama causa-efecto planta piloto 1



A continuación, se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 2 asociado al tipo de fallo mecánico.

Tabla 4.8. Análisis de causa raíz concreta, planta piloto 2: tipo mecánico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 71214: Descripción: "Reparación bomba de engranajes" (05/09/2014). OT. 75014: Descripción: "Reemplazo sello de mirilla nivel (NaOH)" (14/04/2015).

Continúa

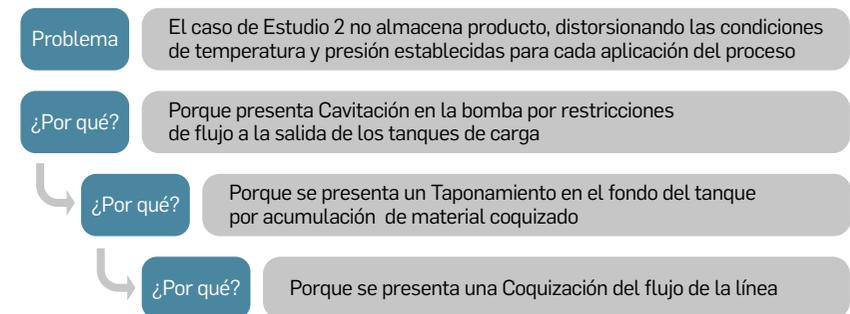
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
II. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 77183: Descripción: "Revisión cto enfriamiento y lubr P-3500" (21/08/2015). OT. 77499: Descripción: "Revisión bomba P-4701" (10/09/2015). OT. 78681: Descripción: "Limpieza exte. TK4709" (13/01/2016).
	Paso 2: Clasificación de incidentes  Personas: 3D = Medio. Ambiental: 3D = Medio. Económica: 1E = Bajo.	Matriz RAM  Global: Medio
III. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema	Esperado: ventanas operativas de la planta piloto. Actual: se encuentra en condiciones de operación. Impacto: ocho horas no trabajadas. (asumiendo una actividad normal laboral).
	Paso 4: Definición del problema	Localización: sistema de temperatura y presión. Tiempo: 2 fallos (en 4 años). Extensión: no afectan otro equipo o subcomponente.
IV. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama 5 porqués planta piloto 2 (ver figura 4.18) Diagrama causa-efecto planta piloto 2 (ver figura 4.19)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT. 71214-OT. 77499)
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados por operarios de la planta.
	Paso 7: Verificación de causas	Causa raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados con las OT 71214-77499 de mantenimiento.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
IV. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Minimizar la probabilidad de taponamiento en la línea mediante la propuesta de una técnica de diseño experimental, denominada análisis de varianza con la que se pretende analizar la dispersión dentro de una variable y frete a las demás agrupaciones o conglomerados.

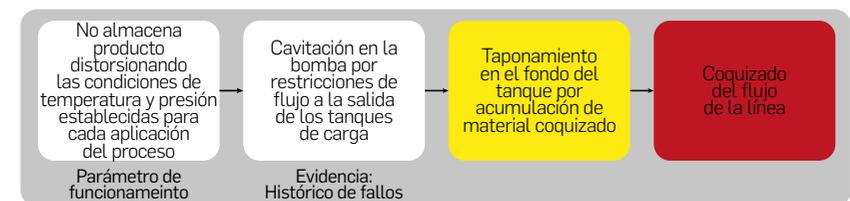
A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 2.

Figura 4.18. Diagrama cinco porqués planta piloto 2



A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 2 (figura 4.18):

Figura 4.19. Diagrama causa-efecto planta piloto 2



Se presenta ahora el análisis de causa raíz para la planta piloto 3 asociada al tipo de fallo mecánico.

Tabla 4.9. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 3, tipo mecánico

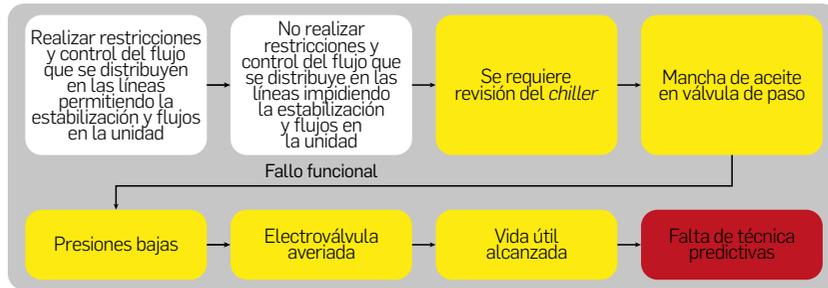
Fases	Información Recopilada	Resultados Concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	La Planta presenta una falla "en el <i>chiller</i> de estabilización, en la cual se manifiesta una mancha de aceite en la válvula de paso, verificado mediante una mancha de aceite en las tuercas entre el cobre y el aluminio, con lo que se sugieren escapes y se verifica que el equipo tiene una presión baja. Con esto se desmonta el equipo, se aplica SAES en tablero, se traslada al área de mantenimiento y se procede al arreglo de la válvula de paso, se realiza la lubricación de tuercas, se procede a reunir la prensaestopas, se traslada el equipo nuevamente al área de <i>cracking</i> , se realizan pruebas y el equipo queda funcionando apropiadamente". (03/01/2016).
	Paso 2: Clasificación de incidentes Personas: 2C = Medio. Ambiental: 2C = Medio. Económica: 2C = Medio.	Matriz RAM Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema Ventanas operativas planta piloto 3 La unidad piloto de <i>cracking</i> catalítico fluidizado (FCC) posee un amplio rango de flexibilidad en la operación Las relaciones catalizador/carga típicas oscilan entre un mínimo de 3 a más de 10 g/g con velocidades espaciales (WHSV) que van desde 20 a 160 h-1.	Esperado: ventanas operativas de la planta piloto. Impacto: el tiempo estimado de parada del equipo es de 16 horas, con un costo de reparación de \$15 USD y efectos menores en la salud, la seguridad y el medioambiente.

Continúa

Fases	Información Recopilada	Resultados Concretos
III. Análisis de problemas	Los catalizadores pueden ser evaluados a temperaturas de reacción que van desde 500 °C hasta 600 °C. La unidad utiliza aproximadamente 2800 g (2.8 kg) de catalizador de <i>cracking</i> . Los flujos de carga de hidrocarburos durante la operación pueden variar desde un mínimo de 350 g/h hasta un máximo de 2.000 g/h.	Esperado: ventanas operativas de la planta piloto. Impacto: el tiempo estimado de parada del equipo es de 16 horas, con un costo de reparación de \$15 USD y efectos menores en la salud, la seguridad y el medioambiente.
	Paso 4: Definición del problema	Localización: <i>chiller</i> del estabilizador de la planta. Tiempo: 1 Fallo (en el tiempo de estudio).
IV. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible Diagrama causa-efecto planta piloto 3 (ver figura 4.20)	Causa posible: Se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT).
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable y raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados con la OT 78927 de mantenimiento, donde se puede corroborar que se requiere una revisión del <i>chiller</i> , debido a que se presenta una mancha de aceite en la válvula de paso y que el equipo se encuentra con presiones bajas.
	Paso 7: Verificación de causas	
V. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Incluir técnicas con una periodicidad menor relacionadas al mantenimiento predictivo.  Se recomienda mantener: Los procesos de mantenimiento preventivo.  Se recomienda evitar: La ocurrencia de una programación tardía del mantenimiento.

A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 3:

Figura 4.20. Diagrama causa-efecto planta piloto 3



A continuación, se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 4 asociado al tipo de fallo instrumental (taponamiento).

Tabla 4.10. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 4, tipo de fallo instrumental (taponamiento)

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	Descripción: "Revisar válvula control LIC300" (28/09/2015). Descripción: "Revisión y calibración de LV-320 bioaceite." (05/10/2015). Descripción: "Reparar <i>backpressure</i> de PCV-301 bioaceite" (14/10/2015).
	Paso 2: Clasificación de incidentes	Matriz RAM  Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 4 Remoción de oxígeno y estabilización de compuestos que polimerizan con el tiempo debido a su grado de reactividad.	Esperado: principal objetivo de la planta piloto. Actual: no se encuentra desempeñando su principal función, debido a su versatilidad está realizando la reducción de acidez de crudos pesados.

Continúa

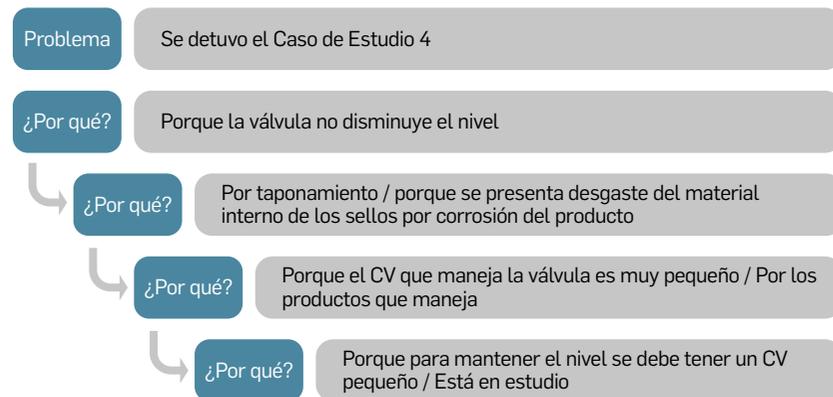
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de problemas	Paso 3: identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 4 Remoción de oxígeno y estabilización de compuestos que polimerizan con el tiempo debido a su grado de reactividad.	Impacto: en caso de no lograr salvar la corrida se pierde una semana de trabajo realizado para activar el catalizador equivalente a 168 horas hombre, y siendo que la hora es aproximadamente COP 213.000, equivale a COP 35.784.000. Si se pierde el catalizador se tiene una pérdida de aproximadamente COP 30.000.000
	Paso 4: Definición del problema	Localización: los principales fallos se presentan en válvulas y medidores de flujo, nivel y presión. Tiempo: 11 fallos (en el 2015). Extensión: si el controlador de flujo másico falla y no se corrige rápidamente, se ocasiona el daño del catalizador. Si se dañan las válvulas puede ocasionar la explosión de tanque por sobrepasar las 100 psi máximas debido a que el proceso de paso se debe realizar manualmente de tanque con presión de 1300 psi.
IV. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama cinco porqués planta piloto 4 (ver figura 4.21) Diagrama causa-efecto planta piloto 4 (ver figura 4.22)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT) y del personal de mantenimiento con relación y conocimiento de la planta.
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable: resultan dos causas como probables las cuales son el estudio de la corrosión de los materiales internos de la válvula y el desfase de calibración de medidor de flujo con cámara húmeda. Los hechos para apoyar las causas propuestas son testimonio del encargado de mantenimiento y visita a campo con ingeniero de la planta piloto.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
V. Análisis de causa raíz	Paso 7: Verificación de causas	Causa raíz: se obtuvieron en total dos causas raíz en planta, la falta de tareas de inspección y dejar que tanto la válvula la como el medidor de flujo lleguen al punto de taparse. Estas están respaldadas en la descripción detallada de la OT y en los testimonios recogidos en campo.
VI. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Una tarea a condición/ reacondicionamiento donde mediante inspección se revise y evalúe que tan taponada o corroída está la válvula y a partir de ahí, decidir si se debe limpiar o en su defecto cambiar la válvula.

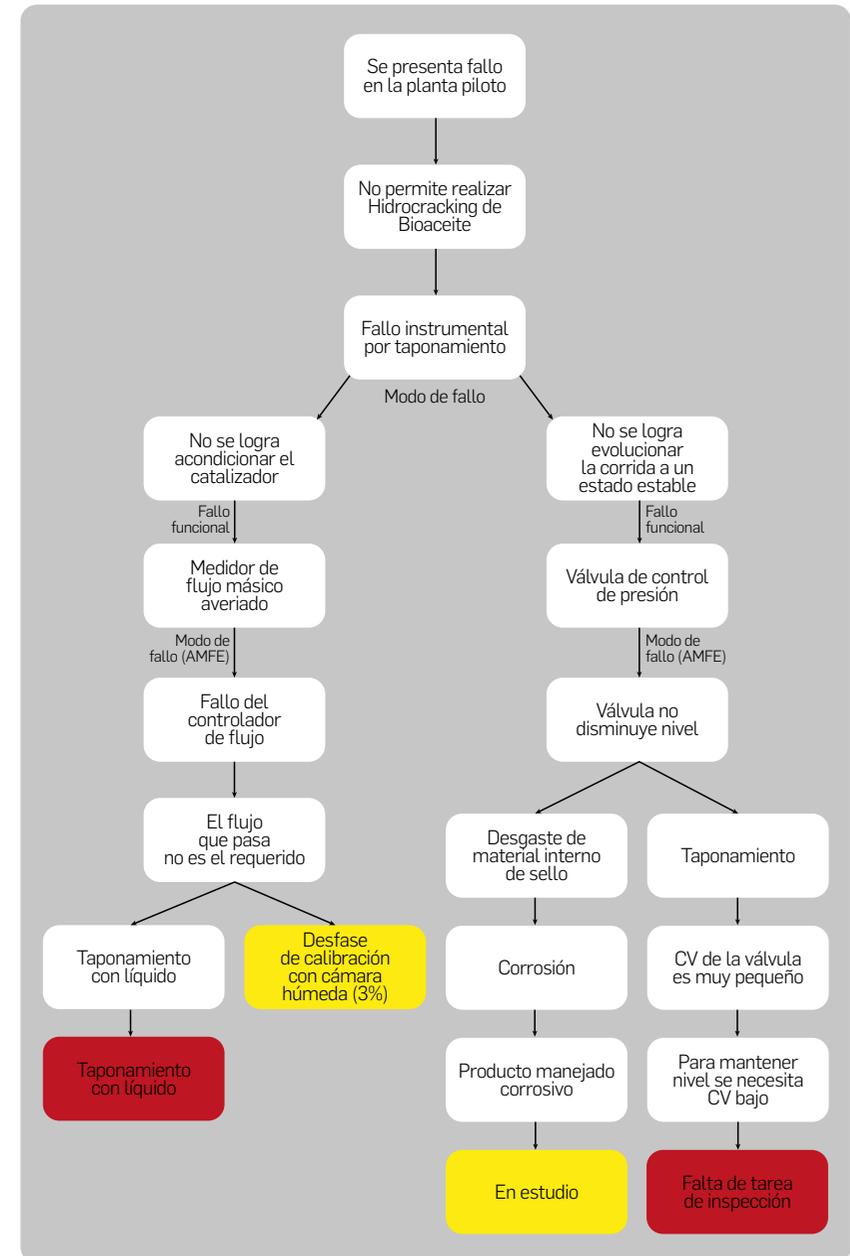
A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco por qué(s) para la planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taponamiento).

Figura 4.21. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taponamiento)



A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taponamiento)

Figura 4.22. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (taponamiento)



Ahora se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 4 asociada al tipo de fallo instrumental (deficiencia estructural, tabla 4.11).

Tabla 4.11. Análisis de causa raíz concreto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural)

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	Descripción: "Cambio del vástago de la válvula de cont." (29/04/2015). Descripción: "Revisión medidor flujo gases bioaceites" (26/08/2015). Descripción: "Revisión del LIC-89300 y posible cambio" (27/08/2015). Descripción: "Revisión baño enfriamiento JULABO U8900" (10/09/2015).
	Paso 2: Clasificación de incidentes  Personas: Medio. Ambiental: Medio. Económica: Medio.	Matriz RAM  Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 4 La planta piloto está diseñada para tomar bioaceite obtenido por pirolisis rápida, y realizar un hidrotatamiento, cuyo principal objetivo es la remoción de oxígeno y estabilización de compuestos que polimerizan con el tiempo debido a su grado de reactividad. El hidrógeno que se alimenta a la planta ingresa en una relación de 0.072 w/w con respecto al bioaceite. La unidad presenta una producción teórica de un 60 % w/w de bioaceite mejorado con respecto al cargado.	Esperado: principal objetivo y ventanas de operación para la planta piloto. Actual: no está desempeñando la función de mejoramiento de bioaceite, sino que, por su versatilidad, está realizando la reducción de acidez de crudos pesados. Impacto: en caso de no lograr salvar la corrida se pierde una semana de trabajo realizado para activar el catalizador equivalente a 168 horas hombre, y siendo que la hora es aproximadamente COP 213.000, equivale a COP 35.784.000. Si se pierde el catalizador se tiene una pérdida de aproximadamente COP 30.000.000

Continúa

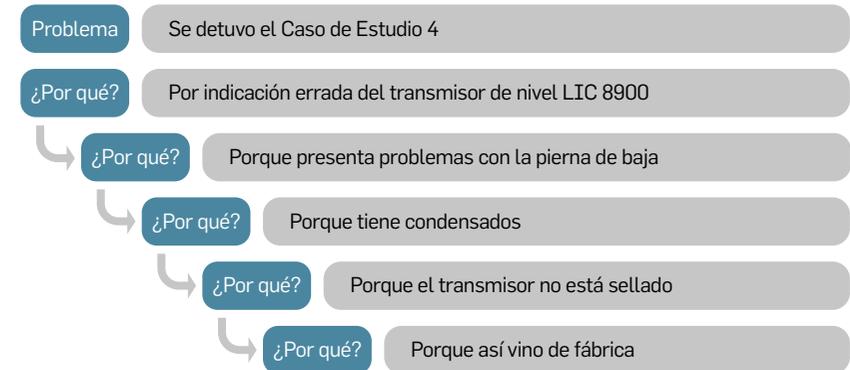
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de problemas	Paso 4: Definición del problema	Localización: los principales fallos se presentan en válvulas y medidores de flujo, nivel y presión. Tiempo: 11 fallos (en el 2015). Extensión: si el controlador de flujo másico falla y no se corrige rápidamente, se ocasiona el daño del catalizador. Si se dañan las válvulas puede ocasionar la explosión de tanque por sobrepasar las 100 psi máximas debido a que el proceso de paso se debe realizar manualmente de tanque con presión de 1300 psi.
IV. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama cinco porqués planta piloto 4. Opción uno (ver figura 4.23) Diagrama 5 porqués planta piloto 4. Opción dos (ver figura 4.24) Diagrama causa-efecto planta piloto 4 (ver figura 4.25)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT) y personal de mantenimiento con relación y conocimiento de la planta.
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable: para este tipo de fallo solo se encuentra una de las causas como descartada. Esta causa es: "Transmisor no indicado para el proceso" por no soportar las condiciones de operación, dado que, según lo reportado por el funcionario de mantenimiento encargado de dicha falla, este transmisor fue reemplazado por otro tipo de transmisor. Los hechos para apoyar las causas propuestas son testimonio del encargado de mantenimiento y visita a campo con ingeniero de la planta piloto.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
V. Análisis de causa raíz	Paso 7: Verificación de causas	Causa raíz: se obtuvieron en total tres causas raíz en la planta. Dos de estas son la mala selección o la inadecuación de transmisores para el proceso. La primera relacionada con el medidor de nivel y la segunda con el indicador de presión. La última causa raíz es la ausencia de una tarea proactiva de mantenimiento por daño por tiempo de uso del solenoide de válvula <i>on-off</i> . Todas las causas raíz encontradas están fundamentadas en la descripción detallada de las OT y en testimonios de encargados de planta piloto y mantenimiento.
VI. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: La necesidad de sellar o aislar la pierna de baja del medidor de nivel con presión diferencial, o adquirir un transmisor más indicado para el proceso, para de este modo evitar los condensados. En cuanto a los medidores de presión se recomienda cambiar estos por unos cuya ventana operativa sea de 0 a 3000 psi para de esta forma evitar medidas erróneas o imprecisas y que cuyo material sea químicamente compatible con el proceso. El funcionario de la planta piloto recomienda también la disminución de los tiempos de mantenimiento preventivo para de esta forma evitar fallos a causa del deterioro de sellos. Se recomienda evitar: El daño de la válvula <i>on-off</i> por deterioro en su solenoide por fin de su vida útil, se recomienda la implementación de una tarea proactiva de mantenimiento en donde se aumente la frecuencia de cambio de la misma.

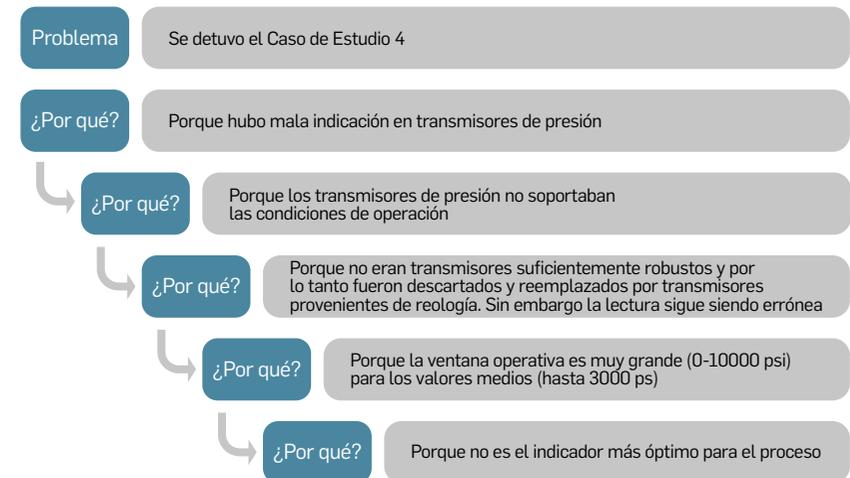
A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural).

Figura 4.23. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural)



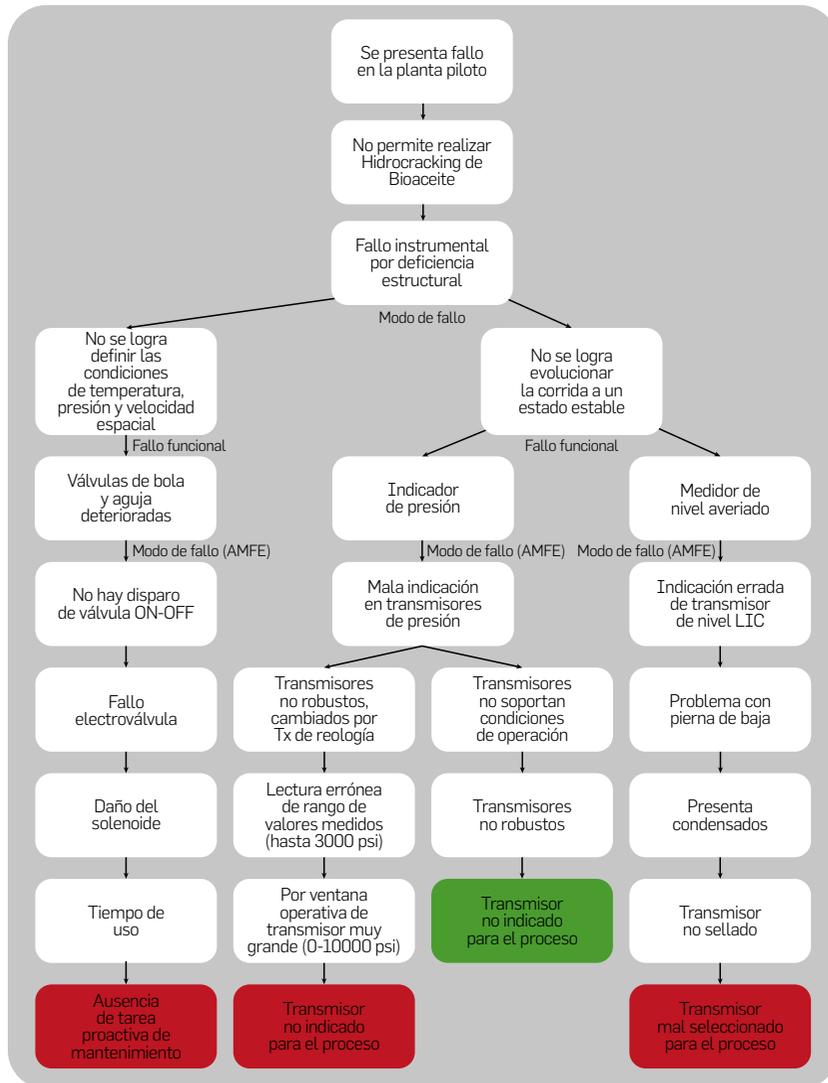
A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural).

Figura 4.24. Diagrama cinco porqués planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural). Segunda opción



Seguidamente, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural).

Figura 4.25. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (deficiencia estructural)



A continuación, se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 4 asociada al tipo de fallo instrumental (falla de comunicaciones).

