

Información Importante

La Universidad de La Sabana informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad de La Sabana.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento para todos los usos que tengan finalidad académica, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le de crédito al documento y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, La Universidad de La Sabana informa que los derechos sobre los documentos son propiedad de los autores y tienen sobre su obra, entre otros, los derechos morales a que hacen referencia los mencionados artículos.

BIBLIOTECA OCTAVIO ARIZMENDI POSADA
UNIVERSIDAD DE LA SABANA
Chía - Cundinamarca

MODELO DE SISTEMA VIABLE (VSM) APLICADO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS
FÍSICOS

SANTIAGO RUEDA SERRANO

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA
CHÍA
2016

MODELO DE SISTEMA VIABLE (VSM) APLICADO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS
FÍSICOS

SANTIAGO RUEDA SERRANO

Trabajo de grado para obtener el título de Magíster en Gerencia de Ingeniería

Director de proyecto: MARIO ERNESTO MARTÍNEZ. Ph. D

UNIVERSIDAD DE LA SABANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN GERENCIA DE INGENIERÍA
CHÍA
2016

Agradecimientos

Primero que todo a mis padres por su amor y apoyo incondicional. A mi hermano por sus guías y soporte. A mis abuelos porque han sido un ejemplo de vida para mí durante todos estos años. A mi novia por su infinita paciencia y por estar ahí en los momentos de mayor dificultad. A mi familia y amigos porque siempre han estado dispuestos a soportarme cuando lo he necesitado.

Al Doctor Mario Ernesto Martínez, por los direccionamientos y enseñanzas durante el desarrollo de mi proyecto de grado. Al director, profesores y demás personas de la Maestría en Gerencia de Ingeniería, por todo el aprendizaje que me brindaron durante este ciclo. A la Universidad de la Sabana por crear este programa de maestría que generará mucho valor al desarrollo de la Ingeniería en Colombia. A mis amigos de maestría, porque aprendí algo de cada uno y porque hicieron este camino mucho más ameno.

Finalmente, un agradecimiento especial al Ingeniero Iván Cala Matiz, por su disposición y colaboración durante el desarrollo del proyecto.

NOTA: La Universidad no se hace responsable por las opiniones contenidas en el presente documento que son exclusiva responsabilidad del autor.

MODELO DE SISTEMA VIABLE (VSM) APLICADO A LA GESTIÓN DE ACTIVOS FÍSICOS

Resumen

El objetivo de esta investigación es diseñar un modelo conceptual para la gestión de activos desde una perspectiva de sistemas, y aplicarlo como base para el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización. El enfoque de *sistema de gestión de activos* ha tomado una relevancia considerable en las organizaciones en los últimos años, y como prueba de ello en 2014 se publicó el estándar ISO 55000 con los requerimientos para su implementación. A pesar de que la norma enumera los aspectos mínimos requeridos para un sistema de gestión de activos, no presenta una definición clara ni guías para su implementación, por lo cual no ha tenido una amplia aplicación. Adicionalmente, los estudios disponibles al respecto son muy limitados. Con el fin de brindar un mayor entendimiento de este concepto, se diseñó de un modelo de sistema viable (VSM) conceptual basado en los principios de cibernética desarrollados por Stafford Beer. El modelo permitió identificar los principales elementos, procesos e interrelaciones que deben componer un sistema de gestión de activos, y enmarcarlos a la luz de ISO 55000. Finalmente, fue tomado como base para el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización real, demostrando su aplicabilidad y valor al brindar herramientas que facilitan su proceso de estructuración y optimización.

Abstract

The objective of this research is to design a conceptual model for asset management from a systems perspective, and apply it for the diagnosis and design of an asset management system of an organization. The approach of *asset management system* has become relevant to

organizations during the last few years and, as proof of this, in 2014 standard ISO 55000 was published with the requirements for its implementation. Although the standard lists the minimal factors required for an asset management system, it does not present a clear definition or specific guidance for its implementation, for which its application has been very limited. Additionally, very few related research studies to date are available. In order to provide a greater understanding of this concept, a conceptual viable system model (VSM) was designed based on Stafford Beer's cybernetics principles. The model identifies the main elements, processes and interrelations that compose an asset management system, and frames them from the view of ISO 55000. Finally, the model was used as basis for the diagnosis and design of the asset management system of a real organization, demonstrating its applicability and value by providing tools that facilitate the structuring or optimization processes.

Palabras Clave

Gestión de activos, sistema de gestión de activos, cibernética, modelo de sistema viable.

Lista de Figuras

Figura 1. Principios y atributos clave de la gestión de activos (IAM, 2008a). Traducida del documento original.	3
Figura 2. Relación entre los componentes de la gestión de activos (ISO/IEC, 2014a). Traducida del documento original.	4
Figura 3. Relación entre los elementos clave de un sistema de gestión de activos (ISO/IEC, 2014c). Traducida del documento original	6
Figura 4. Elementos de un sistema de gestión de activos según PAS:55-2 (IAM, 2008b)	7
Figura 5. Estructura del estudio investigativo.....	11
Figura 6. Grupos de procesos del estándar ISO 15288 (ISO/IEC, 2008). Traducida del documento original.	19
Figura 7. Comparación de seis procesos de ingeniería sistémica con seis procesos de gestión de activos (Valencia et al., 2011).....	23
Figura 8. Marco para un sistema de gestión de activos (El-Akruti, 2012, p. 60)	24
Figura 9. Modelo funcional para un sistema de gestión de activos (El-Akruti, 2012, p. 72). Traducida del documento original.	25
Figura 10. Atenuadores y amplificadores en entorno, organización y gerencia (Pérez Ríos, 2008, p. 14)	30
Figura 11. Modelo de sistemas viables de Beer (Pérez Ríos, 2008).....	32
Figura 12. Desarrollo metodológico del estudio investigativo	35
Figura 13. Desarrollo de la aplicación del pensamiento sistémico (Jackson, 2006). Traducida del documento original.	38
Figura 14. Elementos sub-sistema en foco (Pérez Ríos, 2008).....	43
Figura 15. VSM conceptual para la gestión de activos.....	48
Figura 16. Componentes del sistema 1.a. Crear y Adquirir.....	51
Figura 17. Componentes del sistema 1.b. Utilizar/Operar.....	52
Figura 18. Componentes del sistema 1.c. Mantener	52
Figura 19. Componentes del sistema 1.d. Renovar / Disponer.....	53
Figura 20. Organigrama Área de Operación y Mantenimiento	77
Figura 21. Organigrama típico de contratos de operación de plantas de generación	78

Figura 22. Organigrama parte directiva O&M 84

Lista de Tablas

Tabla 1. Temas asociados a los aspectos requeridos para un sistema de gestión de activos según ISO 55001	21
Tabla 2. Posibles mecanismos de coordinación para Sistema de Gestión de Activos.....	57
Tabla 3. Recomendaciones para diseño del sistema de gestión de activos.....	90

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Planteamiento del Problema.....	4
1.2	Objetivos	9
1.2.1	General	9
1.2.2	Específicos.....	9
1.3	Preguntas de investigación	9
1.4	Estructura del estudio investigativo	10
2	Marco teórico.....	12
2.1	Gestión de activos	13
2.1.1	Introducción a la gestión de activos	13
2.1.2	Antecedentes	15
2.2	Pensamiento sistémico	16
2.2.1	Antecedentes y desarrollo del pensamiento sistémico	16
2.2.2	Aplicación del pensamiento sistémico a la ingeniería.....	17
2.3	Visión sistémica de la gestión de activos	19
2.3.1	Antecedentes y evolución.....	19
2.3.2	Estándar ISO 55000.....	20
2.3.3	Estudios investigativos relevantes	22
2.4	Cibernética y teoría de viabilidad organizacional	26
2.4.1	Base conceptual de la cibernética organizacional	27
2.4.2	Modelo de sistemas viables (VSM).....	31
2.5	Comentarios finales del marco teórico.....	33
3	Metodología.....	35
3.1	Selección de la herramienta metodológica.....	36
3.1.1	Categorización del sistema foco de estudio.....	38
3.1.2	Categorización del tomador de decisión.....	40
3.1.3	Herramienta metodológica seleccionada.....	41
3.2	Metodología de diseño del modelo de sistema viable (VSM) conceptual	42
3.3	Metodología del estudio de caso	44
4	Diseño del VSM conceptual para la gestión de activos.....	47
4.1	VSM conceptual para la gestión de activos	47
4.2	Sistema 1 – parte operativa del sistema de gestión de activos	50