Tabla 4.12. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 4, tipo de fallo: instrumental (falla de comunicaciones)

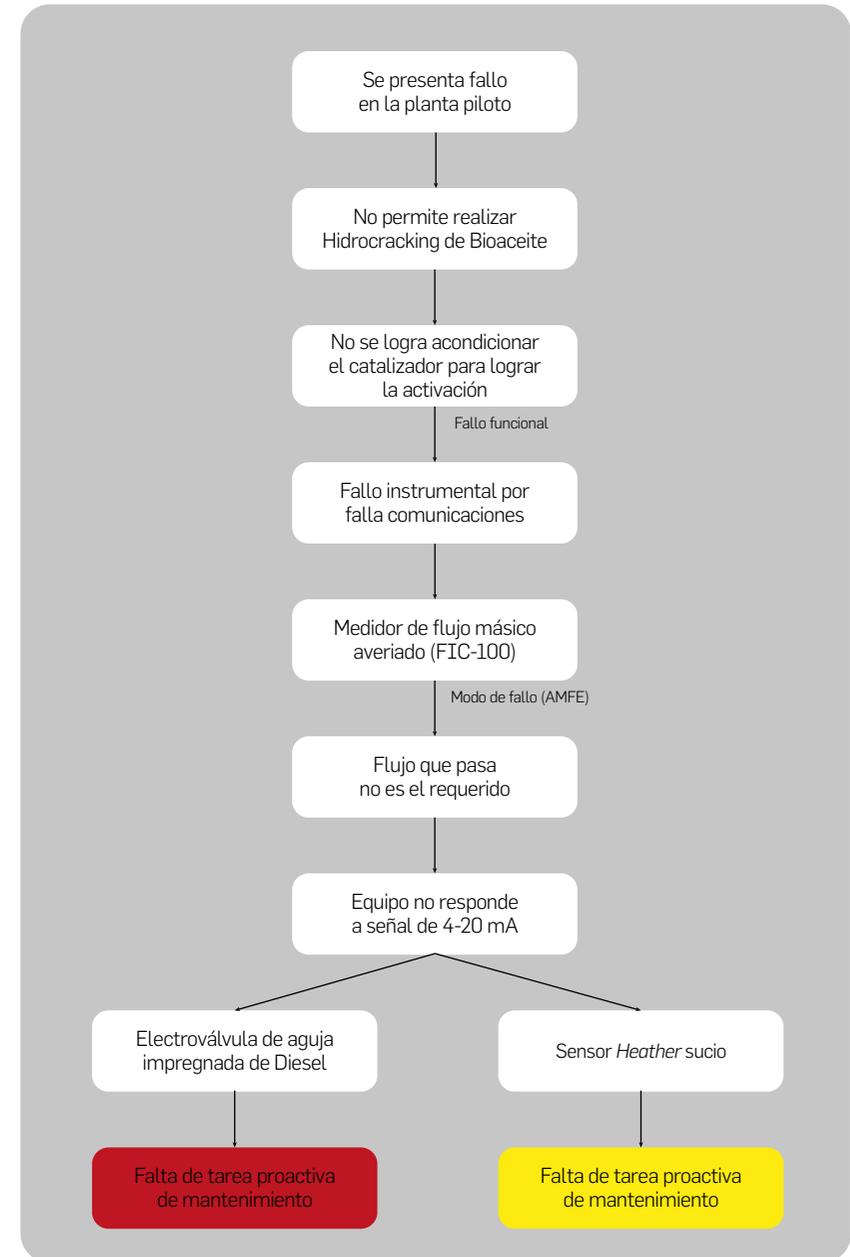
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	Descripción: "Revisión medidor flujo FIC -100 bioaceite" (26/10/2015).
	Paso 2: Clasificación de incidentes Personas: Medio. Ambiental: Medio. Económica: Medio.	Matriz RAM Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 4 La planta piloto está diseñada para tomar bioaceite obtenido por pirólisis rápida, y realizar un hidrotrotamiento, cuyo principal objetivo es la remoción de oxígeno y estabilización de compuestos que polimerizan con el tiempo debido a su grado de reactividad. El hidrógeno que se alimenta a la planta ingresa en una relación de 0.072 w/w con respecto al bioaceite. La unidad presenta una producción teórica de un 60 % w/w de bioaceite mejorado con respecto al cargado.	Esperado: principal objetivo y ventanas de operación para la planta piloto. Actual: no está desempeñando la función de mejoramiento de bioaceite, sino que, por su versatilidad, está realizando la reducción de acidez de crudos pesados. Impacto: en caso de no lograr salvar la corrida se pierde una semana de trabajo realizado para activar el catalizador equivalente a 168 horas hombre, y siendo que la hora es aproximadamente COP 213.000, equivale a COP 35.784.000. Si se pierde el catalizador se tiene una pérdida de aproximadamente COP 30.000.000
II. Análisis de problemas	Paso 4: Definición del problema	Localización: los principales fallos se presentan en los medidores de flujo. Tiempo: 11 fallos (en el 2015). Extensión: si el controlador de flujo másico falla y no se corrige rápidamente, se ocasiona el daño del catalizador. Si se dañan las válvulas puede ocasionar la explosión de tanque por sobrepasar las 100 psi máximas debido a que el proceso de paso se debe realizar manualmente de tanque con presión de 1300 psi.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible Diagrama causa-efecto planta piloto 4 (ver figura 4.26)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT) y personal de mantenimiento con relación y conocimiento de la planta.
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable: para este tipo de fallo solo se encuentra una de las causas como probable. Esta causa es la falta de tarea proactiva de mantenimiento en el sensor <i>heather</i> por suciedad. A pesar de que esta causa se extrajo de la descripción detallada de la OT, se considera como probable dado a que la orden de trabajo muestra que se continuaron las acciones correctivas luego de haber actuado sobre el <i>heather</i> .
	Paso 7: Verificación de causas	Causa raíz: en la metodología se obtuvo una causa raíz relacionada con el problema de comunicación del FIC-100. Esta causa raíz es la falta de tarea proactiva de mantenimiento por electroválvula de aguja impregnada de diésel. Se determina que esta es la causa raíz, dado a que en la descripción detallada de la OT se menciona que luego de ser limpiada esta, se soluciona el problema de comunicación con el controlador. Sin embargo, no se menciona una solución definitiva al problema de la suciedad de la válvula y por lo tanto se considera como causa raíz, dado que si se repite volverá a ocasionar el problema.
IV. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: La implementación de tareas proactivas de mantenimiento y la inclusión de las mismas en el estándar de mantenimiento para de esta forma evitar fallos por suciedad y posterior atascamiento.

A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 4, tipo de fallo instrumental (fallo comunicaciones).

Figura 4.26. Diagrama causa-efecto planta piloto 4, (fallo comunicaciones)



La tabla 4.13 presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 5 asociada al tipo de fallo mecánico

Tabla 4.13. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 5, tipo mecánico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes Cabe resaltar las bombas de vacío como las más frecuentes en el tipo mecánico. Por otro lado, los componentes mencionados en los históricos hacen referencia a las mantas de calentamiento, baños, sensores de nivel y equipos de metrología.	OT. 70441 OT. 70101 OT. 69832 OT. 70972 OT. 71754 OT. 61998 OT. 70098 OT. 71087
	Paso 2: Clasificación de incidentes Calificación en <b>personas</b> de incapacidad temporal (mayor a un día), importante en <b>económico</b> generando gastos entre \$10.000 y \$100.000; y de efecto leve a nivel <b>ambiental</b> .	Matriz RAM  Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 5 Caracterizar, mediante cortes de temperatura, las fracciones de mezclas de hidrocarburos pesados con un punto inicial de ebullición por encima de 150 °C. Producción de fracciones de destilado de calidad estandarizada mediante vacío, de acuerdo a la norma STM D 5236; manteniendo como carga en su proceso hidrocarburos pesados con punto de ebullición inicial superior a 150 °C (300 °F).	Esperado: principal objetivo y ventanas operativas de la planta piloto. Actual: baja eficiencia respecto a la esperada. Impacto: en general una bomba de vacío acata entre dos y cuatro días de mantenimiento correctivo si existe la presencia del <i>kit</i> necesario, si el agitador llega a presentar una falla en la parte magnética puede privar hasta seis meses la producción de la planta, esto es debido a su alta especialización de mantenimiento y poca presencia de componentes dentro del territorio nacional, en caso de falla total la demora aproximada, con base a la experiencia del personal de la unidad, es de dos años.

Continúa

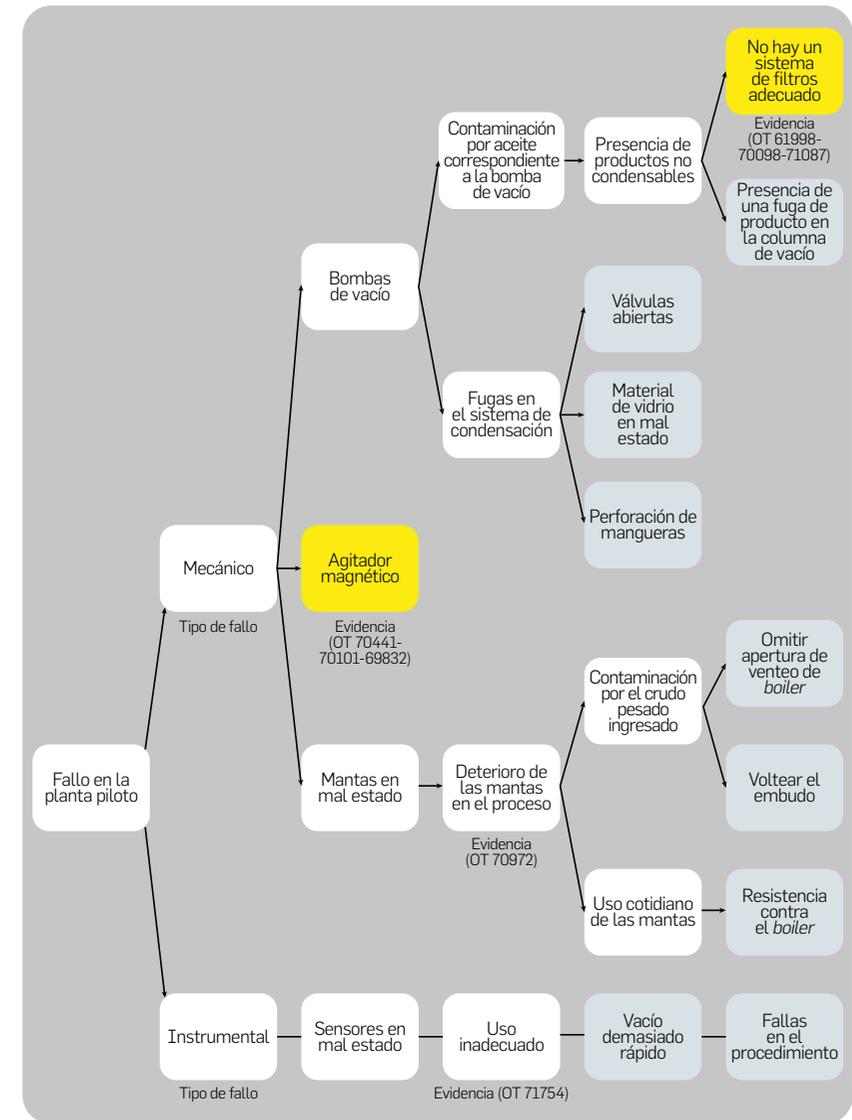
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de problemas	Paso 4: Definición del problema  Localización: por parte del área de calentamiento se identifican fallos en las RTD y mantas de calentamiento. El área de vacío presenta fallos en las líneas de conexión, los equipos y los sensores.	Localización: en general los fallos se pueden dividir en la zona de calentamiento y vacío. Extensión: un fallo en las bombas de vacío, los baños, los condensadores, el agitador o los sensores provoca la detención de la producción.
	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama causa-efecto planta piloto 5 (ver figura 4.27)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT), junto con personal de operación y mantenimiento de la planta.
IV. Análisis de causa raíz	Paso 6: Validación de datos	Causa probable y raíz: la información pudo ser corroborada a partir del personal de mantenimiento de la planta piloto, así como personal operativo de la misma: La mayor parte de las fallas presentes en los históricos de la planta son representadas por el componente bomba (Edwards 35). La contaminación de las <b>mantas de calentamiento</b> puede ser debida al cambio en el diseño del embudo, ya que fue disminuida su longitud por choques internos en el <i>boiler</i> , lo que lleva como consecuencia el derrame de carga sobre la manta inferior del mismo. Por otro lado, la falta de estandarización en el proceso de llenado del <i>boiler</i> da lugar al desbordamiento de la carga, lo que conlleva a la contaminación de las mantas superior e inferior.
	Paso 7: Verificación de causas	Pertencientes al mismo. El diámetro necesario para el acople del <b>agitador magnético</b> no es el correcto, por lo cual se utiliza silicona de alta temperatura en su acople. Adicionalmente, la unión cardánica presenta temblor al momento de funcionar por el desgaste de uso, lo que puede ocasionar la ocurrencia de fallo total de los rodamientos.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
V. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	<p>Se recomienda lograr: Se recomienda la implementación de un sistema de filtros o trampa de livianos en la bomba de vacío (<b>Edwards 35</b>) con el fin de evitar la contaminación del aceite de la misma, además el estudio de la reducción de impacto de la fuga con la presencia del sistema, y en caso dado evaluar la relación costo beneficio del mantenimiento correctivo de la columna y la contaminación generada.</p> <p>Por parte de las <b>mantas de calentamiento</b> y su deterioro por uso, es recomendable el cambio o mantenimiento correctivo de las mismas actualmente, y su respectiva inclusión en un mantenimiento preventivo frecuente. Al hablar del deterioro por contaminación, se recomienda el acople de un vástago más largo al embudo, ya que este fue cortado y en la actualidad no llega al fondo del <i>boilery</i> presenta derramamiento en la manta inferior. Por otro lado, para actuar sobre la falla de omisión de venteo del <i>boiler</i>, se recomienda un estudio de movimientos que permita actualizar el manual de uso y aportar una manera sencilla del proceso de llenado del producto.</p> <p>Para los fallos en sensores y RTD, se recomienda un estudio de movimientos, pues su falla principal es la generación de vacío demasiado rápido, causando descalibración de los mismos. Aunque se cuente con el sistema del tensiómetro C14 para la revisión de manera análoga, es necesario disminuir las fallas de los componentes digitales a través de la actualización del manual o de la capacitación del personal, con el fin de justificar la presencia de los mismos componentes en la Planta Piloto.</p>

A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 5.

Figura 4.27. Diagrama causa-efecto planta piloto 5



La tabla 4.14 presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 6 asociada al tipo de fallo mecánico.

Tabla 4.14. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 6, tipo mecánico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 52932: Descripción: "Compresor H". OT. 53319: Descripción: "Cambio cheque bomba dosificadora". OT. 66592: Descripción: "Cambio de manguera de entrada y salida tan". OT. 67461: Descripción: "Reparar rosca de controlador de flujo Br". OT. 67766: Descripción: "Reparar secador industrial". OT. 68026: Descripción: "Revisión y diagnóstico bomba de carga Elde". OT. 70092: Descripción: "Revisión bomba dosificadora Eldex". OT. 70375: Descripción: "Reparación baño Julabo F32". OT. 73325: Descripción: "Revisión cambio de empaque HCK". OT. 74074: Descripción: "Revisión válvulas control LIC y PIC".
	Paso 2: Clasificación de incidentes  Personas: 3C = Medio. Ambiental: 3C = Medio. Económica: 1C = Nada.	Matriz RAM  Global: Medio

Continúa

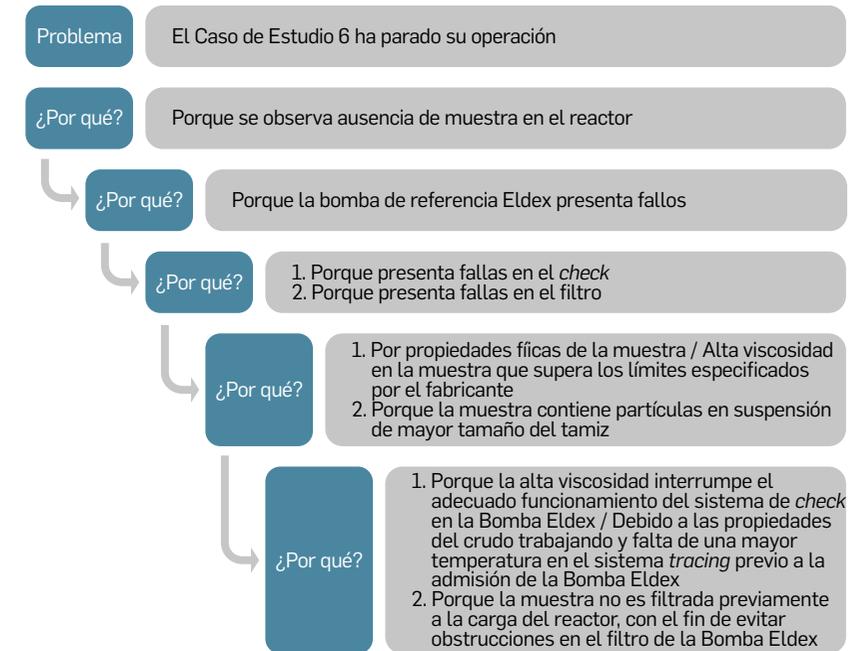
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema  Principal objetivo planta piloto 6 Destilar hidrocarburos comunes (gasóleos), realizando el presionado de hidrogeno a media o alta presión, enviando la carga hacia el reactor constituido por cinco zonas de catalizador a unas presiones que oscilan entre 800 y 2850 PSI, para, posteriormente, realizar la separación gas líquido almacenando el líquido limpio en tanques después de haber sido despojado de H2S y enviando el gas a un sistema de lavado para neutralización de gases según proceso HDT o HCK.	Esperado: principal objetivo y ventanas operativas de la planta piloto. Actual: <i>Standby</i> por falta de solicitud de servicio. Impacto: retrasos en las investigaciones, asistencia técnica y ejecución de proyectos.
	Paso 4: Definición del problema	Localización: bomba Eldex. Tiempo: una semana a seis meses, según sea la disponibilidad de los repuestos en <i>stock</i> y el tiempo de compra. Extensión: interrumpe el proceso petroquímico de hidrocrackeo debido a fallas en la alimentación de muestras al reactor.
III. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama cinco porqués planta piloto 6 (ver figura 4.28) Diagrama causa-efecto planta piloto 6 (ver figura 4.29)	Causa posible: las causas posibles identificadas son las siguientes: Viscosidad: la muestra posee una viscosidad superior a la otorgada por el fabricante, esto impide su correcto funcionamiento produciendo como consecuencias fallas operativas en la bomba. Fallo <i>check</i> : desgaste mecánico de la maquinaria, debido al uso del activo. Alineación de <i>check</i> : el <i>check</i> no está correctamente alineado al momento de su mantenimiento, causando desgaste temprano y falla en los elementos <i>check</i> de la bomba.

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
IV. Análisis de causa raíz	Paso 6: Validación de datos	Causa probable y raíz: las evidencias para validar los datos se basan en entrevistas con el personal operativo: El uso de crudos pesados puede ocasionar mal funcionamiento del dispositivo de bombeo P-82246 al superar las recomendaciones del fabricante de 500 centipoise.
	Paso 7: Verificación de causas	Se evidencia por parte del personal de mantenimiento, desgaste en elemento rotativo <i>check</i> . Oclusión de elemento filtrante debido a materiales sólidos en la muestra. Alta viscosidad en la muestra. Desgaste temprano de elementos rotativos.
V. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Aumentar los tiempos de operatividad de la planta piloto, mejorando la disponibilidad operativa de la Bomba Eldex. Realizar mantenimiento preventivo de los sistemas <i>check</i> de la bomba y verificar la correcta calibración de los mismos, así como su operación en los parámetros especificados por el fabricante. Disponibilidad de elementos <i>check</i> de la bomba Eldex, reduciendo los tiempos de mantenimiento. Se recomienda mantener: Mantenimiento preventivo de la bomba Eldex. Se recomienda evitar: Hacer uso excesivo de la bomba Eldex sin el correcto mantenimiento preventivo de la bomba y los filtros asociados a ella, así como el uso de muestras con alto grado de viscosidad, superando los 500 centipoise especificados por el fabricante.

La figura 4.26 presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 6.

Figura 4.28. Diagrama cinco porqués planta piloto 6



A continuación (página 328), se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 6.

A continuación (página 329), se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 7 asociado al tipo de fallo mecánico.

Figura 4.29. Diagrama causa-efecto planta piloto 6

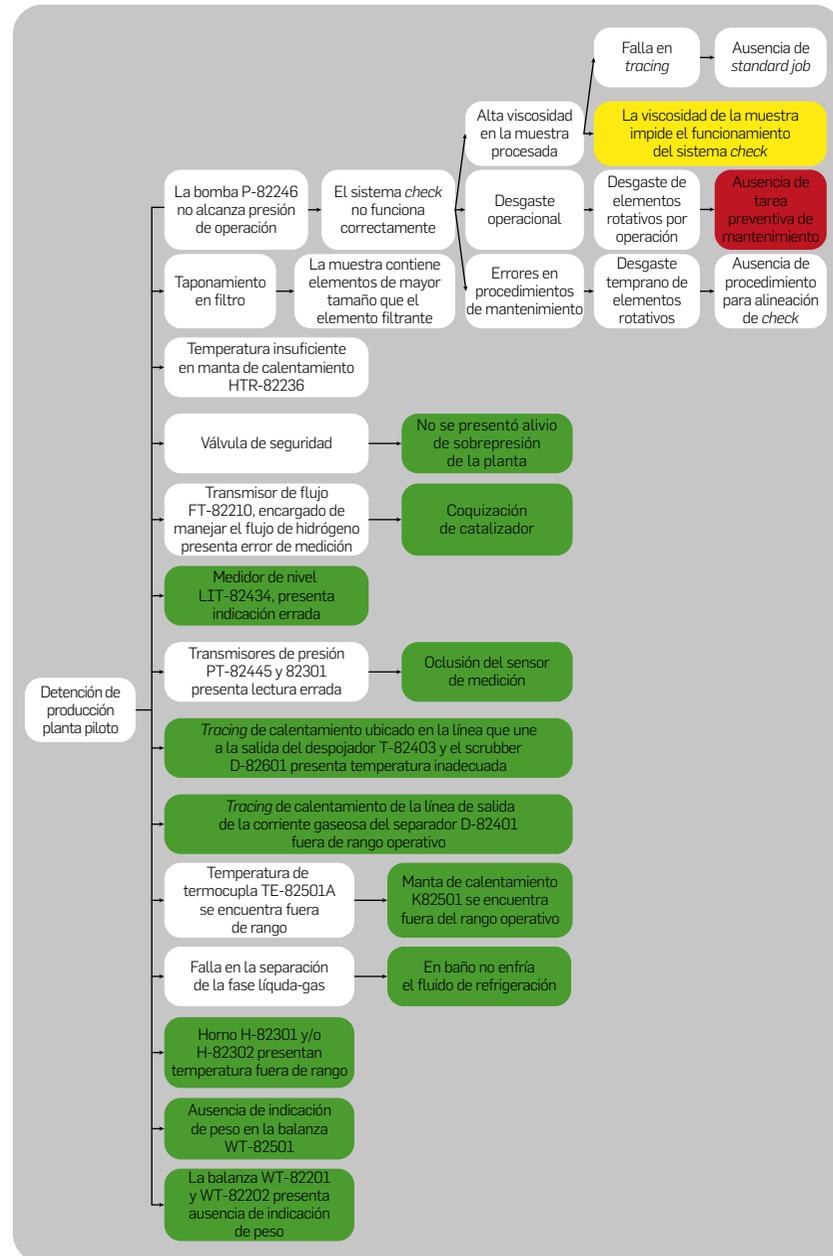


Tabla 4.15. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 7, tipo mecánico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 68819: Descripción: "Correctivo bomba Eldex". (28/04/2014) OT. 73549: Descripción: "revisión controlador de H2". (14/01/2015) OT. 74873: Descripción: "reparación vasos reguladores aire". (06/04/2015) OT. 74894: Descripción: "revisión sensor de gases N6L3M9 PPI". (07/04/2015)
	Paso 2: Clasificación de incidentes	Matriz RAM  Global: Medio
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema	Esperado: principal objetivo y ventanas operativas de la planta piloto. Actual: <i>Standby</i> por falta de solicitud de servicio (en la última corrida, presentó un buen funcionamiento cumpliendo en su totalidad con los requerimientos). Impacto: el tiempo de reparación estimado es de una semana a seis meses, dependiendo de la disponibilidad de los repuestos en <i>stock</i> , labores de mantenimientos y el tiempo de compra si se requiere.
	Paso 4: Definición del problema	Localización: bomba Eldex. Tiempo: presenta una frecuencia de fallo de 71 % en el intervalo de cinco años. Extensión: la falla de la bomba Eldex interrumpe el proceso petroquímico, debido a fallas en la alimentación de muestras al reactor, generando posibles pérdidas en el catalizador, lo que implica la parada inmediata de la planta.