4.2.1	Sistema 1.a. Crear y adquirir	50
4.2.2	Sistema 1.b. Utilizar / Operar	51
4.2.3	Sistema 1.c. Mantener	52
4.2.4	Sistema 1.d. Renovar / Disponer	53
4.3	Sistema 2 – coordinación	53
4.3.1	Interacciones entre procesos (1) y (2)	54
4.3.2	Interacciones entre procesos (1) y (3)	55
4.3.3	Interacciones entre procesos (1) y (4)	56
4.3.4	Interacciones entre procesos (2) y (3)	56
4.3.5	Interacciones entre procesos (2) y (4)	57
4.3.6	Interacciones entre procesos (3) y (4)	57
4.3.7	Actividades de coordinación entre las unidades operacionales.....	57
4.4	Sistema 3 – Control.....	59
4.4.1	Composición del sistema 3.....	60
4.4.2	Funciones del sistema 3 en un sistema de gestión de activos	61
4.5	Sistema 3* - Auditoría.....	62
4.6	Sistema 4 – Adaptación y entorno.....	63
4.6.1	Entorno presente	64
4.6.2	Entorno futuro	65
4.7	Sistema 5 - Identidad.....	67
4.8	Relación del VSM conceptual con estándar ISO 5000	69
4.8.1	Contexto de la organización	70
4.8.2	Liderazgo.....	71
4.8.3	Planeación	71
4.8.4	Soporte.....	72
4.8.5	Operación	73
4.8.6	Evaluación del desempeño	73
4.8.7	Mejoramiento	74
5	Estudio de caso	75
5.1	Diagnóstico del Sistema 1 – Parte operativa.....	77
5.2	Diagnóstico del Sistema 2 – Coordinación	79
5.3	Diagnóstico del Sistema 3 – Control.....	80
5.4	Diagnóstico del Sistema 3* – Auditoría.....	83
5.5	Diagnóstico del Sistema 4 – Adaptación.....	83

5.6	Diagnóstico del Sistema 5 – Identidad.....	85
5.7	Conclusiones del diagnóstico organizacional	88
5.8	Recomendaciones para el diseño del sistema de gestión de activos	90
6	Conclusiones y recomendaciones	92
7	Referencias bibliográficas	96
ANEXO: Elementos evaluados diagnóstico organizacional.....		101

1 Introducción

Un activo es un “elemento o entidad que tiene un valor potencial o real para una organización” (ISO/IEC, 2014a). Existen todo tipo de activos en las empresas, entre los cuales se encuentran los tangibles (equipos y maquinaria, recursos financieros, recursos humanos, información, entre otros) e intangibles (por ejemplo, la reputación). Estos deben ser administrados adecuadamente para asegurar que tengan un desempeño óptimo, razón por la cual surge la *gestión de activos* como disciplina. La gestión de activos está definida como “la actividad coordinada de una organización para obtener valor de sus activos” (ISO/IEC, 2014a). Descrita de otra forma, la gestión de activos consta de todas las acciones, procesos e interacciones que se deben asegurar para que los activos cumplan la función para la cual fueron instalados, para que así permitan apalancar el cumplimiento de los objetivos estratégicos de las organizaciones.

Esta visión de la gestión de activos es resultado de la evolución que ha tenido la disciplina durante los años, específicamente en empresas que tienen una alta dependencia de activos físicos para sus procesos. Según lo presenta John Moubrey (1997), el desarrollo de la gestión de activos se puede resumir en cuatro fases:

- 1) Antes de la segunda guerra mundial, en que las actividades sobre los activos se limitaban principalmente a la reparación de los equipos una vez fallaban.
- 2) Posterior a la segunda guerra mundial y hasta los años 1970's, donde se identificó la importancia de realizar actividades sobre los equipos antes que fallaran (mantenimiento preventivo).

- 3) Desde los años 1970's hasta finales del siglo XX, donde se introdujo la importancia de la confiabilidad de los equipos para el cumplimiento de las metas de las organizaciones.
- 4) Posterior al año 2000, en la que se visualizó la importancia de considerar la gestión de activos como un sistema dentro de las organizaciones, en el cual se tienen en cuenta las actividades requeridas durante todas las fases de ciclo de vida de los activos (ingeniería, procura, construcción, operación y mantenimiento, y desincorporación) para asegurar el cumplimiento de las metas organizacionales.