Continúa

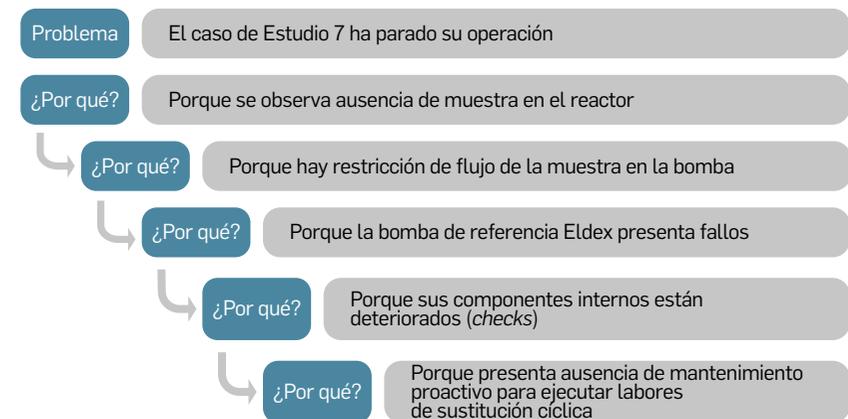
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible  Diagrama cinco porqués planta piloto 7 (ver figura 4.30) Diagrama causa-efecto planta piloto 7 (ver figura 4.31)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT), junto con personal de operación y mantenimiento de la planta.
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable y raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados por órdenes de trabajo, personal de operación y de mantenimiento.
	Paso 7: Verificación de causas	
IV. Desarrollo de la solución	<p>Paso 8: Recomendaciones RCA</p> <p>Por otra parte, se recomienda ejecutar labores de mantenimiento proactivo, como:</p> <p>Realizar el debido protocolo de inspección de la bomba que implica revisar si se encuentra conectada correctamente a la fuente de energía. Asimismo, inspeccionar sus partes mecánicas (motor, sellos, entre otros) y verificar si el motor gira.</p> <p>Inspeccionar el fusible de protección de la bomba antes de empezar una corrida de planta.</p> <p>Si se presenta ausencia de muestra dentro del proceso, puede deberse a que esta no está siendo filtrada, por esta razón es pertinente verificar el estado del filtro y realizar las tareas de mantenimiento pertinentes.</p> <p>Con el fin de detectar fugas antes de iniciar una corrida, se recomienda presurizar la planta y poder revisar si existen o no fugas en tuberías y accesorios.</p>	<p>Se recomienda lograr:</p> <p>Aumentar los tiempos de operación de la planta piloto, optimizando la disponibilidad funcional de la bomba Eldex y sus componentes internos, alcanzando en su totalidad el funcionamiento del equipo.</p> <p>Se recomienda mantener:</p> <p>El sistema de bombeo confiable, para así garantizar la operación de la planta piloto y esta pueda cumplir en su totalidad sus funciones, evitando interrupciones de los servicios requeridos.</p> <p>Se recomienda evitar:</p> <p>El uso inadecuado de la bomba Eldex sin antes realizar o programar el mantenimiento preventivo pertinente para este equipo, asegurando que sus componentes internos como filtros, <i>checks</i>, entre otros se encuentren en buen estado físico y cumpla con las sugerencias del fabricante.</p>

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
V. Desarrollo de la solución	<p>Es necesario verificar la contrapresión de la bomba. Si existe una inferior a 25psi, la bomba crea más presión y evita que las válvulas operen de manera adecuada. (Verificar la presión en el <i>backpressure</i>)</p> <p>Verificar e inspeccionar los indicadores, medidores y controladores de la planta. Es necesario desmontar cada componente electrónico y verificar que los circuitos internos no se encuentren sulfatados, averiados o con soldaduras frías.</p> <p>Realizar la limpieza a la plataforma de carga, verificar el estado de los componentes internos y de las respectivas conexiones.</p> <p>Inspeccionar el baño de enfriamiento y realizar las tareas de mantenimiento pertinentes</p>	

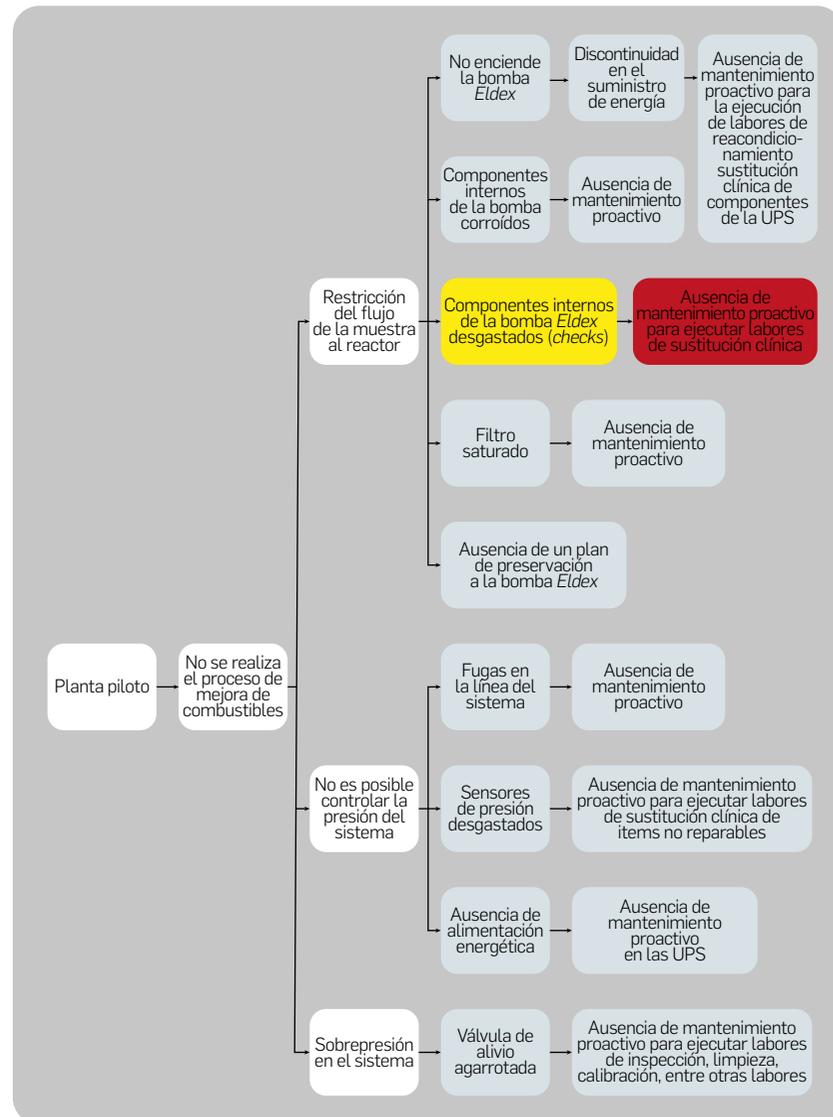
A continuación, se presenta el diagrama de análisis con cinco porqués para la planta piloto 7.

Figura 4.30. Diagrama cinco porqués planta piloto 7



A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 7.

Figura 4.31. Diagrama causa-efecto planta piloto 7



A continuación, se presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 8 asociada al tipo de fallo eléctrico.

Tabla 4.16. Análisis de causa raíz concreta planta piloto 8, tipo de fallo: eléctrico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 76279: Descripción: "reparar manta reactor R-46250 Slurry". (18/08/2015) OT. 77172: Descripción: "Atn emergencia Pta Slurry falla resistencia". (20/08/2015) OT. 77187: Descripción: "Megueo resistencias Slurry". (21/08/2015) OT. 77566: Descripción: "revisión reparación de resistencias U-46". (16/09/2015) OT. 77657: Descripción: "Se requiere cambiar resistencia 46200". (24/09/2015) OT. 77698: Descripción: "se requiere revisar resistencia Slurry". (30/09/2015) OT. 20012160: Descripción: "revisión y diagnóstico horno 46200". (06/07/2016) OT. 20012115: Descripción: "diagnosticar y ajustar sistema protección". (06/07/2016) OT. 20025961: Descripción: "embobinado de motor del agitador". (16/09/2016) OT. 20026464: Descripción: "reparación de motor de 1/4H". (26/09/2016)
	Paso 2: Clasificación de incidentes	Matriz RAM Global: Bajo. Personas: OB = Nada. Ambiental: OB = Nada. Económica: 3B = Bajo.

Continúa

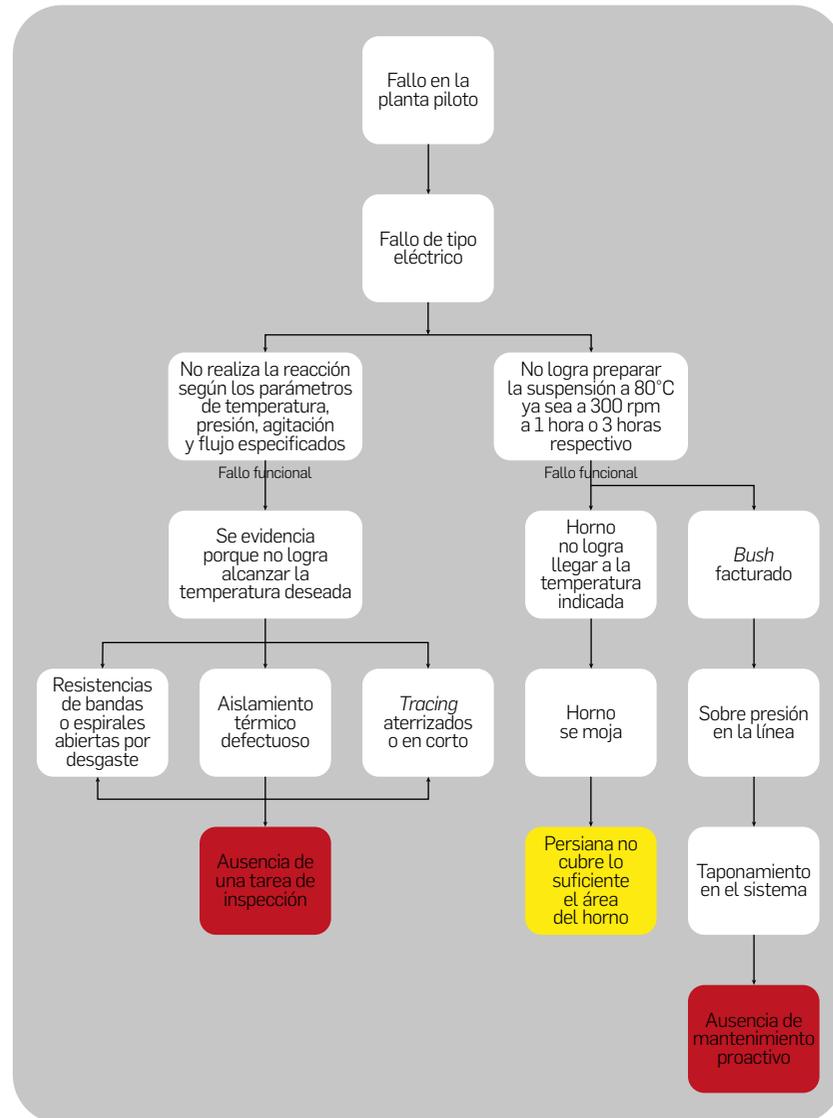
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
II. Análisis de problemas	<p>Paso 3: Identificación del problema</p> <p>Principal objetivo planta piloto 8 Hidrogenólisis de los compuestos sulfurados, nitrogenados, oxigenados y la hidrogenación de olefinas y aromáticos para mejorar la calidad de los crudos pesados, extrapesados, mezclas de crudos pesados y livianos y residuales, que registran una gravedad específica menor a 32 °API y un contenido de destilados recuperados @ 538 °C menor al 80 % del volumen o de sus fracciones.</p>	<p>Esperado: principal objetivo y ventanas operativas de la planta piloto. Actual: se encuentra en condiciones de operación.</p>
	<p>Paso 4: Definición del problema</p>	<p>Localización: a lo largo de todo el proceso que es llevado a cabo en esta planta, desde su etapa inicial hasta antes de obtener los productos de salida. Tiempo: agosto del 2015 hasta septiembre del 2016. Extensión: se han presentado fallos que han generado la detención total de la misma, fallos que se encuentran en las etapas iniciales han provocado la detención de la corrida debido a que en ocasiones no se tiene equipos de respaldo cuando se presentan estos fallos.</p>
III. Análisis de causa raíz	<p>Paso 5: Análisis de causa posible</p> <p>Diagrama causa-efecto planta piloto 8 (ver figura 4.32)</p>	<p>Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT), junto con personal de operación y mantenimiento de la planta.</p>

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
IV. Análisis de causa raíz	<p>Paso 6: Validación de datos</p>	<p>Causa probable y raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados por reuniones con el encargado de la planta piloto y el área de mantenimiento del ICP, en donde se confirmaron los datos recolectados por los históricos de fallos y se corroboró la información, al igual que la información otorgada por los operarios de la planta. Así mismo, se revisaron los procedimientos que son llevados a cabo para el equipo de mantenimiento, como lo son los <i>Standard Job</i> trimestrales y semestrales, en donde se confirmó que acciones son realizadas y los procedimientos que se hacen.</p>
	<p>Paso 7: Verificación de causas</p>	
V. Desarrollo de la solución	<p>Paso 8: Recomendaciones RCA</p>	<p>Se recomienda lograr: Incluir dentro de las rondas de mantenimiento preventivo, acciones proactivas de revisión, inspección y validación del excelente estado de; cada componente de los motores eléctricos y tener catalogados todos los componentes consumibles; las resistencias térmicas y sus correspondientes aislamientos, el cambio de éstos a fallo genera retrasos en las corridas. Diseño e instalación de una persiana idónea para evitar el flujo de agua, para la prevención de humedad en componentes del horno.</p>

A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 8.

Figura 4.32. Diagrama causa-efecto planta piloto 8, tipo de fallo: eléctrico



Finalmente, la tabla 4.17 presenta el análisis de causa raíz para la planta piloto 8 asociada al tipo de fallo mecánico.

Tabla 4.17. Análisis de causa raíz concreto planta piloto 8, tipo de fallo: mecánico

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
I. Registro de incidentes o malos actores	Paso 1: Reporte de incidentes	OT. 75880: Descripción: "reemplazar shear key bomba Isco P-46150". (29/05/2015) OT. 77659: Descripción: "se requiere revisar e instalar la P-110". (24/09/2015) OT. 79081: Descripción: "diagnóstico/ reparación agitador R-46450 Slurry". (19/02/2016) OT. 79332: Descripción: "reparación agitador R-46200 Slurry PP". (14/03/2016)
	Paso 2: Clasificación de incidentes	Matriz RAM Global: Medio. Personas: OB = Nada. Ambiental: OB = Nada. Económica: 3C = Medio.
II. Análisis de problemas	Paso 3: Identificación del problema Principal objetivo planta piloto 8 Hidrogenólisis de los compuestos sulfurados, nitrogenados, oxigenados y la hidrogenación de olefinas y aromáticos para mejorar la calidad de los crudos pesados, extrapesados, mezclas de crudos pesados y livianos y residuales, que registran una gravedad específica menor a 32° API y un contenido de destilados recuperados @ 538 °C menor al 80 % del volumen o de sus fracciones.	Esperado: principal objetivo y ventanas operativas de la planta piloto. Actual: se encuentra en condiciones de operación.

Continúa

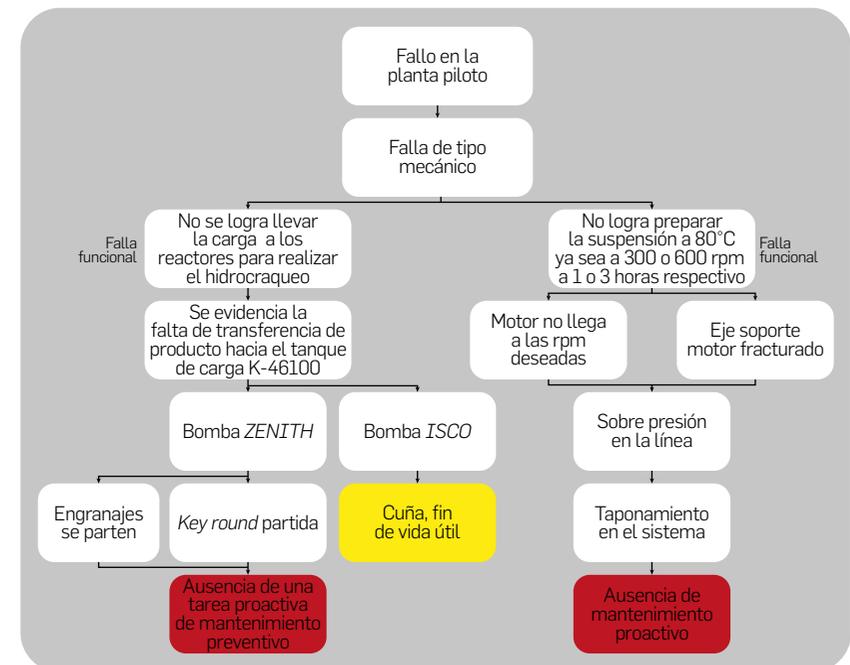
Fases	Información recopilada	Resultados concretos
III. Análisis de problemas	Paso 4: Definición del problema	Localización: a lo largo de todo el proceso que es llevado a cabo en esta planta, desde su etapa inicial hasta antes de obtener los productos de salida. Tiempo: mayo del 2015 hasta marzo del 2016. Extensión: se han presentado fallos que han generado la detención total de la misma, fallos que se encuentran en las etapas iniciales han provocado la detención de la corrida debido a que en ocasiones no se tiene equipos de respaldo cuando se presentan estos fallos.
IV. Análisis de causa raíz	Paso 5: Análisis de causa posible Diagrama causa-efecto planta piloto 8 (ver figura 4.33)	Causa posible: se identifican las causas posibles partiendo de la información en las órdenes de trabajo (OT), junto con personal de operación y mantenimiento de la planta.
	Paso 6: Validación de datos	Causa probable y raíz: los hechos para apoyar la causa propuesta son validados por reuniones con el encargado de la planta piloto y el área de mantenimiento del ICP, en donde se confirmaron los datos recolectados por los históricos de fallos y se corroboró la información, al igual que la información otorgada por los operarios de la planta. Así mismo, se revisaron los procedimientos que son llevados a cabo para el equipo de mantenimiento, como lo son los <i>Standard Job</i> trimestrales y semestrales, en donde se confirmó que acciones son realizadas y los procedimientos que se hacen.
	Paso 7: Verificación de causas	

Continúa

Fases	Información recopilada	Resultados concretos
V. Desarrollo de la solución	Paso 8: Recomendaciones RCA	Se recomienda lograr: Incluir dentro de las rondas de mantenimiento preventivo, acciones proactivas de revisión, inspección y validación del excelente estado de los motores de los agitadores. Reestructurar las rondas de mantenimiento preventivo, en donde se incluya acciones proactivas de revisión de las partes electro-mecánicas de cada una de las bombas.

A continuación, se presenta el diagrama del análisis de causa raíz para la planta piloto 8.

Figura 4.33. Diagrama causa-efecto planta piloto 8, tipo de fallo: mecánico



*Actividad 2.5.*

*Reportar los tipos de fallo priorizados, sus causa raíz y la propuesta de solución para cada uno de ellos*

**Resultados**

Para la clasificación de los tipos de fallo priorizados en los que se llegó a la causa raíz, se utilizaron las definiciones asociadas a causa raíz física, humana y latente presentadas por [34]. A continuación, la tabla 4.16 expone para cada planta piloto la categoría de la causa raíz entre física, humana y latente, determinadas por los diferentes tipos de fallo priorizados.

**Fase III**

*Actividad 3.1.*

*Determinar para cada tipo de fallo priorizado su frecuencia*

**Resultados**

A continuación, se presenta el cálculo de la frecuencia para los tipos de fallo priorizados en las plantas piloto, esto se obtuvo partiendo de la información de históricos de fallo. Es importante resaltar que los históricos disponibles variaban en años de una planta piloto a otro. En la tabla 4.19 (página 347) se presenta la frecuencia en un año para todas las plantas.

*Actividad 3.2.*

*Establecer la severidad de los tipos de fallo priorizados*

**Resultados**

Se calcula la severidad para los tipos de fallo priorizados, por la metodología presentada en el marco teórico. Adicionalmente se recomienda la inclusión de los nuevos tipos de fallo determinados en los ACR. Se Presenta de esta manera, la tabla resumen con los resultados del cálculo de la severidad propuesto para cada tipo de fallo priorizado en las plantas piloto. Ver tabla 4.20 (página 347).

Tabla 4.18. Resumen resultados análisis causa raíz para las ocho plantas piloto

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Crítica del tipo de fallo (GAC-5-547)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Crítica del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	Medio
Planta piloto 1	Mecánico	Sobre presión en el ajuste de la rosca	Latente	Elaborar un procedimiento para la actividad de ajustar la rosca del reactor.	3	La presión del sistema decrece, la muestra no puede ser evaluada adecuadamente corriendo el riesgo que se pierda.	Medio	Medio
Planta piloto 2	Mecánico	Coquización del flujo de la línea	Latente	Realizar un diseño experimental para minimizar la probabilidad de taponamiento en la línea. Y, para disminuir la probabilidad de ocurrencia, elaborar un procedimiento para la actividad de mantenimiento proactivo.	1	Se presenta cavitación en la bomba por restricciones de flujo a la salida de los tanques de carga.	Medio	Medio
Planta piloto 3	Mecánico	Falta de técnicas de mantenimiento predictivo	Latente	Establecimiento de técnicas de mantenimiento predictivo.	1	Se presenta mancha de aceite en la válvula de paso, junto con presiones bajas.	Medio	Medio

Continúa

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Críticidad del tipo de fallo (GAC-6-547)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Críticidad del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	
Planta piloto4	Instrumental (taponamiento)	Falta tarea de inspección	Latente	Por el taponamiento de la válvula cuyo CV es muy pequeño y no puede ser aumentado, se recomienda una tarea a condición/recondicionamiento para que mediante inspección se revise y evellie qué tan taponada o corroida está la válvula y a partir de ahí, decidir si se debe limpiar o en su defecto cambiar la válvula.	1	Pérdida de la corrida, insumos, catalizador, reactivos	Nada	
	Instrumental (deficiencia estructural)	Transmisor no indicado para el proceso	Latente	Necesidad de sellar o aislar la pierna de baja del medidor de nivel con presión diferencial o adquirir un transmisor más indicado para el proceso, y de este modo evitar los condensados. Para el daño de la válvula <i>on-off</i> por deterioro en su solenoide por fin de su vida útil, se recomienda la implementación de una tarea proactiva de mantenimiento en donde se aumente la frecuencia de cambio de la misma.	1	Liberación de vapor y gases tóxicos	Bajo	

Continúa

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Críticidad del tipo de fallo (GAC-6-547)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Críticidad del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	
Planta piloto	Instrumental (deficiencia estructural)	Falta de tarea proactiva de mantenimiento	Latente	En cuanto a los medidores de presión, se recomienda cambiar estos por unos cuya ventana operativa sea de 0 a 3000 psi, para de esta forma evitar medidas erróneas o imprecisas y que cuyo material sea químicamente compatible con el proceso. El funcionario de la planta piloto recomienda también la disminución de los tiempos de mantenimiento preventivo, para de esta forma evitar fallos a causa del deterioro de sellos.	1	Liberación de vapor y gases tóxicos	Bajo	
	Instrumental (falta comunicaciones)		Latente	Se recomienda para este tipo de falla la implementación de tareas proactivas de mantenimiento y la inclusión de las mismas en el estándar de mantenimiento para de esta forma evitar fallos por suciedad y posterior atascamiento.	1	Liberación de vapor y gases tóxicos. Explosión de <i>Ritter</i>	Bajo	

Continúa

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Críticidad del tipo de fallo (GAC-5/47)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Críticidad del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	
Planta piloto5	Mecánico	No hay un sistema de filtros adecuado	Latente	Debería existir un sistema de filtros de livianos para la bomba de vacío, luego de observar repercusión en los históricos.	1	Retrasos en la adquisición de los análisis realizados. La bomba es trasladada a mantenimiento para su respectiva limpieza. La planta piloto queda fuera de funcionamiento en espera del componente.	Medio	
Planta piloto6	Mecánico	Ausencia de tarea preventiva de mantenimiento y <i>Standard</i> para desarrollo de actividades	Latente	Se recomienda crear <i>Standard Job</i> para el mantenimiento de los sistemas <i>check</i> de la bomba Eidx, así como un plan para la alineación de mencionados dispositivos, con el fin de evitar desgaste prematuro.	1	La planta piloto presenta fallas en el sistema <i>check</i> de la bomba, ocasionando la parada de la misma debido a que la presión no es suficiente para llevar la muestra al reactor.	-	
Planta piloto7	Mecánico	Ausencia de mantenimiento proactivo para ejecutar labores de sustitución cíclica	Latente	Establecer planes de conservación a todos sus equipos con alta criticidad en el proceso.	1	Ausencia de muestra al reactor, afectando la función principal de la planta piloto.	Nada	

Continúa

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Críticidad del tipo de fallo (GAC-5/47)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Críticidad del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	
Planta piloto8	Eléctrico	Ausencia de mantenimiento proactivo	Latente	Incluir dentro de las rondas de mantenimiento preventivo, acciones proactivas de revisión, inspección y validación del excelente estado de cada componente de los motores eléctricos y tener catalogados todos los componentes consumibles.	2	Se evidencia por un sobrecalentamiento o en el cuarto de control un valor elevado de temperatura del sensor que tiene asociado la cinta térmica.	Bajo	
							Se evidencia porque la temperatura que registra no es la esperada.	

Continúa

Planta piloto	Tipo de fallo priorizado	Causa raíz	Tipo de causa raíz	Propuesta de recomendación a causa raíz	Críticidad del tipo de fallo (GAC-5/47)	Efecto del tipo de fallo (AMFE)	Críticidad del efecto del tipo de fallo (RAM)	
							Valoración Total	Medio
Planta piloto 8	Mecánico	Ausencia de una tarea proactiva de mantenimiento	Latente	Incluir dentro de las rondas de mantenimiento preventivo, acciones proactivas de revisión, inspección y validación del excelente estado de los motores de los agitadores. Reestructurar las rondas de mantenimiento preventivo, en donde se incluya acciones proactivas de revisión de las partes electro-mecánicas de cada una de las bombas.	2	Se evidencia la falta de transferencia de producto hacia el tanque de carga K-46100 y un incremento de presión en la línea. Adicionalmente puede presentar fugas o cavitación; desalineación de eje de la bomba. Se evidencia por ruidos extraños en el motor; taponamiento en alguna parte del sistema o que el sistema se sobre presiona a causa de que el catalizador no fluye por la línea. Se evidencia por la falta de transferencia de producto entre la zona de carga y un incremento de presión en la línea de transferencia hacia el reactor.		

Tabla 4.19. Resultados para frecuencia de fallos según el tipo de fallo

Plantas piloto	Tipo de fallo	Frecuencia de fallo (fallos/año)
Planta piloto 1	Mecánico	0,6
Planta piloto 2	Mecánico	1
Planta piloto 3	Mecánico	0,25
Planta piloto 4	Instrumental (taponamiento)	0,6
	Instrumental (deficiencia estructural)	0,8
	Instrumental (falta comunicaciones)	0,2
Planta piloto 5	Mecánico	2,66
Planta piloto 6	Mecánico	2
Planta piloto 7	Mecánico	0,75
Planta piloto 8	Mecánico	2
	Eléctrico	5

Tabla 4.20. Resultados severidad por tipo de fallo para las plantas piloto

Plantas piloto	Tipo de fallo	Análisis consecuencias en salud y seguridad			
		Fuego	Explosión	Toxicidad	MÁX
Planta piloto 1	Mecánico	2	3	2	3
Planta piloto 2	Mecánico	1	1	1	1
Planta piloto 3	Chiller	1	1	1	1
Planta piloto 4	Taponamiento	1	1	1	1
	STD	1	1	1	1
	OTH	1	1	1	1
Planta piloto 5	Mecánico	1	1	1	1
Planta piloto 6	Mecánico	1	1	1	1
Planta piloto 7	Mecánico	1	1	1	1

Continúa

Plantas piloto	Tipo de fallo	Análisis consecuencias en salud y seguridad			
		Fuego	Explosión	Toxicidad	MÁX
Planta piloto 8	Mecánico	1	2	1	2
	Eléctrico	1	2	1	2

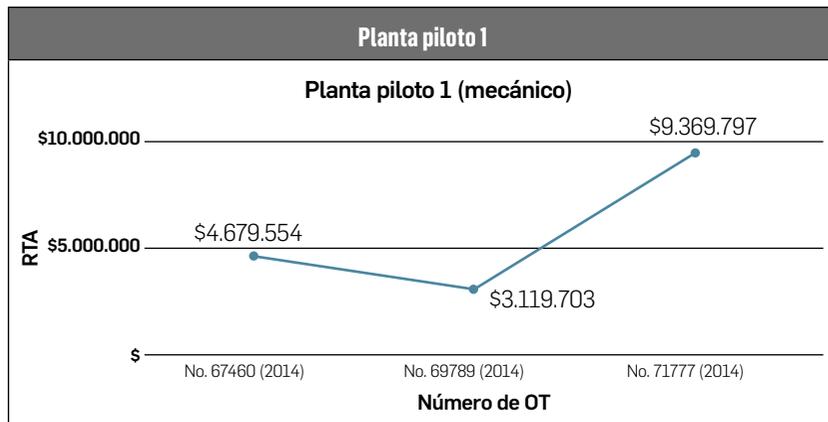
**Actividad 3.3.**

Analizar los costos por incidente de los tipos de fallo priorizados

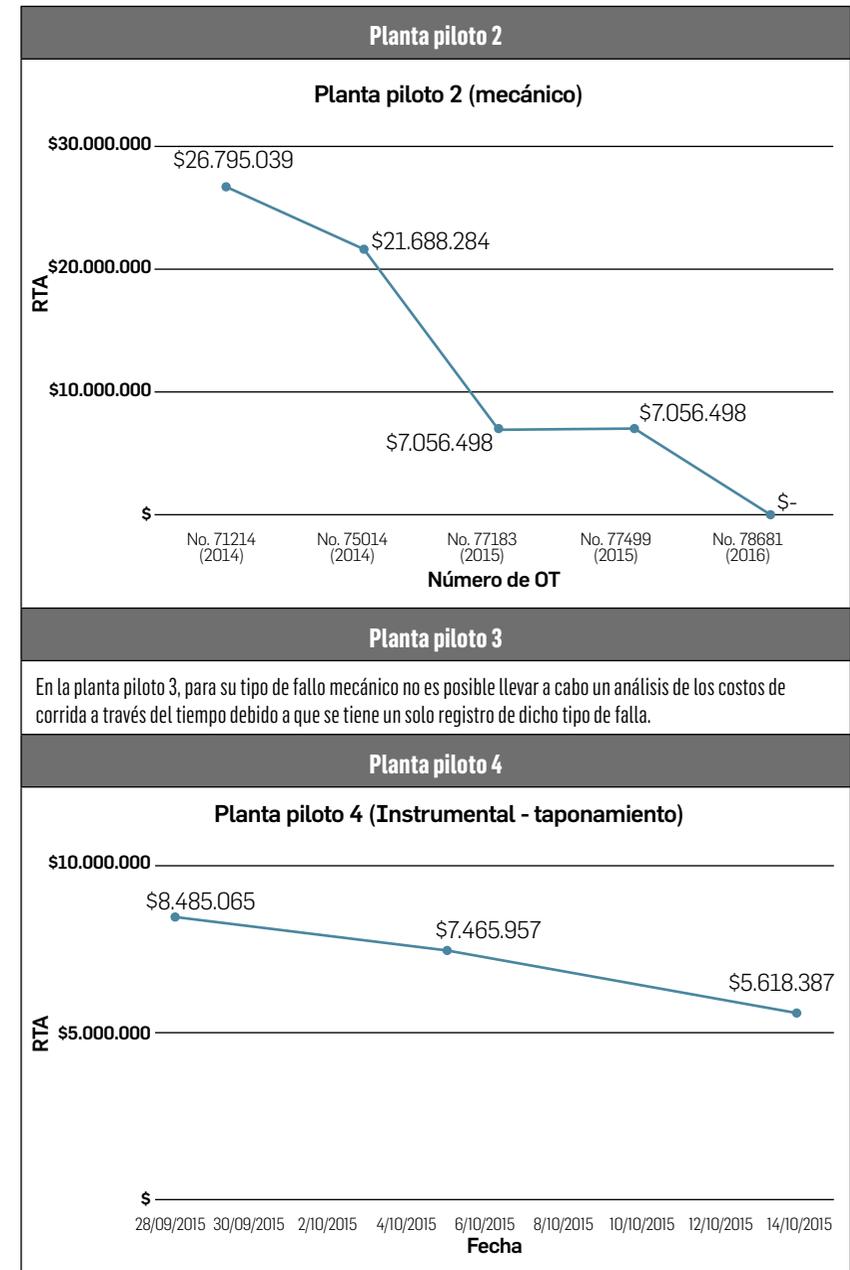
**Resultados**

En el presente numeral se expone una gráfica en línea de tiempo entre el riesgo total anual (RTA) de los incidentes por tipo de fallo priorizado en las plantas piloto. Aplicando a dicho cálculo del riesgo total anual, un ajuste al valor mediante el deflactor para Colombia, llevando los valores a un mismo año con la finalidad de su comparación. A continuación, se presentan las líneas de tiempo para los incidentes según el tipo de fallo priorizado para las plantas piloto.

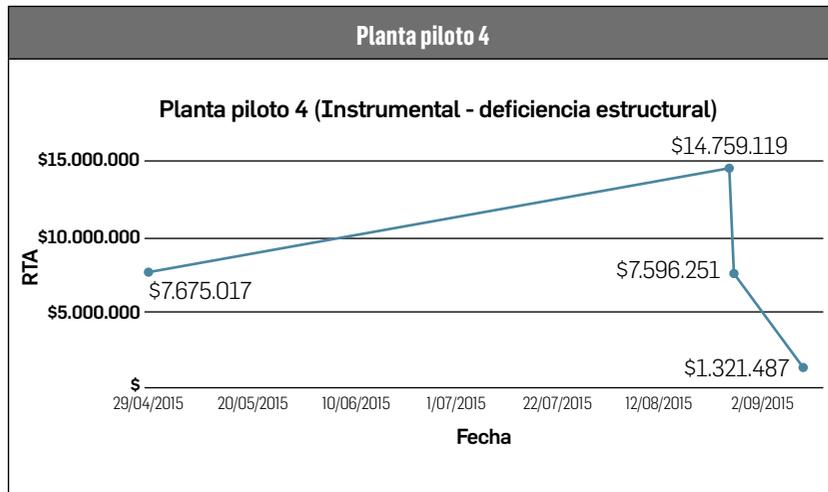
Figura 4.34. Líneas de tiempo para los incidentes según el tipo de fallo priorizado para las plantas piloto



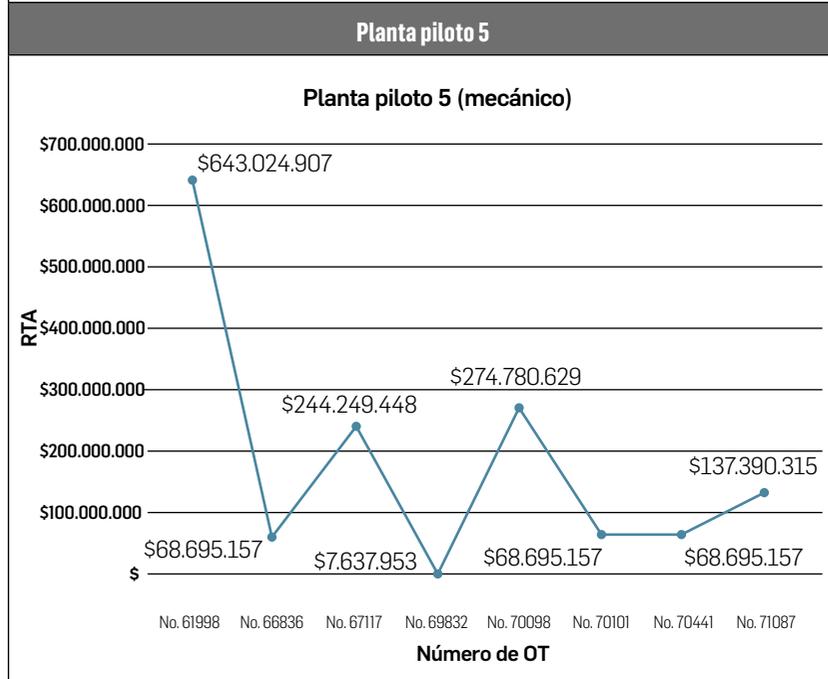
Continúa



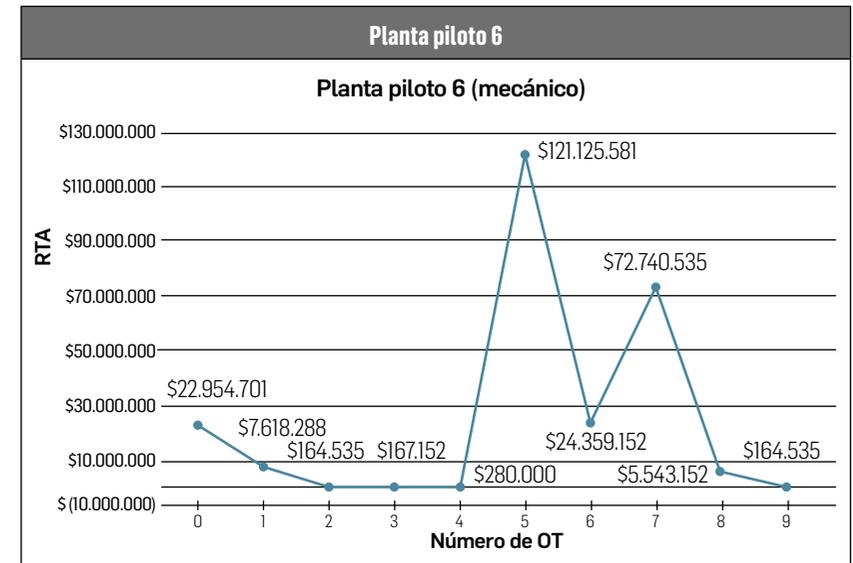
Continúa



En la planta piloto 4, para el tipo de fallo por falla de comunicaciones no se pudo realizar un gráfico de evolución de valores RTA debido a que se contaba con un único registro de este tipo de fallo, arrojando esto un punto en el gráfico.

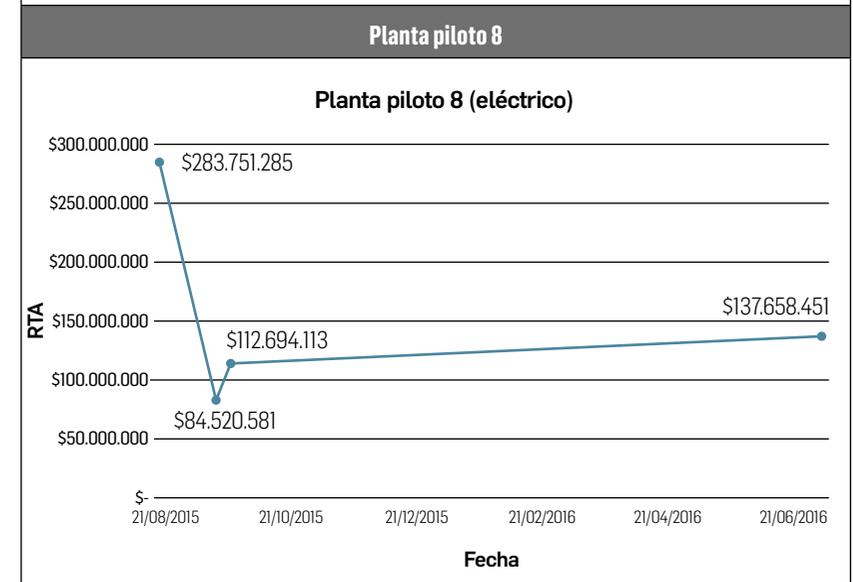


Continúa

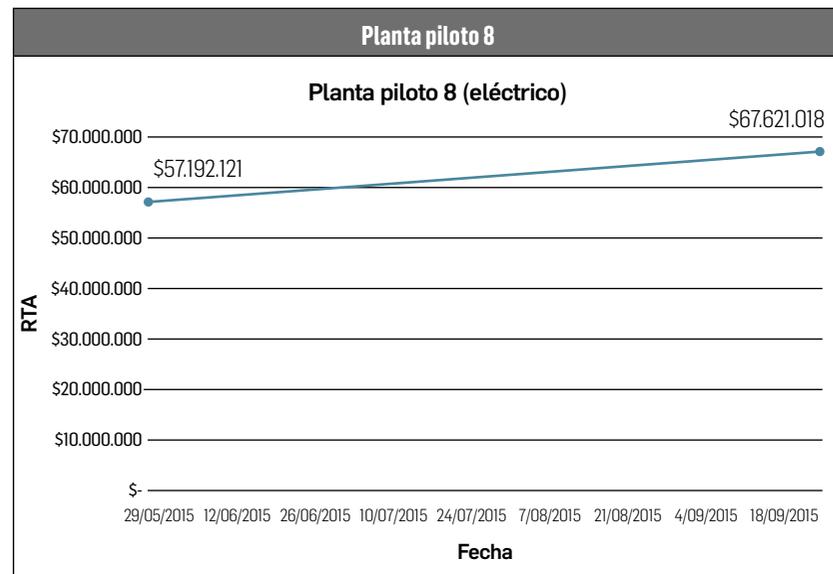


### Planta piloto 7

En la planta piloto 7, su tipo de falla mecánico no es posible llevar a cabo un análisis de los costos de corrida a través del tiempo.



Continúa



*Actividad 3.4.*

*Establecer la criticidad como una medida de riesgo para los efectos de los tipos de fallo priorizados*

**Resultados**

Se realiza una revisión general de los AMFE suministrados por la empresa, para de esta forma proponer opciones de mejora partiendo de la comparación del formato AMFE actual de la empresa con la normativa europea UNE-EN-60812 [36]. Se encontraron oportunidades de mejora, mayoritariamente estructurales y repetitivas. Por lo tanto, se genera el siguiente listado general de oportunidades.

Comparando la estructura en cuanto a columnas entre los AMFE entregados y el formato de una hoja de trabajo dado por la norma, se generan la siguiente tabla de sugerencias.

Tabla 4.21. Resumen general para oportunidades de mejora

Generalidades
El informe podría incluir un resumen y un registro detallado del análisis y los diagramas de bloque o funcionales que definen la estructura del sistema con identificadores numéricos. Así mismo, contener una lista de los diagramas (incluyendo la edición) en los que se basa el AMFE.
Podría prepararse un listado de los efectos de los fallos en un sistema específico resaltados por el AMFE.
El resumen de los efectos de los fallos debería basarse en la lista de efectos finales de fallo y podría contener detalles de los modos de fallo de los elementos que contribuyen a cada efecto de fallo.
Cuando se estima la probabilidad de ocurrencia, el AMFE debe considerar el periodo de tiempo para el que se han hecho las estimaciones. Normalmente es el periodo de garantía o el periodo de vida predeterminado de ese elemento o producto. Es decir, se debe incluir en el análisis el tiempo que lleva en operación el equipo o sobre el cual se calculó la frecuencia de fallo.
Respecto a la cabecera de la hoja de trabajo
Al equipo como tal, planta piloto o subsistema a analizar, se le conoce como elemento final y debe estar identificado y ser consecuente con la terminología usada en el diagrama de bloque, esquemático u otro dibujo utilizado.
Debe incluir nivel de revisión, además de la fecha y nombre del analista que coordina el trabajo del AMFE.
Cabe resaltar que se debe incluir también los nombres de los miembros del equipo que proporciona información adicional, a efectos de control del documento.

Tabla 4.22. Diferencias generales encontradas entre la norma y los AMEF disponibles

	Actual	Observación	
Mantener	"Modo de fallo"	Sin embargo, este debe ser tomado de una referencia o listado con su respectivo código.	
	"Efecto del fallo"	Sin embargo, la columna se puede dividir en "efecto local" y "efecto final".	
	"Frecuencia"	Representando el periodo de tiempo para el que se han hecho las estimaciones.	
Modificar	Actual	Propuesta	Observación
	"Falla funcional"	"Descripción y función del elemento"	Es preferible brindar la función que realiza el elemento y no lo que está dejando de hacer.

Modificar	Actual	Propuesta	Observación
	"Health and safety" y "Environment"	"Categoría de severidad"	Abarca las dos perspectivas actuales, y se recomienda su elaboración por la metodología mostrada en el marco teórico.
Incluir/eliminar	Incluir	Eliminar	Observación
	"Ref. Elemento"		Determinando la referencia del elemento en el diagrama de bloques.
	"Código del modo de fallo"		
	"Posibles causas de fallo"		
	"Método de detección"		
	"Medidas de compensación contra el fallo o redundancia"		
	"Comentarios"		
		"PLE"	Al no encontrarse dentro del formato de la norma, se deja a consideración si se deben eliminar o mantener en el análisis.
		"Criticality Assessment"	
		"Economics"	
		"ETBC"	
		"Repair Cost"	
		"Labour"	
	"Tareas propuestas"	Al no encontrarse incluida en el formato de la normativa, se recomienda ser quitada y mover la información que está allí para hacer parte de la columna de la norma "comentarios"	

## 4.5 Discusión y conclusiones

En este trabajo se parametrizó la severidad de los tipos de fallo priorizados de los activos I+D de la planta piloto seleccionadas, a partir de un diagnóstico preliminar del área de mantenimiento (MES), análisis de causa raíz y análisis de riesgos de operabilidad bajo el análisis de modos, efectos y criticidad de falla – FMECA, bajo las etapas de definir y medir la metodología SIX SIGMA.

### 4.5.1 Discusión y conclusiones para evaluar el desempeño de la gestión del mantenimiento a partir de la auditoría MES (maintenance effectiveness survey) como apoyo a la toma de decisiones en el proceso de gestión del mantenimiento

Los resultados arrojados por la aplicación del instrumento MES, muestra que siete de las ocho plantas piloto en el área *planificación y ejecución* presentan las mayores valoraciones, se resaltan aspectos como la planificación de las actividades de mantenimiento correctivo/preventivo, el control de los tiempos de los procesos y que el mantenimiento es asignado en función de las habilidades de su personal.

Mientras que, cuatro de las ocho plantas piloto en el área *gerencia de la información* presentan las menores valoraciones, resaltan aspectos como la imprecisión de los registros por fallas en sus sistemas, la regular identificación, codificación de cada componente y su asociación a un sistema dentro de toda la planta, y una brecha en la toma de decisiones a partir de los reportes generados por SAP.

Al desarrollar un análisis conjunto para todas las plantas la clasificación de la empresa resultó ser "Muy Buena", sin embargo, fueron planteadas en total 54 acciones de mejora para todas las preguntas cuyos resultados se ubicaron en los niveles de calificación más bajos (mayores brechas), dato que representa el 75 % del total de las preguntas por la encuesta MES.

Las 54 acciones de mejora se fueron distribuidas, de la siguiente forma: 75 %, 81 %, 83 %, 50 %, 81 % y 78 % asociadas a las áreas; *recursos gerenciales, gerencia de la información, equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, planificación y ejecución, soporte, calidad y motivación, y aspectos técnicos asociados a la gestión de mantenimiento*, respectivamente.

#### 4.5.2 *Discusión y conclusiones para analizar los eventos de fallo de las plantas piloto, a partir del análisis de causa raíz (ACR), que permita prevenir la frecuencia, minimizar y controlar los efectos de las fallas*

Respecto al análisis de causa raíz, el 47 % de los tipos de fallo priorizados por el RTA hacen referencia al tipo instrumental, otro 47 % mecánico, el 6 % restante eléctrico.

Respecto al paso 2 del análisis de causa raíz: *clasificación de Incidentes*, el 90 % de los **tipos de fallo** presenta un nivel RAM: medio, donde para la consecuencia en la categoría de personas cuatro de ocho plantas piloto fueron valores por "3C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos diez años generando una incapacidad a personas igual o mayor a un día. En la consecuencia para la categoría de ambiente, tres de ocho plantas piloto fueron valores por "3C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años generando un impacto "localizado" al ambiente. Finalmente, en la consecuencia para la categoría de económico, dos de ocho plantas piloto fueron valores por "1C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años generando un impacto económico menor a 10.000 USD.

El 100 % de las causas raíz se categorizó en latentes, haciendo énfasis a la ausencia o mejora de procedimientos institucionales para llevar a cabo las tareas proactivas de mantenimiento e inspección, ofreciendo a la empresa acciones prácticas de mejoramiento en sus procesos.

Un 63 % de los cálculos del riesgo total anual que fue proyectado en el tiempo presentan una tendencia decreciente. Mostrando un impacto positivo por la eficiencia en los procesos de mantenimientos correctivos en los años analizados para cada planta piloto.

#### 4.5.3 *Discusión de los resultados para el análisis de los tipos de fallo priorizados, su severidad y su frecuencia de ocurrencia, a partir de la implementación del análisis de tipos y criticidad de fallo*

La severidad del tipo de fallo se calculó en función de tres escenarios; **fuego** (inflamabilidad, cantidad liberada, exposición y posibilidad para evitar el peligro), **explosión** (posibilidad de nube vapor explosiva, masa del vapor liberado, otras explosiones, exposición y posibilidad para evitar el peligro) y **toxicidad** (toxicidad, concentración, exposición y posibilidad para evitar el peligro).

De las ocho plantas piloto evaluados se resalta que en la planta piloto 1 se presenta un análisis con valoración máxima 3, siendo está la más alta. Esta se debe a que la clasificación matriz de riesgo escenario explosión obtuvo una valoración de 3. Dada por una posibilidad de nube de vapor explosiva de nivel medio: liberación de nube explosiva en un área de congestión media (algunos obstáculos presentes), una masa de vapor liberado (instantánea o por hora) menor a 50 kg, otras explosiones de gas presente y  $50 < p \cdot V < 500 \text{ bar m}^3$ , con una exposición frecuente a continua mayor a seis horas-hombre al día y una posibilidad para evitar el peligro en algunas circunstancias mayor al 25 % de las plantas piloto.

Con respecto a la evaluación de la severidad del efecto del fallo, se resalta que el tipo de fallo explosión, descrito en el párrafo anterior, fue uno de los que presentó mayor valoración con respecto a la severidad de su efecto. Obteniendo una valoración máxima de nivel "medio", con valores por "3C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años generando una incapacidad a personas igual o mayor a un día. En la consecuencia

categoría de ambiente 3 de 8 Plantas Piloto fueron valores por "3C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años generando un impacto "localizado" al ambiente. Finalmente, en la consecuencia categoría de económico 2 de 8 Plantas Piloto fueron valores por "1C" haciendo referencia a que el evento ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años generando un impacto económico menor a 10.000 USD.

Teniendo en cuenta la normativa europea UNE-EN-60812 para el análisis de modos y efectos de fallo (AMFE) respecto al formato con el que la empresa trabaja actualmente, se presentaron una serie de recomendaciones expuestas en la sección resultados.

De acuerdo con el objetivo planteado en la investigación, se concluye que respecto a la severidad del tipo y del efecto del fallo, que de los 10 cálculos RAM de la severidad para los tipos de fallos priorizados el 50 % se encuentra en nivel "medio", el 30 % se encuentra en nivel "bajo" y el 20 % restante se encuentra en nivel "nada", cumpliéndose de esta forma el alcance planificado para la investigación.

Como trabajo futuro se planea analizar las características del servicio de mantenimiento que permitan plantear modelos de optimización basados en criterios de fiabilidad que permitan obtener el recurso humano y material óptimo para el desarrollo de los planes de mantenimiento.