Esta evolución de la gestión de activos refleja cómo ésta pasó de una visión *reduccionista* centrada en reparar los equipos cuando fallaban, a una visión *holística* en la que se busca considerar todos los aspectos que tienen influencia sobre el desempeño de los activos y cómo estos a su vez influyen el desempeño de la organización. Esta nueva perspectiva implicaba tener un mayor entendimiento de estos factores y su aplicación, por lo cual en 2004 el Institute of Asset Management (IAM) publicó, en el Reino Unido, la primera versión de los documentos PAS55-1: Especificación para la Gestión Óptima de Activos Físicos (IAM, 2008a) y PAS55-2: Guía para la aplicación de PAS55-1 (IAM, 2008b). Estos documentos introdujeron el concepto de *sistema de gestión de activos*, definido como “la política, estrategia, objetivo, planes y actividades, procesos y estructuras requeridas para el gerenciamiento de los activos” (IAM, 2008a), y presentaron un conjunto de requerimientos para su implementación, operación y mejora continua. En la especificación PAS55-1 también se enumeraron un conjunto de principios y atributos clave de la gestión de activos que deben ser manejados de manera integral, los cuales son ilustrados en la Figura 1.



Figura 1. Principios y atributos clave de la gestión de activos (IAM, 2008a). Traducida del documento original.

Esta especificación tuvo una acogida importante a nivel mundial, por lo cual surgió la necesidad de desarrollar un estándar global para este fin. De esta forma, fueron desarrolladas y publicadas en 2014 por parte de la Organización Internacional de Normalización (ISO) los documentos ISO 55000: Gestión de activos – Visión principal, principios y terminología (ISO/IEC, 2014a), ISO 55001: Gestión de activos – Sistema gerencial – Requerimientos (ISO/IEC, 2014b), e ISO 55002: Guía para la aplicación de ISO 55001 (ISO/IEC, 2014c), los cuales son el referente actual en la materia. En ISO 55000 se presenta la relación entre los componentes de la gestión de activos, los cuales se ilustran en la Figura 2.

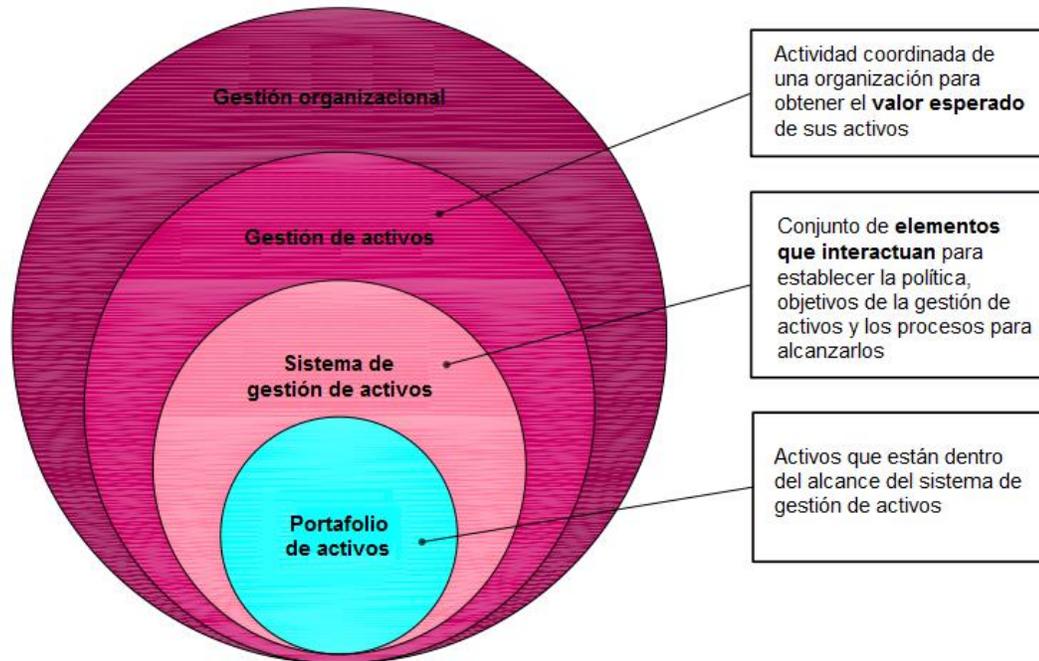


Figura 2. Relación entre los componentes de la gestión de activos (ISO/IEC, 2014a). Traducida del documento original.

1.1 Planteamiento del Problema

A pesar que la publicación del estándar ISO 55000 demuestra la relevancia que tiene la disciplina en la actualidad, su aplicación no ha tenido un despliegue masivo en las organizaciones, y muy pocas empresas han implementado formalmente un sistema de gestión de activos. Urmetzer, Parlikad, Pearson y Neely (2014) y la Universidad de Cambridge en una investigación respecto a la implementación y práctica de la gestión de activos en la industria identificaron que la gran mayoría de organizaciones evaluadas no han adoptado un sistema de gestión de activos. Esto va asociado a que aunque existan guías disponibles, estas no reflejan de manera comprensible la realidad de los desafíos complejos a los cuales se enfrentan los directivos de gestión de activos en las organizaciones.

Aunque los estudios de investigación acerca de la problemática del reducido nivel de implementación de un sistema de gestión de activos en la industria son muy limitados, ciertos autores la han abordado desde distintas perspectivas. En un estudio del rol estratégico de la gestión de activos en las organizaciones, El-Akruti, Dwight, y Zhang (2013) identificaron que las interrelaciones entre los procesos organizacionales y de gestión de activos no habían sido definidas adecuadamente en la literatura. Esto también es corroborado por lo presentado por Sondalini (2014), en lo cual concluye que la ISO 5001 y sus documentos de guía definen el 'qué' debe tener un sistema de gestión de activos, más no el 'cómo' se debe construir. Estas deficiencias también fueron reconocidas por Gaarenstroom (2014), quien identificó que aunque la gestión de activos ha tomado importancia en las organizaciones, en los altos niveles directivos aún no hay conciencia de la necesidad de un sistema de gestión de activos. Esto va asociado a la poca claridad que brindan los estándares sobre el valor que brindan en la consecución de los objetivos organizacionales.

En resumen, la problemática expuesta hace referencia a que las especificaciones y estándares publicados a la fecha se limitan a definir un conjunto de requerimientos, mas no brindan una definición clara del concepto de *sistema* de gestión de activos, ni guías específicas para su implementación. ISO 55000 define sistema de gestión de activos como un "sistema gerencial cuya función es establecer una política gerencial y objetivos para la gestión de activos" (ISO/IEC, 2014a). Esta definición es muy limitada y no proporciona una claridad sobre la importancia del carácter sistémico de la gestión de activos, ni guías sobre sus límites e interrelaciones con los elementos del sistema. En el anexo B de ISO 55002 se ilustra la relación entre los elementos clave de un sistema de gestión de activos (ver Figura 3), sin embargo este diagrama tampoco presenta mayor detalle sobre su composición.