## Referencias

- [1] C. Rivera, «Evolución del mantenimiento,» Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2011.
- [2] Mantenimiento Planificado, «MANTENIMIENTO PREVENTIVO,» MantenimientoPlanificado, Guadalupe.
- [3] P. Brown y M. Sondalini, Asset Maintenance Management. The Path toward Defect Elimination.
- [4] R. K. Mobley, An Introduction to Predictive Maintenance, Second ed., Butterworth-Heinemann, 2002, p. 437.
- [5] S. O. Duffuaa y A. Raouf, Planning and Control of Maintenance Systems, Springer International Publishing Switzerland, 2015.
- [6] L. Fedele, Methodologies and Techniques for Advanced Maintenance, Italy: Springer, 2011.
- [7] D. Kumar, J. Crocker, T. Chitra y H. Saranga, Reliability and Six Sigma, Springer, 2006.
- [8] N. Bhushan y K. Rai, «Strategic Decision Making,» de *Applying the Analytic Hierarchy Process*, Springer, 2004.
- [9] Ecopetrol S. A., «Estados Financieros Separados,» PricewaterhouseCoopers Ltda., Bogotá, 2016.
- [10] C. Altmann, «El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad».
- [11] T. Strawn, "Marshall Institute," [Online]. Available: [http://www.marshallinstitute.com/default.asp?Page=Maintenance\\_Resources&Area=Articles&ARTID=RoleOfMaintInOandG](http://www.marshallinstitute.com/default.asp?Page=Maintenance_Resources&Area=Articles&ARTID=RoleOfMaintInOandG). [Accessed 8 February 2017].
- [12] ARCADIS, "www.ARCADIS.com," 2014. [Online]. Available: <https://www.arcadis.com/media/D/9/1/%7BD91132EF-3481-49FC-904D-82045F6F90AB%7DOil%20and%20Gas%20Operational%20Excellence.pdf>. [Accessed 8 February 2017].
- [13] M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic y D. Ait-Kadi, handbook of maintenance management and engineering, London: Springer, 2009.
- [14] Asociación Colombiana de Ingenieros, Capítulo Cundinamarca, «ACIEM,» 8 Junio 2011. [En línea]. Available: <http://www.aciem.org/home/index.php/19-aciem/comisiones/articulos-tecnicos/129-aciem-presenta-encuesta-del-estado-del-arte-del-mantenimiento-en-colombia-2008>. [Último acceso: 8 February 2017].
- [15] A. C. d. I. ACIEM, «"Diagnóstico del Mantenimiento en Colombia (2015)": Estudio ACIEM Cundinamarca,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.aciem.org/home/index.php/prensa/noticias-aciem/23-aciem/eventos/17244-estudio-aciem-cundinamarca-diagnostico-del-mantenimiento-en-colombia-2015>.
- [16] A. I. Carrascal y V. E. Rueda, «Optimización de la estrategia para el mantenimiento de los equipos de generación de energía eléctrica de la refinería de Cartagena Mediante el uso de herramientas de confiabilidad,» Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2007.

- [17] G. A. Parrado y H. A. Delgado, «Modelo de gestión de mantenimiento para la planta de inyección de agua Campo Tello, basado en estudios de confiabilidad,» Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 2008.
- [18] J. F. Montañez y C. A. Gómez, Implementación de metodología Six Sigma en la mejora de procesos y seguridad en las instalaciones de Schneider Electric de Colombia S.A., 2006.
- [19] UNAM, «Modelo de Dirección para la Aplicación de Six Sigma Capítulo II CAPÍTULO II TEORÍA DE SIX SIGMA».
- [20] S. Manivannan, Introducción a Seis Sigma, 2007.
- [21] D. Kumar, Six Sigmas Las mejores prácticas. Una guía por la excelencia en el proceso de los negocios., Panamericana, 2009.
- [22] Marshal Institute, «"Maintenance Effectiveness».
- [23] C. A. Parra y A. C. Márquez, «Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos,» INGEMAN, Sevilla, 2012.
- [24] Terotecnic, «MES - Encuesta de Eficiencia de IMantenimiento».
- [25] P. Ruiz L, C. González R y J. Alcalde E, «Análisis de causas raíz. Una herramienta útil para la prevención de errores,» *Revista de Calidad Asistencial*, 2005.
- [26] U.S Department of Energy, «ROOT CAUSE ANALYSIS GUIDANCE DOCUMENT,» *Office of Nuclear Energy, y Office of Nuclear Safety Policy and Standards*, 1992.
- [27] M. Alexander, «Decision-Making Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) and JMP® Scripting Language».
- [28] A. Crespo M y C. A. Parra M, Ingeniería de mantenimiento y fiabilidad aplicada en la gestión de activos, Sevilla: Ingeman, Asociación para el desarrollo de la ingeniería de mantenimiento., 2012.
- [29] J. J. Rooney y L. N. V. Heuvel, «Root Cause Analysis For Beginners».
- [30] B. G. Vorley, «MINI GUIDE TO ROOT CAUSE ANALYSIS,» *MCQI*.
- [31] R. J. Duphily, «Root Cause Investigation Best Practices Guide,» © The Aerospace Corporation, 2014..
- [32] D. L. Gano, «A Comparison of Common Root Cause Analysis Tools and Methods,» 2011.
- [33] C. Parra y A. Crespo, «Análisis Causa Raíz (RCA: Root Cause Analysis). Técnica de evaluación de fallos. CAPÍTULO VI,» 2015.
- [34] R. J. Latino, K. C. Latino y M. A. Latino, Root Cause Analysis. Improving Performance for Bottom-Line Results, Boca Raton: CRC Press, 2011.
- [35] J. Santos, G. Reyes, A. Ramos y P. Fernández, «Safety Engineering, Risk Analysis and Asset Integrity,» *Special Achema 2015*, p. 66, 2015.
- [36] Comité Europeo de normalización electrotécnica, «Técnicas de análisis de la fiabilidad de sistemas,» AENOR, Madrid, 2008.
- [37] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARIZATION, Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (ISO 14224:2016), Brussels: BSI Standards Limited 2016, 2016.
- [38] L. G. Dean, «Apollo Root Cause Analysis – A New Way Of Thinking,» 1999.
- [39] ECOPETROL, «Manual para aplicación de la metodología de analisis de causa raíz para la solucion de problemas,» Piedecuesta, 2006.
- [40] ECOPETROL S.A., «Manual para aplicación de la metodología de analisis de causa raiz para la solucion de problemas,» Piedecuesta, 2006.
- [41] A. Creus, Fiabilidad y seguridad. Su aplicación en procesos industriales, 2005.



# Capítulo 5

## Sistema de información *ActivosID* para la gestión documental en el acuerdo N.º 3 Ecopetrol-UPB: un caso de estudio

Diana Teresa Gómez Forero<sup>1</sup>  
Víctor Andrés Monroy Hernández<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Docente investigadora, Grupo de investigación INTELEC, UPB. Correo electrónico: [diana.gomez@upb.edu.co](mailto:diana.gomez@upb.edu.co)

<sup>2</sup> Ingeniero de Sistemas e Informática, UPB. Correo electrónico: [victor9507@gmail.com](mailto:victor9507@gmail.com)



## Resumen

En este capítulo se presenta una síntesis del aplicativo denominado *ActivosID*, que es un sistema de información web para la gestión documental de los informes de investigación del convenio marco de cooperación científica y tecnológica entre Ecopetrol (empresa de *oil & gas*) y la Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga, cuyo propósito es la optimización del mantenimiento de activos I+D distribuidos en plantas y laboratorios del Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

*ActivosID*, surge como respuesta a la medida, de una necesidad de gestión documental en línea de informes de investigación para una alianza entre dos instituciones. El acuerdo tiene como valor esencial el cumplimiento oportuno de las metas, soportado por informes que son evaluados por una cadena de investigadores-supervisores de las dos instituciones aliadas.

A lo largo del documento se introduce el esquema de funcionamiento investigativo y administrativo del equipo humano de trabajo que conforma la alianza y sus roles en el sistema, que se resumen en los requerimientos funcionales. Se justifica la metodología evolutiva empleada en el desarrollo del software, y la aplicación de la política cero papel como lineamiento del proyecto. También se muestra el entorno tecnológico configurado para la implementación del sitio web, así como aspectos de seguridad informática aplicados hasta alcanzar el certificado de seguridad del sitio. Podrán apreciarse algunas de las interfaces de usuario del aplicativo web, que soportan porque el aplicativo fue un desarrollo a la medida.

Finalmente, se muestran las ventajas obtenidas con el uso del software, indicadores de cumplimiento, ahorro de papel, y propiedad intelectual del software.

**Palabras clave:** sistema de información, sistema de gestión documental.

## 5.1 Introducción

El Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) es el Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol. El ICP posee una importante infraestructura de activos I+D en sus plantas y laboratorios que posibilitan la investigación que allí se desarrolla. Dada la alta dependencia que genera la disponibilidad de estos equipos para el cumplimiento en las investigaciones, y los costos de mantenerlos en funcionamiento, el proceso de mantenimiento es muy sensible para la empresa. Con el propósito de optimizar este proceso, Ecopetrol suscribió un convenio marco de cooperación científica y tecnológica con la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga (UPB), el cual se desarrolla por fases. El acuerdo N.º 3 (en adelante el Acuerdo), conocido como el *nivel instrumental*, está enfocado en la fase de levantamiento de la información de los activos I+D, sus costos, la definición de indicadores clave de desempeño, entre otros aspectos. La duración de este Acuerdo es de un año.

Para cumplir con este propósito, el Acuerdo cuenta con un equipo humano compuesto por líderes de las dos instituciones, docentes investigadores, estudiantes y administrativos [1], quienes tienen asignadas funciones específicas, metas de cumplimiento y fechas de entrega según sus roles, así:

- Líder UPB: orienta todo el proceso investigativo, consolida resultados en forma mensual y trimestral, y responde ante las instancias superiores por el desarrollo del proyecto.
- Líder ICP: acompaña el proceso investigativo y verifica su cumplimiento, gestiona ante las instancias de su institución para lograr la cooperación requerida para el exitoso desarrollo del mismo.
- Equipo máquinas: compuesto por ocho docentes investigadores, cada uno dirige un estudiante. Se distribuyen el levantamiento de la información de los activos I+D en laboratorios y plantas.
- Equipo costos: compuesto por dos docentes investigadores, cada uno dirige un estudiante. Documentan los sistemas de costos actuales relacionados con los activos I+D y proponen alternativas de optimización de ellos.

- Equipo gestión: compuesto por dos docentes investigadores, cada uno dirige un estudiante. Analizan los procesos de gestión de activos I+D actuales y proponen alternativas de optimización.
- Equipo SAP: compuesto por un docente investigador, quien dirige a un estudiante. Estudia el sistema de información SAP que apoya el proceso de mantenimiento actual, lo documenta para ser usado en el proceso de optimización que se propone.
- Equipo documental: compuesto por un docente investigador, quien dirige a un estudiante. Desarrollan una solución software a la medida para la gestión documental del Acuerdo.
- Equipo administrativo: facilita todo el proceso de gestión entre las dos instituciones.
- Un auditor de Ecopetrol: verifica el cumplimiento de todos los aspectos incluidos en el Acuerdo.

La figura 5.1 ilustra el organigrama del Acuerdo N.º 3.

El cumplimiento en las metas de investigación es fundamental en el Acuerdo, por ello se estableció una cadena de control por roles:

- El avance de la investigación es orientado y realimentado con reuniones semanales de todos los miembros del equipo.
- Cada estudiante dirigido por su docente investigador reporta su trabajo en un informe mensual.
- Cada docente investigador reporta su informe mensual, solo después de avalar el trabajo de su estudiante dirigido.
- La líder UPB y el líder ICP, avalan el informe de cada docente investigador.
- Trimestralmente la líder UPB consolida los avances a partir de los informes anteriores y los presenta ante las instancias encargadas de la auditoría del Acuerdo.

Los entregables mensuales tienen definidas ciertas fechas límite de entrega como lo muestra la tabla 5.1.

De otro lado, los desembolsos por parte de Ecopetrol se realizan periódicamente luego de confirmar los cumplimientos establecidos.

Figura 5.1. Organigrama del Acuerdo N.º 3

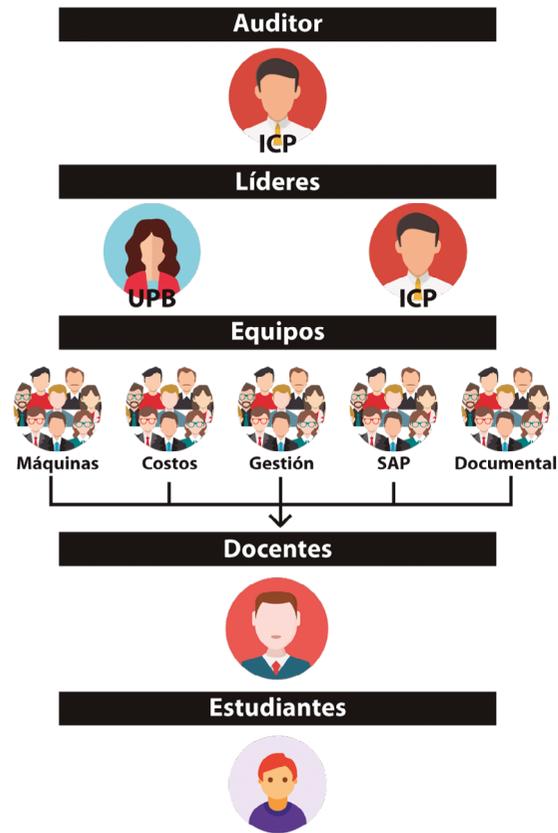


Tabla 5. 1. Fechas de entregas mensuales según el rol

Cargo	Fecha
Estudiantes	Día 30 de cada mes
Docentes	Día 2 de cada mes
Líder	Día 4 de cada mes
ICP (Visto Bueno)	Día 6 de cada mes

Fuente: [2].

Todo el proceso investigativo y administrativo anterior genera un volumen muy alto de documentos y una sobrecarga laboral en el cumplimiento de las actividades de verificación de informes, manejo de versiones, consolidación, aceptación, entre otros. Archivar esta documentación en físico, considerando algunos estilos de auditoría que aún demandan revisión sobre papel, involucra requerimientos de espacio, de control de versiones y sobrecostos administrativos y ecológicos. De otro lado, considerar la alternativa de desarrollar toda la documentación en formato digital demanda evaluar cuáles herramientas software existen que faciliten la gestión documental en medio de las características de operación particulares del Acuerdo y que la auditoría pueda encontrar todos los soportes que su ejercicio demanda sin desgastarse en búsquedas en diferentes repositorios, buzones de correos, bases de datos de las dos instituciones involucradas en el Acuerdo.

En la exploración de herramientas software de gestión documental, se encontró que cada institución posee plataformas con algunas funcionalidades que podrían apoyar parcialmente las necesidades de manejo de información del Acuerdo:

- La suite de Microsoft opera en ambas instituciones, sin embargo, ninguna de las instituciones puede brindar cuentas a usuarios que no pertenezcan oficialmente a su institución. Además, el envío de informes por correo no resulta eficiente para el trabajo de verificación y consolidación que la líder UPB realiza mensual y trimestralmente. Y sus módulos, como el *OneDrive*, aunque brindan espacio compartido, no garantizan todas las restricciones de confidencialidad entre roles, ni favorece el compromiso de los dos líderes UPB e ICP, para avalar en conjunto los informes mensuales de los docentes investigadores.
- Moodle es una plataforma que opera en la UPB para apoyar el aprendizaje, posee características interesantes que se asimilan a algunas de las necesidades de información del Acuerdo: es factible crear buzones para envío de informes con restricciones de fecha. Sin embargo, no asegura la cadena de control por roles descrita anteriormente. Y tampoco garantiza la confidencialidad exigida por el acuerdo.

- Ecopetrol es una empresa con altos niveles de madurez con relación al software y, en consecuencia, es muy restrictiva en permitir que alguna herramienta desarrollada en software libre sea instalada en sus servidores.
- La UPB por su carácter académico, puede permitir el uso del software libre dentro de criterios responsables y controles garantizados por la institución.
- No se visualizó una herramienta de gestión documental que se adaptara al 100 % de los requerimientos más prioritarios del Acuerdo.

Frente al anterior análisis, se consideró que al desarrollar una herramienta de gestión documental a la medida de las necesidades del Acuerdo, esta debería cubrir aspectos de confidencialidad, disponibilidad y seguridad de la información, aportar en la trazabilidad que demandan líderes de investigación y administrativos de las dos instituciones y, por lo tanto, debería poseer características que favorecieran el cumplimiento de todos los miembros del Acuerdo dentro de sus respectivos roles.

En relación con la herramienta, algunos aspectos fueron claros desde el principio:

- Ambiente web adaptable a dispositivos móviles.
- Debe quedar instalada en el Centro de Computación Avanzada (CCA) de la UPB, donde se garanticen altos estándares de seguridad informática.
- Debe brindar acceso diferenciado y restringido a sus usuarios según corresponda a sus roles dentro del Acuerdo.

Otros requerimientos no estaban definidos y solo con el avance del proyecto irían apareciendo. Por lo tanto, se visualizó que la metodología para el desarrollo del software tomó una orientación evolutiva.

Una vez analizado el escenario del Acuerdo y los requerimientos para una gestión efectiva de la documentación, este artículo presentará en la segunda sección el marco teórico en lo concerniente

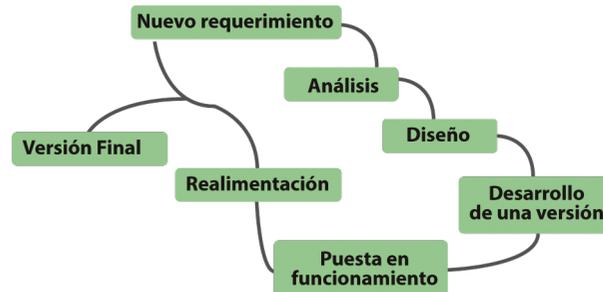
al modelo evolutivo de desarrollo de software, a la política cero papel que debe orientar los procesos de este Acuerdo, un breve resumen de las tecnologías más relevantes y adecuadas para el desarrollo del aplicativo web, aspectos de seguridad informática que deben aplicarse y conceptos de propiedad intelectual que aplicarán sobre el software desarrollado. En la sección siguiente, se presentarán los resultados del proyecto, los cuales se pueden categorizar en aspectos de especificación de requerimientos, consideraciones del diseño general y detallado de la aplicación, aspectos de seguridad implementados, consideraciones para la definición de la propiedad intelectual del software, efectos de la implementación de la política cero papel en el Acuerdo como consecuencia del uso del software *ActivosID*, finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones, los agradecimientos y las referencias bibliográficas.

## 5.2 Marco teórico

### 5.2.1 Modelo evolutivo de desarrollo de software

La metodología evolutiva de desarrollo de software, toma en consideración que en algunos escenarios se requiere el desarrollo de un software con un propósito específico, pero que sus funcionalidades no están claramente delimitadas desde el inicio, sino que el software crecerá en la medida que el proyecto avance, o el mismo software vaya presentando sus características y provea nuevas posibilidades de funcionamiento. En estos casos no se parte de una especificación de requerimientos completa, sino que se adicionan nuevos requerimientos en la medida en que surgen. Cada nuevo requerimiento pasa por etapas de especificación, análisis, diseño, implementación, y se entrega una versión funcional que los usuarios utilizan, y gracias a sus reportes de uso, es mejorada hasta que queda en su versión de producción cuando ya no se reportan nuevos aspectos de mejora [4]. Luego, otros requerimientos nacerán y se repetirán los anteriores pasos hasta llegar a una versión final del sistema. La figura 5.2 ilustra este modelo de desarrollo, aplicable para sistemas que crecen con el avance de sus proyectos.

Figura 5.2. Metodología evolutiva



## 5.2.2 Política cero papel

La política denominada *cero papel*, emanada de la Directiva Presidencial N.º 04 de abril 3 de 2012, consiste en la "sustitución de los flujos documentales en papel por soportes y medios electrónicos, sustentados en la utilización de Tecnologías de la Información y las Telecomunicaciones" [22]. Esta estrategia busca reducir el impacto ambiental generado por el consumo de papel en las instituciones del gobierno y mejorar la eficiencia administrativa mediante procesos apoyados en las TIC.

Esta directiva demanda de las entidades gubernamentales [23, 24, 25, 26]:

- Realizar un diagnóstico y establecer una línea base de cuánto se consumen en papel actualmente.
- Promover el cambio de cultura organizacional.
- Incorporar esquemas de gestión de documentos, con base en el análisis de los procesos y negocios de la entidad.
- Automatizar todos los procesos y procedimientos críticos.

## 5.2.3 Tecnologías adecuadas para el sitio web

Dado el requerimiento de un aplicativo web adaptable a dispositivos móviles, que resida en servidores del CCA, las siguientes tecnologías resultan útiles para obtener el software esperado:

**PHP:** "Es un lenguaje de programación de código abierto del lado del servidor y multiparadigmático diseñado originalmente para el desarrollo web de contenido dinámico" [33]. Está respaldado por una gran comunidad de desarrolladores que brindan soporte a través de redes del conocimiento en esta tecnología.

**HTML5:** "Es un lenguaje de maquetación utilizado para definir la estructura y contenido de una página o documento web" [34]. Fue seleccionado debido a que es un estándar estable que soporta la utilización de recursos multimedia y gráficos del lado del cliente, y establece excelente comunicación con el servidor.

**CSS3:** "Es un lenguaje de diseño gráfico utilizado para definir la presentación (aspecto visual) de un documento HTML o página web" [35]. Permite estandarizar aspectos de estilo del sitio.

**BOOTSTRAP:** "Es un framework o conjunto de herramientas de código abierto para diseño de sitios y aplicaciones web. Contiene plantillas de diseño con tipografía, formularios, botones, cuadros, menús de navegación y otros elementos de diseño basados en HTML y CSS, así como extensiones de JavaScript opcionales adicionales" [29]. La utilización de Bootstrap en el desarrollo del proyecto agiliza los tiempos de desarrollo ya que este framework cuenta con diseños ya predefinidos para su utilización.

**JAVASCRIPT:** "Es un lenguaje de programación interpretado, se utiliza principalmente del lado del cliente, implementado como parte de un navegador web permitiendo mejoras en la interfaz de usuario y páginas web dinámicas. JavaScript se define como orientado a objetos, basado en prototipos, imperativo, débilmente tipado y dinámico" [27]. La importancia de JavaScript en el sistema de gestión documental es que permite mejorar la interacción con el usuario ya que proporciona funcionalidades a los elementos gráficos que conforman la interfaz, por ejemplo, menús desplegables enriquecidos, cambios de imágenes al realizar una acción, entre otros.

**JQUERY:** "Es una biblioteca multiplataforma de JavaScript, que permite simplificar la manera de interactuar con los documen-

tos HTML, manipular el árbol DOM (jerarquía de etiquetas HTML), manejar eventos, desarrollar animaciones y agregar interacción con la técnica AJAX a páginas web" [28]. Gracias a JQUERY se puede manejar de forma más sencilla e intuitiva el lenguaje al lado del cliente, que en el caso del sistema de gestión documental es JavaScript. JQUERY permite utilizar AJAX que es una tecnología que permite comunicar el lado cliente con el servidor web sin tener que recargar la página [30].

**MYSQL:** "Es un sistema de gestión de bases de datos relacional de código abierto, licenciado bajo la GPL de la GNU" [31]. Utiliza el lenguaje de consultas SQL. Una vez especificados y analizados los requerimientos del sistema de gestión documental se evidencia la necesidad de utilizar una base de datos relacional, y MySQL reúne las capacidades para responder a las necesidades del proyecto.

### 5.2.4 Herramientas y ataques de seguridad

El Acuerdo demanda integridad, confiabilidad y disponibilidad de la información que se aloje en el sistema de gestión documental. Para lograrlo debe asegurarse el sitio web y para ello se requiere de ciertas herramientas:

**NMAP:** Es un software de código abierto que se utiliza para la exploración de red y auditorías de seguridad informática. Esta herramienta determina cuáles servidores (*host*) están disponibles en la red, qué servicios están ofreciendo los *hosts*, cuál sistema operativo se está ejecutando, entre otras muchas características. La información que proporciona esta exploración a la red es de utilidad para la detección de posibles vulnerabilidades y ataques [10, 11].

**NESSUS:** Es una aplicación que se utiliza para el escaneo de vulnerabilidades en diversos sistemas operativos. Cuenta con una biblioteca actualizada de más de 59.000 complementos (*plugins*) que la convierten en una de las herramientas más potentes para el aseguramiento de software [12].

### 5.2.5 Propiedad intelectual

La propiedad intelectual de un software se determina según normativas internacionales de derecho de autor. En primera instancia, es importante reconocer que el software, en términos de propiedad intelectual, se asimila a obras literarias. Por ello los siguientes conceptos son relevantes:

- **Derechos morales:** Consisten en el reconocimiento de quién es el autor de la obra realizada y el respeto a la integridad de la misma. Los derechos morales surgen en el instante de la creación de la obra, el artista no puede renunciar o ceder estos derechos [15].
- **Derechos patrimoniales:** Hacen referencia a la explotación económica de la obra, por tanto, los derechos patrimoniales se pueden ceder a otras personas. [15]
- **Obra por encargo:** Se entiende de esta forma cuando la obra ha sido creada en el desarrollo de un contrato de prestación de servicios, caso en el cual la ley presume que la titularidad de los derechos patrimoniales o económicos, la tiene el contratante que ha señalado el plan de su desarrollo y que asume el costo y responsabilidad de la misma [16].

## 5.3 Resultados

Como resultado de uno de los objetivos del Acuerdo, se desarrolló el sistema de información web *ActivosID*, el cual es accesible a través de la ruta <https://activosID.bucaramanga.upb.edu.co/>. El sitio corresponde a los descritos en los literales que se presentan a continuación.

### 5.3.1 Especificación de requerimientos

**Alcance del sistema:** *ActivosID* es un software web adaptable a dispositivos móviles, con certificado de seguridad https que gestiona la información de los miembros del Acuerdo del convenio de coo-

peración científica y tecnológica entre Ecopetrol y la UPB según los requerimientos aprobados por los líderes del proyecto.