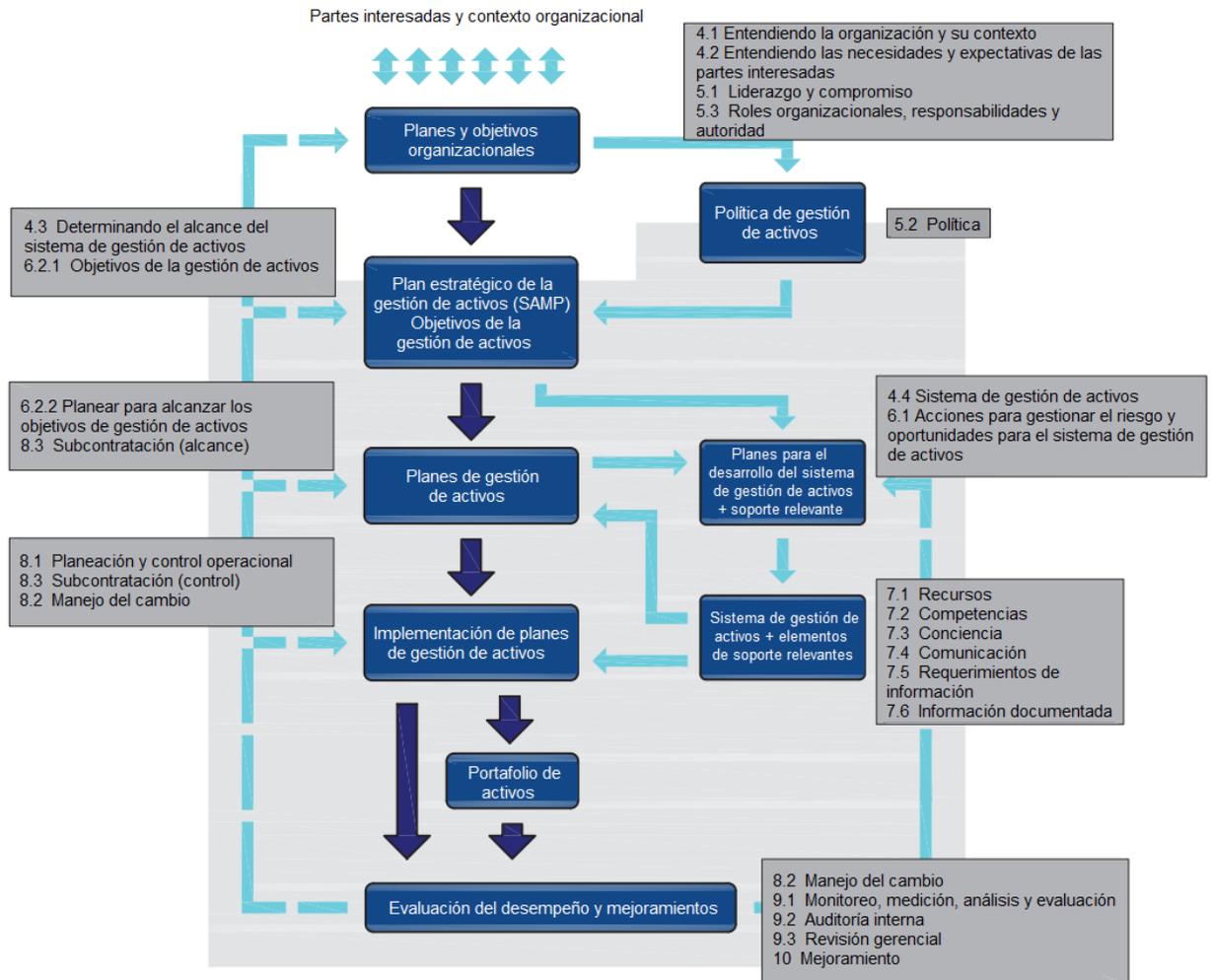


Figura 3. Relación entre los elementos clave de un sistema de gestión de activos (ISO/IEC, 2014c). Traducida del documento original

La especificación PAS55-1 también recalca como atributos claves los principios holístico y sistémico de la gestión de activos (IAM, 2008a). La guía PAS55-2 presenta una definición de ambos conceptos y un diagrama con los componentes requeridos por PAS:55-1 para un sistema de gestión de activos (ver Figura 4), los cuales tampoco detallan el cómo deben interactuar los diferentes elementos del sistema.