**Requerimientos funcionales:** En forma resumida, los líderes del Acuerdo establecieron los siguientes requerimientos:

- RF\_1: Cuentas de usuario a los integrantes del Acuerdo, con acceso restringido según sus roles de estudiante, docente investigador, líder UPB, líder ICP.
- RF\_2: Inicio de sesión.
- RF\_3: Mis entregables: buzón para entrega de informes por cada período, por cada usuario.
- RF\_4: Estudiantes: los docentes podrán visualizar los estudiantes a su cargo.
- RF\_5: Revisión de documentos: el docente podrá revisar los entregables de sus estudiantes a cargo.
- RF\_6: Informes: el líder UPB o ICP, podrá listar todos los documentos mensuales, y administrar el documento consolidado: subir, descargar y eliminar.
- RF\_7: Líder ICP: podrá visualizar, descargar y calificar los informes de la líder UPB.
- RF\_8: Funcionario DIT: la responsable por parte de la Dirección de Investigación y Transferencia de la UPB (DIT) podrá visualizar, descargar y calificar los informes de la líder del proyecto. Este requisito es requerido para autorizar pagos.
- RF\_9: Profesional de apoyo: podrá visualizar y descargar los entregables de la líder UPB del proyecto, para crear los archivos físicos que irán a auditoría.
- RF\_10: Renombrar entregable: operación automática del sistema que renombra los archivos al momento de ser cargados por el usuario con nombres estándar configurados por la líder UPB.
- RF\_11: Limitar el número de entregas: el sistema solo permitirá un archivo como entregable del mes. Si los usuarios requieren más de un documento deberán subir archivos comprimidos. Esto elimina el riesgo de múltiples versiones en los entregables.
- RF\_12: Control de apertura y cierre del buzón a discreción de la líder UPB.

- RF\_13: Restricción del buzón del supervisor: dentro de la cadena de control de supervisión, para que el supervisor pueda subir un documento, primero el supervisado deberá subir su entregable y ser calificado, cuando esto suceda el buzón del supervisor estará abierto.
- RF\_14: Directorio de todos los usuarios del sistema.
- RF\_15: Seguimiento: listado de entregables subidos al sistema categorizados por año.
- RF\_16: Cambio de usuario: opciones de edición con los datos del usuario.
- RF\_17: Recaptcha: reconocimiento de imágenes al momento del *login* como medida de prevención que el sistema está siendo accedido por humanos y no por máquinas.
- RF\_18: Actas: espacio para acceso a las actas de las reuniones de los investigadores.
- RF\_19: Cambiar contraseña.
- RF\_20: Documentos de interés: espacio para compartir documentos de interés de todos los miembros del Acuerdo.
- RF\_21: Comparativo de estadísticas de puntualidad por mes. Todos los integrantes podrán visualizar estadísticas de cumplimiento de cada grupo del Acuerdo.
- RF\_22: Inhabilitar la funcionalidad de gestionar documentos para el rol de líder, con el fin de evitar duplicidad de la información.

#### Requerimientos no funcionales:

- RNF\_1: El lenguaje de programación con el cual se desarrollará el sistema de información no fue definido y será escogido por el desarrollador del proyecto.
- RNF\_2: El sistema de información debe tener una interfaz gráfica amigable e intuitiva para el usuario, la cual debe ser desarrollada usando los lenguajes HTML5, CSS3 y JavaScript.
- RNF\_3: El sistema de información en aspectos de usabilidad debe ser simple y amigable para no desorientar al usuario, también debe de tener instrucciones para que el usuario entienda cada una de las funcionalidades ofrecidas por el sistema.
- RNF\_4: El sistema de información debe estar alojado en el Centro de Computación Avanzada (CCA) de la UPB con el fin de que los

usuarios puedan acceder 24/7 desde cualquier parte con conexión a internet, y que se garantice un entorno informático seguro.

### 5.3.2 Diseño general y detallado

**Roles del sistema.** Los roles definidos para los usuarios del sistema de gestión documental son:

- Líder ICP
- Líder UPB
- Docente investigador
- Estudiante
- Auditor ICP
- Líder DIT
- Profesional de apoyo

**Diagramas de secuencia.** Mediante diagramas de secuencia con notación UML se representará la interacción de los roles en el sistema de gestión documental *ActivosID*.

**Inicio de sesión.** La funcionalidad *iniciar sesión* cumple el siguiente proceso: el usuario ingresa y envía sus datos de acceso, en este caso el correo electrónico institucional y su contraseña al sistema, estos son validados en la base de datos, si son correctos, el sistema autentica al usuario en la plataforma como se puede observar en la figura 5.3.

**Cargar documento. Estudiante.** La funcionalidad *cargar documento* para el rol de estudiante cumple el siguiente proceso: el estudiante carga y envía el documento, en este caso el informe que se generó en el mes, al sistema. Este se encarga de validar el documento revisando si la extensión del archivo es válida y que solo sea un archivo. Una vez el documento esté validado, el sistema guarda el archivo en el servidor y registra el entregable en la base de datos, quien confirma al sistema que los datos se guardaron correctamente y, por último, el sistema le verifica al usuario que se cargó el documento correctamente, como se puede observar en la figura 5.4.

Figura 5.3. Inicio de sesión

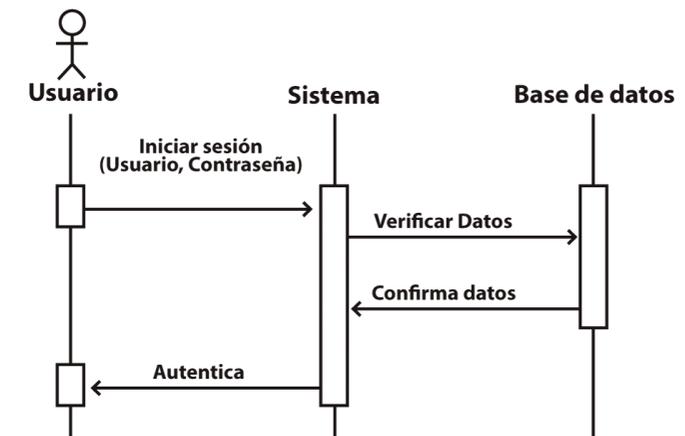
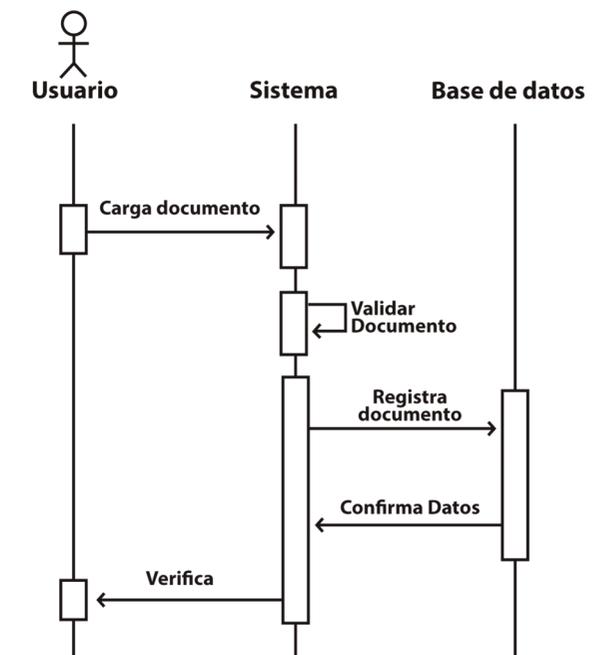


Figura 5.4. Cargar documento rol estudiante



**Cargar documento. Docente.** La funcionalidad cargar documento para el rol de docente cumple el siguiente proceso: el docente revisa el documento que el estudiante cargó, el sistema se encarga de enviar el registro del revisado a la base de datos y la base de datos le confirma al sistema que se guardaron correctamente los datos. El sistema ejecuta una operación para abrir el buzón del docente ya que este no se abre si el docente no ha calificado el entregable del estudiante, el sistema le verifica al usuario para que pueda empezar a realizar el proceso de cargar su entregable el cual consta del siguiente proceso: el docente carga y envía el documento en este caso el informe que se generó en el mes al sistema. El sistema se encarga de verificar si la extensión del archivo es válida y que solo corresponda a un archivo. Una vez aprobado, el sistema guarda el archivo en el servidor y registra el entregable en la base de datos. Luego, confirma al sistema que los datos se guardaron correctamente y, por último, el sistema le verifica al usuario que se cargó el documento correctamente, como se puede observar en la figura 5.5.

**Cargar documento. Líder.** La funcionalidad cargar documento para el rol de líder cumple el siguiente proceso: el líder revisa todos los documentos, tanto de los docentes como de estudiantes; el sistema se encarga de enviar el registro del revisado a la base de datos y esta le confirma al sistema que se guardaron correctamente los datos. El sistema le informa al usuario para que pueda empezar a realizar el proceso de cargar su entregable. El usuario, en este caso el líder, construye su informe con todos los informes de los integrantes, una vez termina el informe pasa a cargar su documento y a elegir el tipo de documento, si es mensual o trimestral. El sistema se encarga de validar el documento revisando si la extensión del archivo es válida, una vez el documento este validado el sistema guarda el archivo en el servidor y registra el entregable en la base de datos, luego la base de datos confirma al sistema que los datos se guardaron correctamente y, por último, el sistema le confirma al usuario que se cargó el documento correctamente. Así lo muestra la figura 5.6.

**Revisar documentos. ICP.** La funcionalidad de revisar documentos por parte del rol líder ICP se cumple en el sistema de la siguiente

Figura 5.5. Cargar documento rol docente

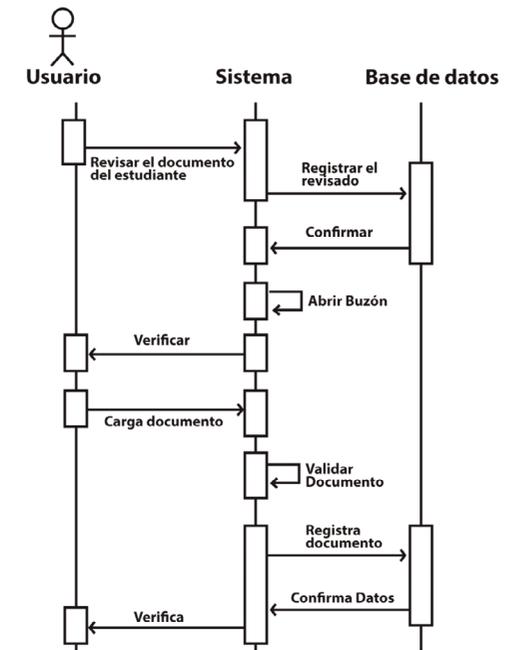
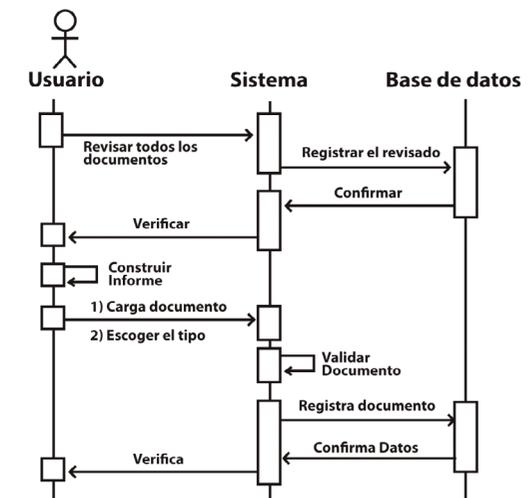


Figura 5.6. Cargar documento rol líder





### 5.3.5 Recursos asignados en el CCA

El Centro de Computación Avanzada (CCA) de la UPB es un espacio donde se encuentran alojados físicamente un conjunto de servidores de alto rendimiento para brindar capacidad de almacenamiento y de procesamiento a proyectos de investigación de la UPB. En el CCA, al sitio web *ActivosID*, le fue asignado un dominio con nombre "*activosID.bucaramanga.upb.edu.co*", y los recursos que se describen en la tabla 5.2.

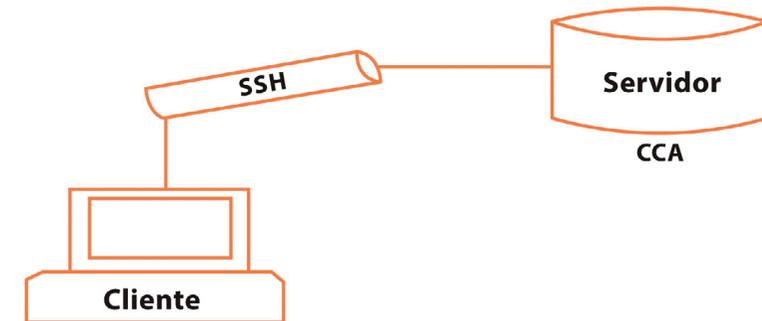
Tabla 5.2. Especificaciones de la máquina virtual del CCA

Sistema operativo	Linux
Distribución	Debian (Jessie)
Versión	8.7.1
Arquitectura	64 bits
Entorno gráfico	Gnome v 3.14.1
Ram	2 GB
Disco duro	300GB
Cores CPU	2
IPv4 Static	10.154.12.34/24
MAC Address	FE:09:40:30:F4:9C

Fuente: [36].

Las actualizaciones que se hacen a la aplicación *ActivosID*, sobre el servidor, son verificadas previamente en un ambiente de prueba, por lo tanto, existe un canal de comunicación para la transmisión de las actualizaciones, este es el servicio SSH (protocolo que facilita las comunicaciones seguras entre dos sistemas usando una arquitectura cliente/servidor) [7] como se observa en la figura 5.10.

Figura 5.10. Comunicación por SSH entre un cliente y la máquina alojada en el CCA



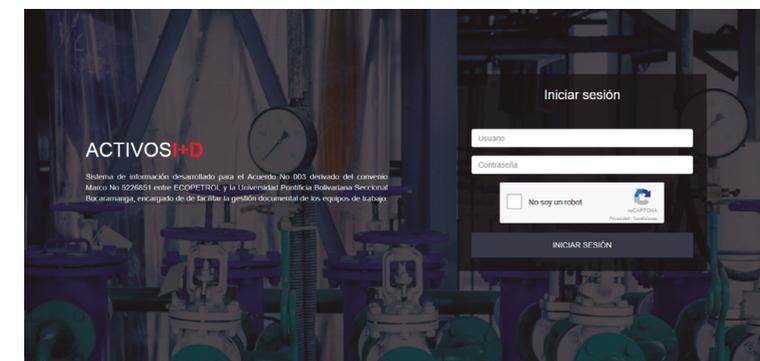
## 5.4 Sistema de información *ActivosID*

El sistema de información web *ActivosID* implementado presenta a grandes rasgos, el siguiente funcionamiento.

### 5.4.1 Inicio y autenticación

El usuario puede encontrar una página de inicio con una breve descripción y el formulario de autenticación, el cual requiere la cuenta de correo institucional, la contraseña y una verificación por *captcha* (figura 5.11).

Figura 5.11. Interfaz de inicio



## 5.4.2 Funcionalidades por roles

Las opciones a las que acceden los roles de estudiante y de docente investigador se aprecian en la figura 5.12. La diferencia radica principalmente en que el docente puede acceder al trabajo de sus estudiantes para avalarlo.

Figura 5.12. Funcionalidades roles estudiante y docente



Las funcionalidades de los roles líderes UPB e ICP, se aprecian en la figura 5.13.

La líder UPB, además de ser una docente investigadora, posee buzón para los informes consolidados, funcionalidades para el seguimiento al trabajo de los docentes investigadores y de configuración de algunas características como los controles de tiempos y de etiquetas de archivos. Mientras que el líder ICP, puede ingresar a revisar los informes consolidados de la líder UPB.

Figura 5.13. Funcionalidades roles líder UPB y líder ICP



## 5.4.3 Cambio de contraseña

El cambio de contraseña, es una funcionalidad común a todos los roles. Una contraseña será aceptada si tiene como mínimo ocho caracteres entre los cuales haya, al menos, una letra, una mayúscula y un dígito. Esta cadena debe ser escrita dos veces para garantizar que el usuario la introdujo en forma correcta. La figura 5.14 (página 388) muestra la interfaz para esta funcionalidad.

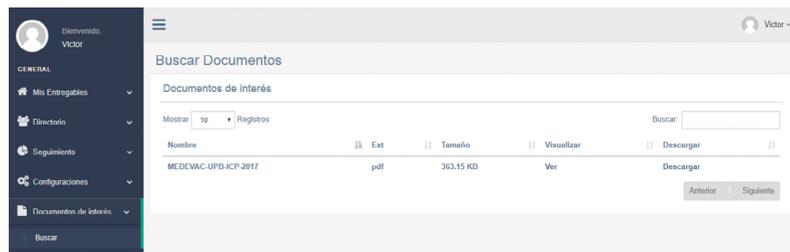
## 5.4.4 Documentos de interés

Esta funcionalidad comparte documentos que pueden resultar del interés de todos los miembros del Acuerdo, y que pueden ser consultados y descargados. Ver figura 5.15 (página 388).

Figura 5.14. Cambiar contraseña



Figura 5.15. Buscar documentos de interés



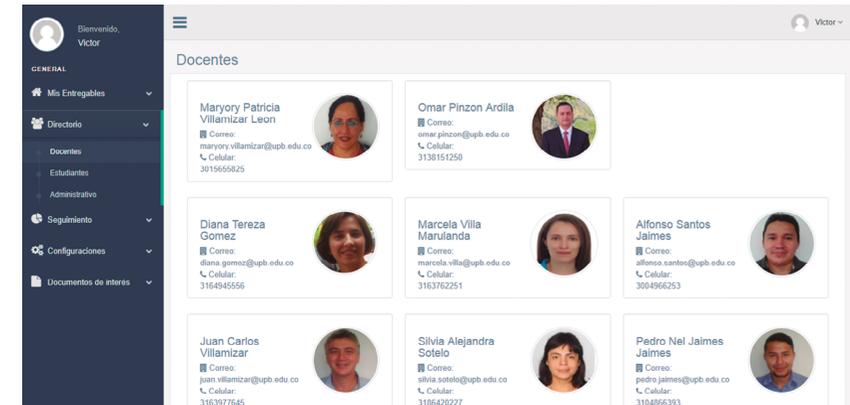
### 5.4.5 Directorio

Todos los roles tienen acceso al directorio de miembros del Acuerdo, el cual se encuentra categorizado como estudiantes, docentes o administrativos. En la figura 5.16 se observa el directorio de docentes: muestra el nombre, una foto, el correo electrónico y el celular del docente, de igual forma funciona para el directorio de estudiantes y administrativos.

### 5.4.6 Mis entregables

Los roles de estudiante y docente deben enviar sus informes al buzón dispuesto para ello en el sistema *ActivosID*. La figura 5.17 (página 390) muestra que sobre el menú del lado izquierdo accede a la opción *Mis Entregables*, y allí elige *Crear Entregable*. Aparece un

Figura 5.16. Directorio de docentes



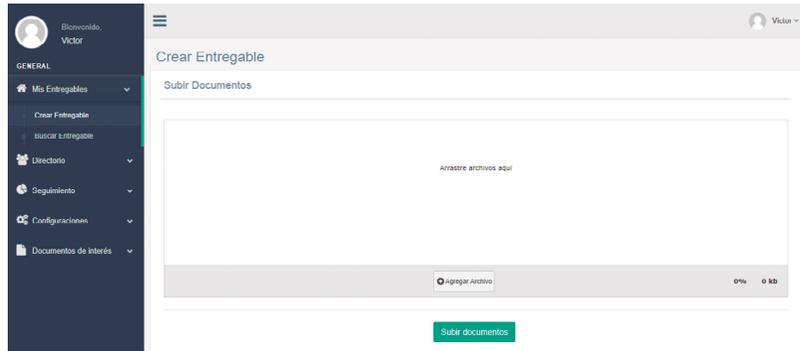
formulario para cargar el archivo a enviar, el archivo puede ser arrastrado. El sistema valida el tipo de formato del archivo, por ejemplo pdf, zip, doc, entre otros avalados por el líder del proyecto; también valida que solo sea un archivo por entregable. Si se requiere subir más de un archivo se deberá presentar comprimido, de tal forma se evitarán confusiones con múltiples versiones de entregables por período. Si el usuario ya subió un entregable y desea modificarlo deberá eliminarlo para poder cargar el nuevo, el buzón solo se abrirá en la fecha seleccionada por la líder de lo contrario esta funcionalidad permanece inactiva y despliega el mensaje "buzón cerrado".

Para el caso de buzón de entregables del docente hay algunas restricciones adicionales, tales como que se valida que este ya haya aprobado el entregable del estudiante, de lo contrario el buzón permanece cerrado y muestra el mensaje "buzón no activo hasta que no califique al estudiante".

El rol de la líder UPB encuentra una opción más en el menú, que le permite elegir buzón para entregables mensuales o trimestrales.

En la figura 5.18 se muestra la funcionalidad de buscar entregables propios donde se listan los entregables creados hasta el momento.

Figura 5.17. Crear entregable



Para cada uno aparece: el nombre, la extensión, el tamaño y funcionalidades eliminar y descargar; también se puede observar un campo llamado revisado, donde muestra el estado de revisión que tiene hasta el momento: un ícono de reloj de arena, si aún está en espera de revisión por parte del docente, un ícono azul de chequeo si ya fue revisado por éste (figura 5.19), un ícono amarillo de chequeo si ya fue revisado por la líder UPB y otro en color verde si ya fue revisado por el líder ICP (figura 5.20).

Figura 5.18. Listado de entregables, sin evaluar por el docente

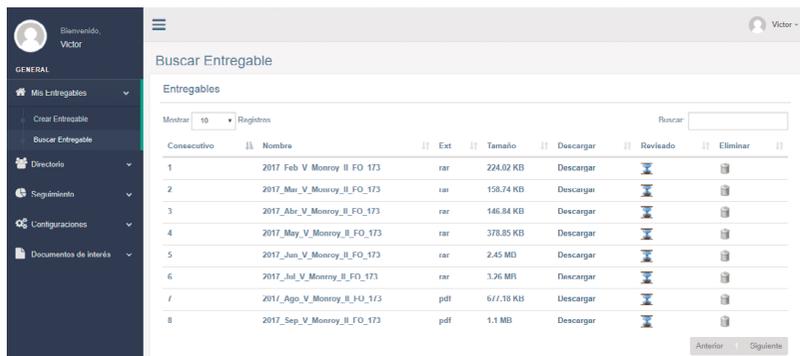


Figura 5.19. Listado de entregables revisados por el docente

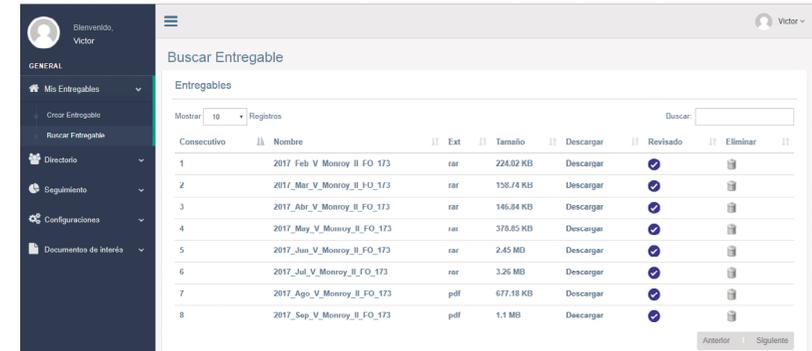
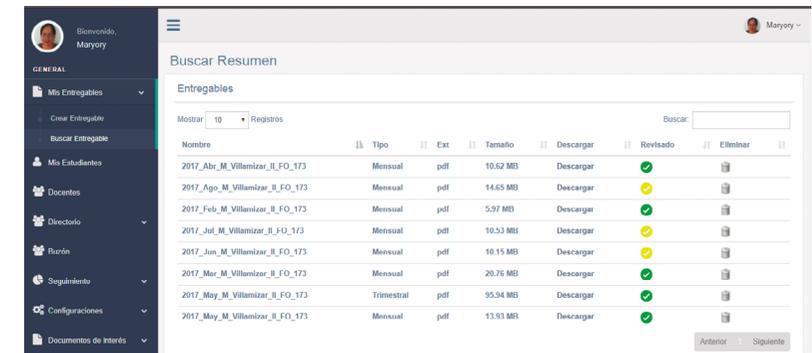


Figura 5.20. Entregables revisados por los líderes UPB e ICP



### 5.4.7 Mis estudiantes

Por medio de la opción *Mis Estudiantes*, los docentes accederán al listado de estudiantes a su cargo. En el Acuerdo, cada docente solo tiene a cargo un estudiante. De ellos podrá acceder a sus datos de contacto (ver figura 5.21, página 392).

Una vez el docente da clic sobre el botón *Ver documentos*, se listan todos los informes que el estudiante ha subido, como se muestra en la figura 5.22 (página 392), allí puede observar el estado de revisión

en el que estos se encuentran, y también puede realizar la revisión del informe actual, siempre y cuando esté dentro de la ventana de tiempo autorizada por la líder UPB.

Figura 5.21. Ejemplo de estudiantes asignados a un docente

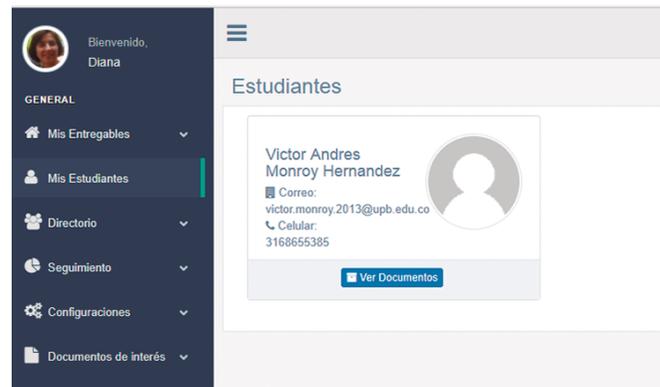


Figura 5.22. Listado de informes del estudiante y su estado de revisión visto desde el rol de docente



### 5.4.8 Docentes

El rol de líder UPB, puede acceder al listado de docentes investigadores. Por cada uno puede elegir entre ver sus informes, o los de los estudiantes dirigidos por ellos. Ver figuras 5.23 y 5.24.

Figura 5.23. Lista de docentes

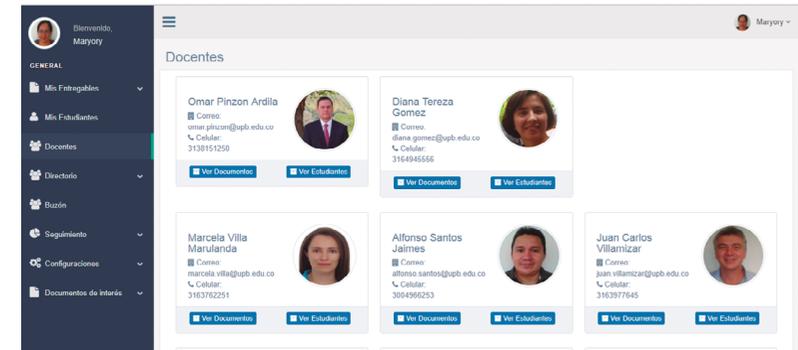


Figura 5.24. Lista de informes del docente elegido por líder UPB



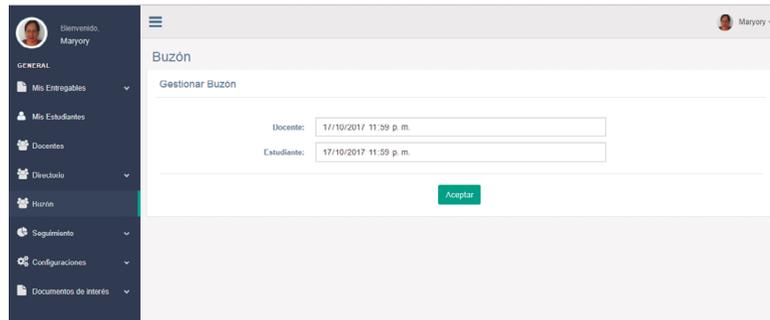
### 5.4.9 Buzón

Esta funcionalidad, exclusiva de la líder UPB, conduce a la captura de dos fechas: la de cierre del buzón de los estudiantes y la de cierre para el buzón de los docentes. Ver figura 5.25 (página 394).

### 5.4.10 Informes mensuales y trimestrales

El rol de líder ICP cuenta con algunas funcionalidades exclusivas, como la de revisar los informes consolidados mensuales y trimestrales de la líder UPB. La figura 5.26 (página 394) muestra un listado

Figura 5.25. Gestionar fechas de cierre de los buzones de estudiante y de docente



de informes consolidados mensuales. Por cada uno se aprecia el estado de revisión en el que se encuentra. Es función del líder ICP revisar cada informe consolidado y aprobarlo. Los informes que aún no han sido revisados muestran un ícono en color amarillo. Los informes ya avalados muestran un ícono verde.

Figura 5.26. Informes mensuales del líder UPB disponibles para la revisión del líder ICP

Titulo	Fecha	Nombre	Ext	Tamaño	Descargar	Revisado
2017_May_M_Villamizar_R_FO_173	2017-06-15 21:52:26	2017_Feb_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	5.97 MB	Descargar	✓
2017_May_M_Villamizar_R_FO_173	2017-06-15 21:53:43	2017_Mar_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	20.76 MB	Descargar	✓
2017_May_M_Villamizar_R_FO_173	2017-06-15 21:53:31	2017_Abr_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	10.62 MB	Descargar	✓
2017_May_M_Villamizar_R_FO_173	2017-06-15 21:59:21	2017_May_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	13.93 MB	Descargar	✓
2017_Jun_M_Villamizar_R_FO_173	2017-07-19 08:45:30	2017_Jun_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	10.15 MB	Descargar	⚠
2017_Jul_M_Villamizar_R_FO_173	2017-08-08 07:43:01	2017_Jul_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	10.53 MB	Descargar	⚠
2017_Ago_M_Villamizar_R_FO_173	2017-09-19 22:31:30	2017_Ago_M_Villamizar_R_FO_173	pdf	14.65 MB	Descargar	⚠

### 5.4.11 Indicadores de cumplimiento

El sistema provee estadísticas de cumplimiento de cada mes y por cada equipo de trabajo. Para ello, desde el menú, se selecciona la opción seguimiento. Esta despliega el período anual a observar. Una vez el usuario elige el período de seguimiento, una gráfica

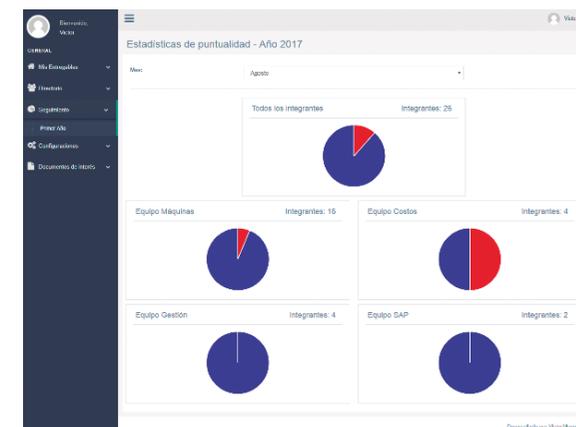
despliega en rojo el porcentaje de entregas tarde y en azul las entregas a tiempo teniendo en cuenta a todos los investigadores. Ver figura 5.27.

Figura 5.27. Estadísticas de puntualidad 2017



El sistema también cuenta con la capacidad de mostrar las estadísticas por mes de cada uno de los grupos que conforman este proyecto, como se puede observar en la figura 5.28.

Figura 5.28. Estadísticas de puntualidad, agosto 2017

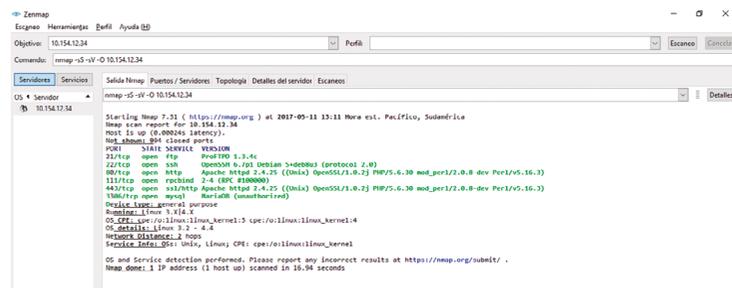


## 5.5 Aspectos de seguridad informática

Considerando la evolución del sitio web *ActivosID*, su escalabilidad y mejores condiciones de aseguramiento, este aplicativo fue migrado al Centro de Computación Avanzada (CCA) de la UPB. Una vez verificada la funcionalidad del sitio, y previo a cualquier actividad de gestión documental por parte de sus usuarios, se realizaron diversas pruebas de seguridad informática para detectar posibles vulnerabilidades. Las pruebas que se siguieron fueron las siguientes:

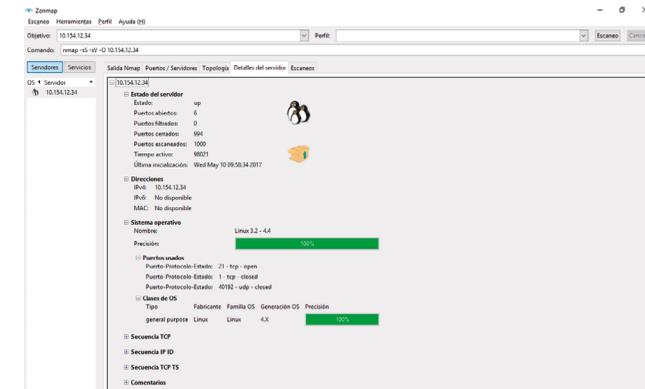
**NMAP:** esta herramienta permite en primera instancia determinar los puertos abiertos y el servicio que corre por cada uno de ellos. En el caso de *ActivosID* se detectaron seis puertos abiertos cuyos servicios son programas instalados en el servidor requeridos para el correcto funcionamiento de la aplicación. Los demás puertos están cerrados por seguridad ya que no son necesarios. Las figuras 5.29 y 5.30 muestran los resultados de las pruebas.

Figura 5.29. Resultado del escaneo de puertos abiertos del servidor del CCA con NMAP



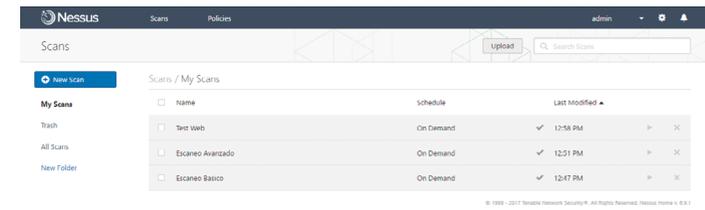
En la figura 5.30 se muestra detalladamente la información del servidor, tanto sistema operativo como la cantidad de puertos escaneados, en este caso 1000 con una cantidad de seis puertos abiertos y 994 puertos cerrados.

Figura 5.30. Resultado detallado del escaneo del servidor del CCA



**Nessus:** en la figura 5.31 se muestran los resultados de los tres escaneos (escaneo avanzado, básico y un test web) realizados sobre el sitio web. En los tres escaneos el aplicativo pasó las pruebas.

Figura 5.31. Resultado de la herramienta Nessus

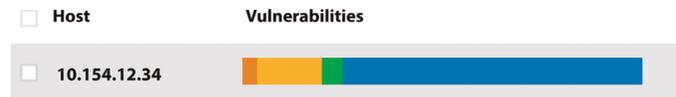


Adicionalmente, lista en un gráfico cuántas vulnerabilidades encontró y de qué grado de criticidad. La figura 5.32 permite observar los resultados de la prueba, en las cuales no hubo ninguna vulnerabilidad crítica (color rojo).

**Ataque de acceso a directorios:** se ejecutó un script para la búsqueda de directorios en la aplicación que permitan acceder a la in-

formación. Como resultado no fue posible acceder a la información ingresando por los directorios del aplicativo, debido a que el sistema de gestión documental cuenta con un archivo .htaccess, configurado de tal forma que solo los administradores pueden tener acceso a ciertos directorios, y que además solo ellos adaptan de acuerdo a ciertas políticas de acceso que buscan mejorar la seguridad de la aplicación web [13].

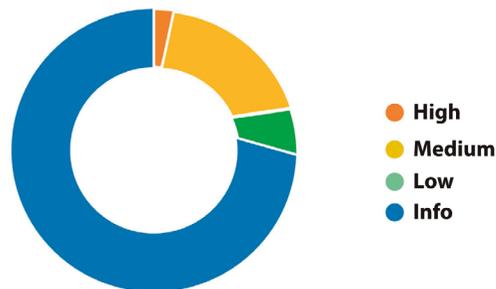
Figura 5.32. Resultado de pruebas de vulnerabilidades según su grado de criticidad, realizadas con la herramienta Nessus



### Scan Details

**Name:** Escaneo Básico  
**Status:** Completed  
**Policy:** Basic Network Scan  
**Scanner:** Local Scanner  
**Folder:** My Scans  
**Start:** Today at 12:43 PM  
**End:** Today at 12:47 PM  
**Elapsed:** 4 minutes  
**Targets:** 10.154.12.34

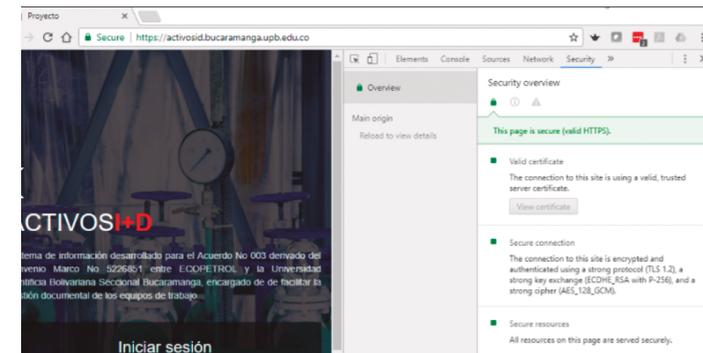
### Vulnerabilities



**Ataque de fuerza bruta:** este ataque consiste en crear un diccionario de datos con información personal de los usuarios del sistema de gestión documental, y por medio de una herramienta software armar combinaciones de estos datos con el fin de utilizarlos como medio de acceso a las cuentas de los usuarios. Este ataque fue probado con la aplicación, y gracias a que fue implementado un *captcha* o programa que verifica si quien intenta acceder es un humano o una aplicación, no hubo acceso a las cuentas de usuario.

Además, **se implementó HTTPS** al sistema de información como se puede observar en la figura 5.33, el cual es un protocolo de comunicación de internet que protege la confidencialidad y la integridad de los datos de los usuarios, de igual manera cifra los datos que se intercambian para mantenerlos a salvo.

Figura 5.33. Certificado digital



## 5.6 Propiedad intelectual

A cargo del desarrollo del sistema de información *ActivosID* se encuentran una docente y un estudiante contratados por el Acuerdo, a quienes en adelante se denominarán el *equipo web*. Este equipo indaga entre los líderes del proyecto las necesidades funcionales del sistema y las documenta sobre un sistema de especificación de requerimientos. Luego diseña y desarrolla las funcionalidades, las

pone a prueba, hasta que son aceptadas y pasan a modo de producción. Este proceso es cíclico, es decir, que cada período se indaga por nuevas necesidades y nuevamente se especifican, diseñan, implementan hasta que quedan en producción. Es por ello que la metodología de desarrollo se considera evolutiva. La figura 5.34 ilustra la situación contractual de los autores.

Figura 5.34. Situación contractual de los autores del sitio Web ActivosID



La arquitectura del aplicativo también es relevante para determinar, sobre qué módulos se puede determinar propiedad intelectual. La figura 5.35 muestra un diagrama de despliegue, donde se observa, que el aplicativo está desarrollado a partir de lenguajes de programación como PHP, JAVASCRIPT, gestor de base de datos MYSQL, bibliotecas como JQuery, Bootstrap y otras más que se nombrarán a continuación, con los siguientes tipos de licenciamiento (ver tabla 5.3).

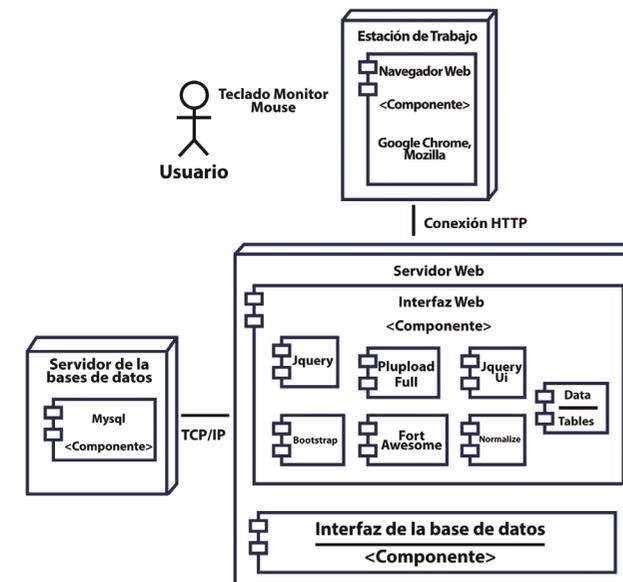
Las anteriores licencias tienen estas características con relación al uso que se les puede dar:

- MIT: Es una licencia de software libre permisiva esto quiere decir que se puede modificar, incorporar en proyectos libres o no libres, distribuir, comprar y vender. Esta licencia es compatible con muchas licencias Copyleft [19].

Tabla 5.3. Componentes de software empleados en el sistema de información ActivosID

Librerías	Licencia
JQuery	MIT
Bootstrap	MIT
Plupload full	GPL
Font awesome	MIT
JQuery UI	MIT
Normalize	MIT
Data Tables	MIT

Figura 5.35. Diagrama de despliegue del sistema de información ActivosID



Fuente: Los autores a partir de [17, 18]

- GPL: (General Public License) es una licencia pública general, que determina que el material sujeto a esta licencia no está jurídicamente sujeto a derechos de autor (*copyright*) [20].

Teniendo en cuenta que el sistema de información *ActivosID*, corresponde a un desarrollo propio de los autores a partir de los componentes PHP, JavaScript, y MySQL, se puede considerar como una obra de software original, y a los miembros del equipo web como autores morales del mismo. Y dada la condición contractual de los autores dentro del proyecto el sistema de información *ActivosID* corresponde a una obra por encargo, cuyos derechos patrimoniales son compartidos entre ECOPETROL y la UPB.

## 5.7 Implementación de la política cero papel

Estudiantes, docentes y líder de investigación deben reportar mensualmente los avances de su investigación. Para ello se utilizan diferentes formatos dependiendo del rol de cada miembro de este acuerdo. Estos informes se constituirán en soporte de su trabajo y evidencia para el pago correspondiente por parte de la UPB. El volumen de documentos puede llegar a ser muy alto.

### 5.7.1 ¿Cuántas hojas se generan en el Acuerdo?

A partir de estadísticas tomadas del sistema de información *ActivosID* [3], en promedio, cada integrante del proyecto gasta 15 hojas de papel por mes (asumiendo una de las mejores situaciones, que no necesite corrección ya que esto incrementaría los costos). Luego se estima que, al año, por cada participante correspondería a 180 hojas de papel. Los 26 participantes del proyecto generan una cantidad de 4.680 hojas de papel por año, como lo muestra la figura 5.36. Y por los 5 años, los 26 miembros con el mismo promedio de consumo de 15 hojas, gastarían un total de 23.400 hojas. La figura 5.37 permite visualizar esta proyección.

Figura 5.36. Estimado del consumo de papel por año para un integrante y para todos

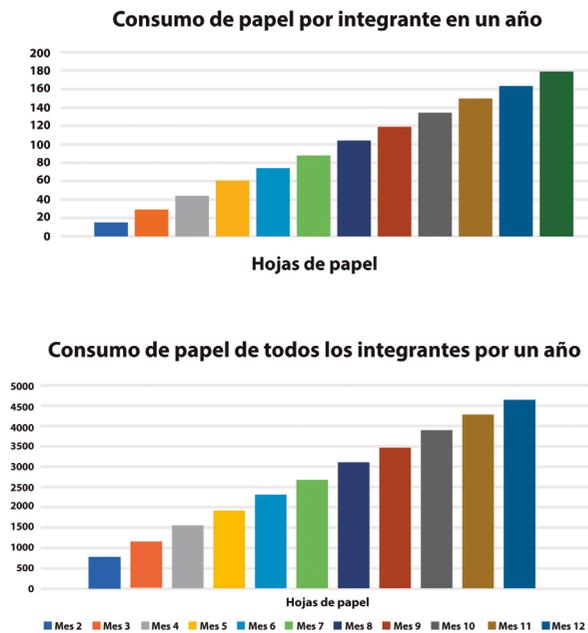
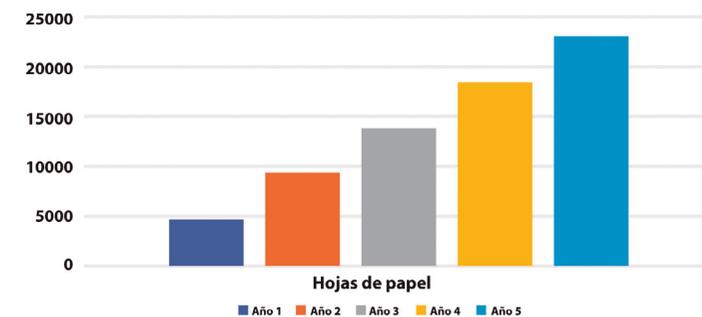
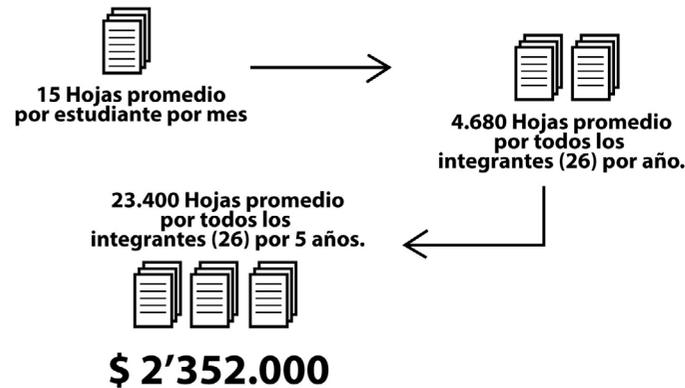


Figura 5.37. Estimado del consumo de papel de todos los integrantes por cinco años



Si estas hojas se imprimen tendrían un costo de \$2.352.000 en tan solo papel y tinta. La figura 5.38 ilustra el ejemplo.

Figura 5.38. Costo total que se puede ahorrar por los cinco años del proyecto



Según la Universidad Nacional de Colombia para producir 8.000 hojas de papel, se debe talar y procesar un árbol [25]. En promedio el proyecto gastaría 23.400 hojas, esto quiere decir que con el uso del sistema de información *ActivosID* se genera también un impacto ambiental positivo, ya que dejarían de talarse tres árboles [25] [26].

### 5.7.2 ¿Qué otros beneficios además del ambiental, se obtienen para el Acuerdo al implementar la política de cero papel?

Al utilizar un software de información documental como *ActivosID* se puede acceder de manera más ágil a la información ahorrando tiempos de búsqueda. Los documentos cuentan con un nivel de seguridad mejor que tener los documentos en forma física debido al control de acceso de acuerdo con los roles de usuario. Se puede llevar trazabilidad de las entregas y de las actividades realizadas que aportarán mayor precisión a futuras auditorías. Una política de copias de seguridad brindará respaldo por si ocurre un incidente.

Se reduce la necesidad de espacio de almacenamiento de archivos físicos y los costos asociados a la administración del papel.

Aunque son muchas las ventajas, en los entornos tecnológicos también existen riesgos vinculados con delitos informáticos o desastres naturales que exigen reforzar las políticas y controles de seguridad para estar preparadas a estos riesgos. Por ello en el Centro de Computación Avanzada (CCA), donde está alojada la información se han tomado numerosas medidas de seguridad informática para reducir las posibilidades de la materialización de estos riesgos.

## 5.8 Conclusiones y recomendaciones

El sistema web de información *ActivosID*, estuvo funcional desde el primer mes de actividades del Acuerdo entre Ecopetrol y la UPB, permitiendo que los informes mensuales de sus miembros se entregaran a través de este software. Con cada mes el sistema ofreció nuevas funcionalidades y mayor robustez, de acuerdo con su metodología de desarrollo evolutivo.

Los aportes que el sistema web de información *ActivosID*, dio al Acuerdo entre Ecopetrol y la UPB, se ven reflejados en que no hubo pérdida de ningún informe o ambigüedades acerca de su entrega, los indicadores de puntualidad reflejan sin duda alguna el comportamiento de los equipos de trabajo, los informes consolidados mensuales y trimestrales encontraron su insumo ordenado y en un solo lugar. Todo lo anterior condujo a índices de cumplimiento muy precisos, con lo cual los líderes de ambas instituciones han mostrado su satisfacción, al punto que han considerado importante vincular esta herramienta en futuros convenios.

Una vez finalizado el Acuerdo entre Ecopetrol y la UPB El sistema web de información *ActivosID* continuará operando desde el Centro de Computación Avanzada. A él tendrán acceso controlado y sin posibilidad de alteración de documentos los usuarios administrativos, los líderes de ambas instituciones y el personal autorizado para realizar auditorías. La gran ventaja que encuentran quienes intervien-

gan en la auditoría es que podrán realizar su labor de verificación documental en un solo sitio, con información confiable, y organizada y sin necesidad de imprimir altos volúmenes de papel con todas las inconvenientes ambientales que ello conlleva. Todo lo anterior brindará calidad y agilidad al proceso de cierre del Acuerdo.

El sistema web de información *ActivosID*, fue sometido a un proceso de pruebas de seguridad informática hasta alcanzar el certificado digital, con ello se ofrece un nivel satisfactorio de seguridad. Sin embargo, este proceso debe ser periódicamente reforzado para que el sitio mantenga el nivel de seguridad esperado ante eventuales formas nuevas de ataque informáticos.

## 5.9 Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Centro de Innovación y Tecnología de Ecopetrol, a los administradores y líderes técnicos de los acuerdos de cooperación tecnológica y demás funcionarios, a la Universidad Pontificia Bolivariana en especial a la Dirección de Investigaciones y Transferencia, a los administradores y supervisores, al cuerpo docente y demás personas que apoyaron el desarrollo del sitio web *ActivosID*. El presente proyecto y sus resultados son derivados de los datos e información del proyecto de investigación *Optimización del mantenimiento – Nivel instrumental*, código 029-01172200, desarrollado dentro del Acuerdo de Cooperación 03 entre Ecopetrol - ICP y la Universidad Pontificia Bolivariana dentro del Convenio Marco de Cooperación N.º 5226851

## Referencias

- [1] Ecopetrol - UPB, *Convenio Marco No. 5226851, Acuerdo 003*, Bucaramanga, 2017.
- [2] M. Villamizar, *Reunión semanal del Grupo Máquinas. Convenio Marco No. 5226851, Acuerdo 003*, Floridablanca, 2017.
- [3] Ecopetrol - UPB, "ActivosID," 2017. [Online]. Available: <https://activosid.bucaramanga.upb.edu.co/>. [Último acceso: 1 Octubre 2017].
- [4] J. Trejos, "Ingeniería de Software I. Modelo Evolutivo.," [Online]. Available: [goo.gl/j0iolT](http://goo.gl/j0iolT). [Último acceso: 28 julio 2017].
- [5] M. Tapia, (2017). Desarrollo software orientado a la web. [En línea] Es.slideshare.net. [Online]. Available: [https://es.slideshare.net/Maritzita\\_Tapia/desarrollo-software-orientado-a-la-web](https://es.slideshare.net/Maritzita_Tapia/desarrollo-software-orientado-a-la-web) [Último acceso: 25 julio. 2017].
- [6] Carrodegua, N. (2017). Como usar el comando ping en conexiones de redes, ejemplos prácticos. [Online]. Available: NorfiPC. Disponible en: <https://norfipc.com/redes/usar-comando-ping.html> [Último acceso: 15 abril. 2017].
- [7] Web.mit.edu. (2017). Protocolo SSH. [Online]. Available: <http://web.mit.edu/rhel-doc/4/RH-DOCS/rhel-rg-es-4/ch-ssh.html> [Último acceso 15 abril. 2017].
- [8] Winscp.net. (2017). Introducción: WinSCP. [Online]. Available: <https://winscp.net/eng/docs/lang:es> [último acceso 15 abril. 2017].
- [9] Map.norsecorp.com. (2017). Norse Attack Map. [Online]. Available: <http://map.norsecorp.com/> [Último acceso 26 mayo 2017].
- [10] Parada Serrano, D. Manual NMAP. Bucaramanga, 2017.
- [11] Nmap.org. (2017). Nmap: the Network Mapper - Free Security Scanner. [Online]. Available: <https://nmap.org/> [Último acceso: 25 mayo 2017].
- [12] Tenable™. (2017). Nessus Vulnerability Scanner. [Online]. Available: <https://www.tenable.com/products/nessus-vulnerability-scanner> [Último acceso: 25 mayo 2017].
- [13] Httpd.apache.org. (2017). Tutorial del Servidor Apache HTTP: Ficheros htaccess. [Online]. Available: <https://httpd.apache.org/docs/2.4/how-to/htaccess.html> [Último acceso: 26 mayo 2017].
- [14] Php.net. (2017). PHP: Inyección de SQL - Manual. [Online]. Available: <http://php.net/manual/es/security.database.sql-injection.php> [Último acceso: 27 mayo 2017].
- [15] Culturaalderecho.org. (2017). Cultura al Derecho » Los Derechos Morales y Patrimoniales. [Online]. Available: <http://culturaalderecho.org/cuales-son-mis-derechos/> [Último acceso 26 Julio 2017].
- [16] Rodríguez Vera, H. Glosario propiedad intelectual de la UPB. Bucaramanga, 2017.

- [17] Ecured.cu. (2017). Diagrama de despliegue - EcuRed. [Online]. Available: [https://www.ecured.cu/Diagrama\\_de\\_despliegue](https://www.ecured.cu/Diagrama_de_despliegue) [Último acceso 25 Julio 2017].
- [18] Sarmiento, J. (2017). UML: Diagrama de Despliegue. [Online]. Available: <http://umldiagramadespliegue.blogspot.com.co/> [Último acceso 25 Julio 2017].
- [19] Opensource.org. (2017). The MIT License | Open Source Initiative. [Online]. Available: <https://opensource.org/licenses/MIT> [Último acceso 28 Julio 2017].
- [20] Gnu.org. (2017). Licencias - Proyecto GNU - Free Software Foundation. [Online]. Available: <https://www.gnu.org/licenses/licenses.es.html> [Último acceso 27 Julio 2017].
- [21] Derechodeautor.gov.co. (2017). Software - Derecho de Autor. [Online]. Available: <http://derechodeautor.gov.co/software> [Último acceso 25 Julio 2017].
- [22] Presidente de la República, Directiva Presidencial No. 04, Bogotá, 2012.
- [23] MINTIC, "Estrategia Gobierno en Línea 2012-2015 para el orden nacional y 2012-2017 para el orden territorial. Capítulo 5 Transformación," [Online]. Available: <https://bit.ly/1ipGDYr> [Último acceso: 2017].
- [24] Gobierno en línea, «Guía N°1, Buenas Prácticas para reducir el consumo de papel,» 2017. [Online]. Available: <https://bit.ly/2gZasnQ>.
- [25] Universidad Nacional de Colombia: Sede Medellín, «Súmate al Cero Papel,» 2017. [Online]. Available: <http://medellin.unal.edu.co/sumate-al-cero-papel>.
- [26] UNAD, «Guías Cero Papel en la Administración Pública,» 2017. [Online]. Available: [https://sig.unad.edu.co/documentos/sgc/documentos\\_referencia/GUIA\\_CERO\\_PAPEL.pdf](https://sig.unad.edu.co/documentos/sgc/documentos_referencia/GUIA_CERO_PAPEL.pdf).
- [27] W3schools.com. (2017). JavaScript Tutorial [Online]. Available: <https://www.w3schools.com/js/> [Último acceso 25 Mar. 2017].
- [28] jquery.org, j. (2017). [Online]. Available: <https://jquery.com/> [Último acceso 25 Mar. 2017].
- [29] Mark Otto, a. (2017). Bootstrap · The world's most popular mobile-first and responsive front-end framework. [Online]. Available: <http://getbootstrap.com/> [Último acceso 25 Mar. 2017].
- [30] JQuery.org, "jQuery.ajax () | jQuery API Documentation", Api.jquery.com, 2017. [Online]. Available: <http://api.jquery.com/jquery.ajax/>. [Último acceso: 25- Mar- 2017].
- [31] "MySQL | La base de datos de código abierto más popular | Oracle América Latina", Oracle.com, 2017. [Online]. Available: <https://www.oracle.com/lad/mysql/index.html>. [Último acceso: 25- Mar- 2017].
- [32] Ipbric, "Comparativo de Softwares de Gestión Documental," 2017. [Online].
- [33] Php.net. (2017). PHP: ¿Qué es PHP? - Manual. [Online]. Available: <http://php.net/manual/es/intro-what.php> [Acceso 25 Mar. 2017].
- [34] Lenguajehtml.com. (2017). Lenguaje HTML - Documentación sobre desarrollo web. [Online]. Available: <https://lenguajehtml.com/> [Acceso 25 Mar. 2017].
- [35] Lenguajecss.com. (2017). Lenguaje CSS - Documentación sobre diseño web. [Online]. Available: <https://lenguajecss.com/> [Acceso 25 Mar. 2017].
- [36] CCA. (2017). Formato de solicitud de recursos al Centro de Computación Avanzada. [Abril 2017].



## Consideraciones finales

El interés de las empresas por garantizar el cumplimiento de sus objetivos estratégicos y generar valor a partir de una adecuada operación, ha creado la necesidad de implementar diferentes alternativas para gestionar óptimamente sus activos y el desempeño de estos mismos a lo largo de su ciclo de vida. El análisis de ciclo de vida requiere identificar todos los factores que involucran el contexto operativo y la naturaleza de un activo desde su incorporación hasta su disposición final, sin embargo, este está enmarcado dentro de una estrategia asociada a la gestión de activos.

La gestión de activos es una disciplina que integra todas las áreas de una organización, no obstante, ha sido relacionada principalmente con la ejecución de estrategias de mantenimiento, concepto que ha evolucionado a causa de la generación de estándares y normativas basadas en el comportamiento de los activos durante su ciclo de vida como el caso de la PAS 55 y la Norma ISO 55000. Todos estos conceptos abarcan la gestión de activos como un proceso que involucra diferentes perspectivas tales como la gestión, las finanzas, las prácticas económicas y la ingeniería, teniendo presentes variables como el costo, el riesgo y el desempeño de los activos, para asegurar el desempeño óptimo asociado a sus activos.

Teniendo en cuenta la investigación realizada, las normativas existentes para la gestión de activos basan su aplicación en equipos de nivel industrial, los cuales forman parte de sistemas productivos a gran escala y cuyas condiciones para operar satisfactoriamente difieren de la naturaleza de un activo utilizado en un centro de innovación y tecnología.

La revisión bibliográfica consultada en referencia a lo anterior, indica que no hay en la literatura ninguna documentación netamente enfocada en la gestión de activos I+D, dado que toda la información hallada para la implementación de la gestión de activos no es aplicada dentro de una actividad económica en específico. En complemento, del término activo I+D no se encuentra evidencia que defina su con-

ceptualización, lo que permitió proponer una definición formal para esta expresión según las actividades que se llevan a cabo en un centro de investigación y desarrollo. De este modo, las organizaciones tienen el reto de garantizar la adaptabilidad de estas referencias internacionales a su naturaleza a partir de tres factores clave que diferencian la gestión de los activos I+D frente a los industriales: el contexto operacional, la destinación del activo y las fronteras de acción pertenecientes a las etapas del ciclo de vida.

Aunque la familia de la ISO 55000 puede ser aplicada a cualquier activo, sin importar el tipo de la actividad económica y tamaño de la organización, la norma describe el qué, pero no define el cómo gestionar cada una de las etapas del ciclo de vida. Por lo cual, no aborda las tareas específicas que se deben tener en cuenta para identificar las necesidades de adquisición, operación, mantenimiento y desincorporación de los activos físicos. Este hecho garantiza la importancia de generar propuestas exclusivas para la gestión de activos I+D como las presentes en esta investigación, alineadas a los planteamientos de normas internacionales como la ISO 55000.

Antes de implementar un modelo de gestión de activos y de formular los objetivos, políticas y estrategias, es necesario determinar el estado actual de la gestión de activos en la organización. Por tal motivo, se hizo una revisión del estado del arte acerca de las diferentes metodologías existentes para el diagnóstico desde diferentes enfoques, las cuales son aplicadas actualmente en el ámbito internacional con el fin de identificar los principales elementos que deben ser evaluados, sin tener en cuenta el tipo de organización o su actividad económica. Dentro de las metodologías mencionadas se encuentran: PAM (*Pas Assessment Methodology*) propuesta por la PAS 55; SAM (*Self Assessment Methodology*) alineada a la ISO 55000; las 3Ps (*People, Process and People*) basada en la medición del nivel de madurez de la unidad de negocio con relación al mantenimiento ejecutado dentro de la gestión de activos; y finalmente, *The Maintenance Management Diagnostic Review* que mide la gestión del mantenimiento a partir de los diez elementos que componen a la pirámide de la excelencia.

En consideración con el diagnóstico realizado al Centro de Innovación y Tecnología objeto de estudio, los procesos que presentaron más aspectos por mejorar corresponden a la *planeación estratégica* de la gestión de activos y *evaluación del desempeño*. Desde este punto de vista, se evidencia la necesidad de fortalecer las estrategias de planeación involucrando las diferentes partes interesadas de la unidad de negocio como la Alta Dirección, los laboratorios, las plantas piloto y el Departamento de Gestión de Infraestructura y Activos I+D. Por esta razón, se propone la realización de reuniones sistemáticas entre las partes mencionadas bajo la finalidad de consolidar la planeación estratégica de la gestión de activos de manera formal y documentada.

Lo anterior brindará la posibilidad a la organización de asegurar que todas las actividades que componen el ciclo de vida de sus activos se lleven a cabo bajo las estrategias planteadas por el equipo de trabajo de manera conjunta, puesto que, para lograr la eficacia de la gestión de activos, se debe garantizar la participación de todas las áreas de la organización, no solo las relacionadas con operación y mantenimiento. En este contexto, se presenta un análisis basado en el cuadro de mando integral (CMI), como alternativa de alineación entre los objetivos de las diferentes áreas de la empresa incluyendo la gestión de activos y sus estrategias, bajo un fin común.

En primera instancia, se presenta el estudio basado en el modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001 desde las perspectivas del cuadro de mando integral (CMI), por ser una metodología que ayuda a las organizaciones a transformar su estrategia en objetivos operativos medibles a partir del uso de indicadores financieros o no financieros de forma conjunta según los factores claves que contribuyen al alcance de la visión y la estrategia organizacional de una empresa.

Las cuatro perspectivas del CMI son: finanzas, clientes, procesos y aprendizaje y desarrollo. El estudio realizado presentó una propuesta de modelo de evaluación de sistemas de gestión de activos de I+D bajo la norma NTC-ISO 55001, basada en la revisión de la literatura

científica realizada, la cual está conformada por 81 indicadores de gestión que abarcan las cuatro perspectivas del cuadro de mando integral mencionadas anteriormente. Este modelo permite hacer seguimiento al nivel de cumplimiento de los 67 criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 que son susceptibles de ser medidos con indicadores.

A su vez, se tomó como insumo la relación de los 28 indicadores de gestión del modelo anteriormente mencionado que fueron priorizados por un Centro de Innovación y Tecnología del sector *oil & gas*, a partir de la aplicación de la técnica de valoración multicriterio conocida como *proceso de jerarquía analítica*. Posteriormente, se estudió la facilidad de implementación del modelo propuesto considerando los indicadores del modelo priorizados y actualmente implementados por el centro de I+D.

El estudio realizado permite concluir que existe una alta coincidencia entre los criterios de desempeño que interesan ser evaluados por los centros de innovación y tecnología para medir el aporte estratégico de la gestión de activos desde el cuadro de mando integral y los aspectos que muestran evidencias del cumplimiento de los requisitos de los sistemas de gestión de activos contemplados en la norma NTC-ISO 55001. Respecto a esto, se demuestra en la investigación realizada que 73 de los 81 indicadores de gestión del modelo estudiado para evaluar la contribución estratégica de la gestión de activos desde las perspectivas del cuadro de mando integral, aportan a la medición del nivel de cumplimiento del 70 % de los requisitos y del 88 % de los criterios de evaluación contemplados en la norma NTC-ISO 55001 susceptibles de ser evaluados a través de indicadores.

Este análisis permite realizar un diagnóstico del grado de aporte de los indicadores actualmente implementados y priorizados por el Centro de Innovación y Tecnología para cubrir la medición de la totalidad de los requisitos de la norma. Finalmente, se concluye que con los 28 indicadores de gestión actualmente implementados y priorizados a nivel estratégico por el Centro de Innovación y Tec-

nología se puede hacer seguimiento a 53 de los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma NTC-ISO 55001 que son susceptibles de ser medidos con indicadores (79 %), por lo cual se le recomienda evaluar la conveniencia de implementar 14 indicadores adicionales a los actualmente evaluados y priorizados estratégicamente por esta entidad, con los cuales podría cubrir el 100 % de los criterios de evaluación contemplados en los requisitos de la norma.

Sin embargo, y como complemento a lo anterior se evidencia la necesidad de cuantificar el costo del activo a lo largo de su ciclo de vida. Para ello se plantea un estudio el cual está enfocado en el modelado del costo del ciclo de vida de los activos de I+D para el mismo Centro de Innovación y Tecnología como referencia para dar soporte a un sistema de gestión de activos que garantice la operación óptima de los equipos desde la concepción del activo hasta la eliminación o desincorporación del mismo. Para esto, la investigación realiza una descripción del proceso de costeo por ciclo de vida de una planta piloto y un laboratorio y sus aspectos más importantes con el fin de formular una herramienta teórica general que permita en un estudio futuro, observar las variaciones de los costos generados por el proceso de I+D en dicho centro del sector *oil & gas* y el impacto en la organización, especialmente en el proceso de mantenimiento.

En el caso específico del Centro de Innovación y Tecnología, se observó la implementación del costeo por procesos o departamentos para permitir el manejo de los costos de cada gerencia, que en su mayoría se asignan de forma global y a través de un porcentaje son asignados a cada laboratorio. Lo anterior, genera dificultad al momento de analizar el costo detallado de cada actividad relacionada a un laboratorio específico teniendo en cuenta el volumen de proyectos que se ejecutan. Este tipo de sistemas de costeo tradicionales en muchos casos no presentan de manera integral el costo de los activos a lo largo de su ciclo de vida en una organización y esto les impide tomar decisiones apropiadas de acuerdo a la situación de la misma; por este motivo surgió el sistema de costeo híbrido para dar solución a este problema.

El planteamiento de un modelo híbrido entre el costeo por ciclo de vida y el costeo basado en actividades, utilizado en la presente investigación, busca que este logre adaptarse a las necesidades de la organización y que sea lo suficientemente preciso para representar todas las variables que afectan la vida útil de un activo. También surge como una herramienta de apoyo para la toma de decisiones al momento de realizar la incorporación y desincorporación de un activo teniendo en cuenta los costos en los que se pueden incurrir. El costeo híbrido no se debe definir como una metodología específica, ya que esta surge de la combinación de dos o más metodologías de acuerdo con las necesidades y objetivos de la organización. La estructuración de un sistema de costeo híbrido permite obtener información más completa respecto a los costos incurridos por cuanto el modelo se adapta bien al sistema de producción implementado por la empresa o al tipo de prestación de servicio desarrollado, adicionalmente permite ejercer un mayor control sobre los costos e implementar un sistema de mejoramiento continuo. Dadas estas circunstancias se planteó un modelo que tiene como fin observar los costos generados por un activo desde la identificación de la necesidad del mismo, es decir, desde la etapa de incorporación, hasta su desincorporación de la organización.

Se dio la elección del modelo matemático para el costeo del ciclo de vida propuesto por la norma ISO 15663, debido a que es posible obtener valores precisos y representar cuantitativamente el ciclo de vida de las plantas piloto y equipos de una manera integral a través de sus costos. Además, por medio de la ecuación matemática es posible analizar de manera detallada cuál de las etapas del ciclo genera un mayor costo, caso contrario de otros modelos que no permitían observar esto tan claramente. No obstante, el sistema de costeo propuesto genera una desventaja cuando se presenta un desconocimiento del modelo de ciclo de vida de un activo y el proceso de integración del mismo crea una dificultad en la implementación por la estructura de los sistemas de información en la clasificación de las cuentas contables. Sin embargo, este brinda una visión real de los costos en los que incurre la empresa en cada uno de sus departamentos o actividades a lo largo del ciclo de vida de los activos y se convierte en un soporte para la toma de decisiones y

en una forma de analizar los costos de manera detallada y minuciosa. A su vez, es importante tener en cuenta que la implementación del sistema de costeo se debe realizar de manera gradual debido al tamaño de la empresa y robustez de la información manejada.

Desde otro punto de vista, relacionado con el proceso de mantenimiento, se presenta el estudio de la parametrización de la severidad de los tipos de fallo para ocho plantas piloto en el Centro de Innovación y Tecnología del sector *oil & gas* objeto de estudio durante toda la investigación descrita en el presente libro. En este trabajo se parametrizó la severidad de los tipos de fallo priorizados de los activos I+D de las plantas piloto seleccionadas, a partir de la implementación de diferentes metodologías organizadas en tres (III) fases; fase I: diagnóstico MES (*Maintenance Effectiveness Survey*), fase II: ACR (*Root Cause Analysis*) y fase III: FMECA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*), bajo las etapas de definir y medir de la metodología Six Sigma.

En la fase I se diagnosticó el proceso de mantenimiento de la empresa del sector *oil & gas* a partir de la metodología MES, la cual tiene en cuenta; (i) recursos gerenciales, (ii) gerencia de la información, (iii) equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, (iv) planificación y ejecución, (v) soporte, calidad y motivación, y finalmente los (vi) aspectos técnicos asociados a la confiabilidad, con el fin de evaluar el desempeño de la gestión del mantenimiento como apoyo a la toma de decisiones. Mediante la aplicación de la técnica mencionada, se obtuvieron valoraciones elevadas en la perspectiva *Planificación y ejecución* mientras que las menores puntuaciones hacen referencia a la perspectiva *Gerencia de la información*. Lo anterior se ve reflejado en que existe una percepción positiva respecto a las estrategias de planificación del mantenimiento tanto preventivo como correctivo ejecutadas, pero se presenta discrepancia en la actualización de los registros de fallas en los sistemas de información de la organización SAP.

Como resultado de la aplicación de esta técnica se obtuvo un 75 % de los casos de estudio en el nivel de "muy buenas prácticas de mantenimiento" y el 25 % restante "clase mundial", sin embargo, los

encuestados expresaron deficiencias en ciertas preguntas de las diferentes perspectivas, para las cuales fueron propuestas 54 acciones de mejora para todas las preguntas cuyos resultados se ubicaron en los niveles de calificación más bajos las cuales son: Recursos gerenciales, Gerencia de la información, Equipos y técnicas de mantenimiento preventivo, Planificación y ejecución, Soporte, calidad y motivación, y Aspectos técnicos de la gestión de mantenimiento.

En la fase II se identificaron los posibles tipos de fallo, a partir de análisis de causa raíz (ACR) con el fin de prevenir la frecuencia, minimizar y controlar los efectos de las fallas, escogiendo el 80 % de estos teniendo en cuenta su cálculo del riesgo total anual (RTA). Las plantas piloto fueron asumidas como un único activo para la empresa, y por ende para la aplicación del ACR. De los once ACR realizados, se llegó en un 100 % a nivel de causa raíz, todas estas fueron clasificadas como causa raíz latente, y se hizo énfasis en la ausencia o mejora de procedimientos institucionales para llevar a cabo las tareas proactivas de mantenimiento e inspección, se ofrecieron a la empresa acciones prácticas de mejoramiento en sus procesos. Por otra parte, se evidenció que el 47 % de los tipos de fallo priorizados por el RTA hacen referencia al tipo instrumental, otro 47 % mecánico, el 6 % restante eléctrico.

En la fase III, se llevó a cabo el análisis de los tipos de fallo priorizados, su severidad y su frecuencia de ocurrencia, a partir de la implementación del análisis de tipos y criticidad de fallo. La severidad del tipo de fallo se calculó en función de tres escenarios: fuego, explosión y toxicidad. Adicionalmente, se empleó el formato matriz valoración de riesgos (RAM) para la valoración del riesgo al efecto asociado; estos fueron registrados en los análisis de modos, efectos y criticidad de fallo (AMFEC o FMECA) actualizado a partir de la comparación del formato AMFE de la empresa frente a la norma española UNE-EN-60812, al cual se le presentaron una serie de recomendaciones con el fin de mejorar su efectividad. Teniendo en cuenta el objetivo planteado en la investigación se concluye que respecto a la severidad del tipo y del efecto del fallo, de los 10 cálculos RAM de la severidad para los tipos de fallos priorizados el 50 % se encuentra en nivel "medio", el 30 % se encuentra en nivel "bajo"

y el 20 % restante se encuentra en nivel "nada". Se planteó, para el próximo nivel de la investigación, analizar las características del servicio de mantenimiento que permitan proponer modelos de optimización basados en criterios de fiabilidad de manera que se pueda obtener el recurso humano y material óptimo para el desarrollo de los planes de mantenimiento.

Finalmente, la gestión de información desempeña también un papel importante, puesto que los datos que generan las actividades de gestión de activos deben procesarse para generar información que aporte valor a la organización. Por tal motivo, bajo la necesidad de asegurar la gestión documental de las diferentes investigaciones asociadas a la gestión de activos explicadas anteriormente se desarrolló el sistema de web de información denominado *ActivosID*. Este aplicativo tiene como valor esencial el cumplimiento oportuno de las metas planteadas soportado por informes que son evaluados por una cadena de investigadores-supervisores de las dos instituciones aliadas. Su funcionalidad fue garantizada desde los inicios de las actividades del nivel instrumental llevado a cabo durante toda la investigación, y ha alcanzado, durante cada periodo mensual de tiempo, nuevas funcionalidades y mayor robustez, de acuerdo con su metodología de desarrollo evolutivo.

El sistema web de información *ActivosID*, fue sometido a un proceso de pruebas de seguridad informática hasta alcanzar el certificado digital; con ello se ofrece un nivel satisfactorio de seguridad. Sin embargo, este proceso debe ser periódicamente reforzado para que el sitio mantenga el nivel de seguridad esperado ante eventuales formas nuevas de ataque informáticos. Su aporte principal, se vio reflejado con la finalización de las actividades del nivel instrumental mediante la entrega oportuna de todos los informes por parte de los investigadores asociados al proyecto, lo que garantizó el aseguramiento de toda la documentación sin pérdida de los reportes realizados. A su vez, proporcionó el cumplimiento por parte de todos los involucrados de las fechas establecidas para la entrega de los informes mejorando así las funcionalidades del trabajo conjunto y en equipo. Estas estrategias contribuyen a la satisfacción de las necesidades de las entidades asociadas y hace parte de los primeros

esfuerzos para el fortalecimiento de los procesos relacionados con la gestión de activos I+D.

Uno de los factores más relevantes de la herramienta realizada, es la continuación de su operatividad, no solo durante el nivel instrumental, sino también para los futuros proyectos enfocados en los siguientes niveles de la investigación, operacional, táctico y estratégico, que permitirá la optimización de estrategias de mantenimiento para los activos I+D, tal como se dijo al principio del presente libro. Los usuarios podrán tener acceso controlado a la aplicación sin la posibilidad de que los documentos existentes sean alterados lo cual será una ventaja para la verificación documental en un solo sitio, con información confiable, y organizada y sin necesidad de imprimir altos volúmenes de papel, lo cual es una actividad favorable para la preservación del medio ambiente y la aplicabilidad de las estrategias cero papel en las instituciones aliadas.



### SU OPINIÓN



Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía e-mail a [editorial@upb.edu.co](mailto:editorial@upb.edu.co) Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, e-mail y número telefónico.

Este libro es el resultado de una investigación que tiene como propósito central la optimización del mantenimiento instrumental de Activos de Investigación y Desarrollo (I+D) de un centro de innovación y tecnología del sector *Oil & Gas* aplicada a una muestra representativa de laboratorios y plantas piloto existentes en la organización. En el primer capítulo del libro, se desarrolla la referenciación y análisis de metodologías y requerimientos de un sistema de gestión del mantenimiento de activos I+D para proponer un modelo integral propio de un centro de innovación y tecnología. Posteriormente, en el capítulo dos, se lleva a cabo la construcción de los indicadores clave de desempeño para el control efectivo del proceso de mantenimiento de activos I+D. En el tercer capítulo, se describe un análisis de costos de los activos I+D de las plantas piloto y laboratorios priorizados a lo largo de su ciclo de vida con el fin de diagnosticar y proponer las estrategias óptimas de costos. En el cuarto capítulo, se lleva a cabo la parametrización de los tipos de falla de los activos I+D relevantes de las plantas piloto priorizadas, a partir de un análisis de criticidad de equipos, un análisis de causa raíz y caracterización de los riesgos de operabilidad con el análisis de modos, efectos y criticidad de falla (FMECA). Finalmente, el quinto capítulo describe el diseño de un aplicativo web para la gestión documental como base para el desarrollo de las fases del proyecto.

ISBN: 978-958-764-689-4



ISBN: 978-958-764-690-0  
<https://repository.upb.edu.co/>