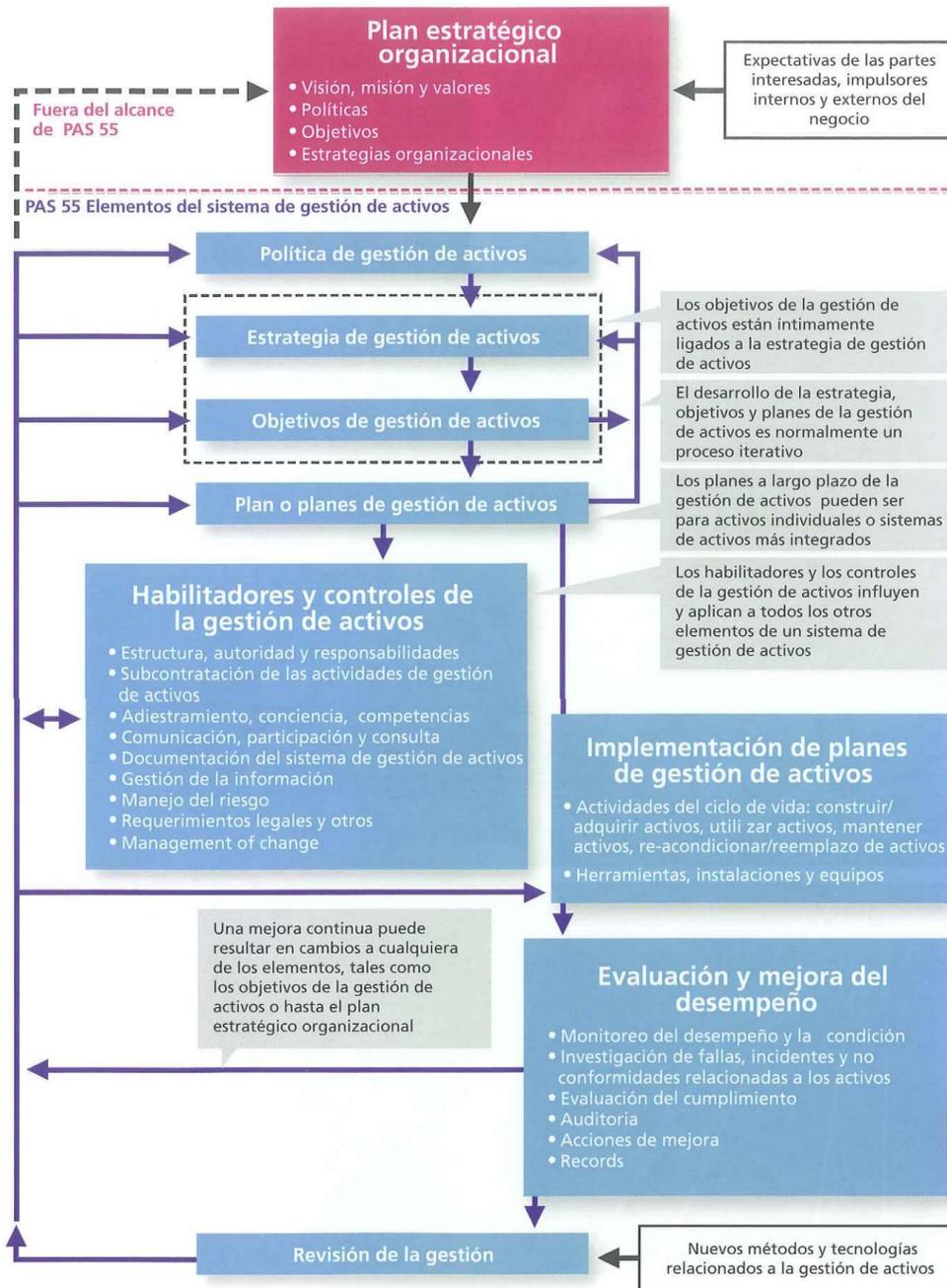


Figura 4. Elementos de un sistema de gestión de activos según PAS:55-2 (IAM, 2008b)

Lo enunciado anteriormente evidencia que a pesar de que en los estándares hay conciencia de la importancia de considerar de manera sistémica los diferentes elementos incluidos en la gestión de los activos en las organizaciones, estos carecen de un detalle en su

definición, alcance y aplicación. Así, surge la necesidad de estudiar el concepto de gestión de activos desde una perspectiva del pensamiento sistémico. Distintos autores han abordado el estudio de problemas desde una perspectiva sistémica, y actualmente se cuenta con metodologías de extensa aplicación para este fin tales como la cibernética y teoría de sistemas viables (VSM) de Stafford Beer (1966, 1979, 1981), la metodología de sistemas blandos (SSM) de Peter Checkland (1981) y la dinámica de sistemas desarrollada inicialmente por Jay Wright Forrester (1981). Mediante estas metodologías se desarrollan modelos para el estudio de distintos tipos de problemáticas desde un enfoque de sistemas.

En síntesis, el objetivo principal de la investigación es diseñar un *modelo conceptual* para la gestión de activos desde una perspectiva de sistemas, el cual brindará mayor claridad en la conceptualización e implementación de un sistema de gestión de activos en las organizaciones. Considerando el enfoque de esta problemática en particular, se seleccionó la cibernética y teoría de sistemas viables de Beer para el desarrollo del modelo. Esta constituye un marco referencial y metodológico para el diagnóstico y diseño de estructuras organizacionales para sistemas complejos. Una vez desarrollado, su composición fue enmarcada y contrastada con el estándar ISO 55001, con el fin de analizar la función e importancia de los diferentes elementos de la norma dentro un sistema de gestión de activos. Finalmente, para evaluar su aplicabilidad el modelo fue utilizado como base para un estudio de caso en el desarrolló un diagnóstico y se definieron recomendaciones para el diseño del sistema de gestión de activos de una organización real.

Los aportes de esta investigación comienzan por brindar un modelo que define los elementos, procesos e interacciones principales de un sistema de gestión de activos. Esto permite tener una mayor claridad en el significado, valor, y proceso de implementación de un sistema de

gestión de activos a los directivos en las organizaciones. Este estudio investigativo también permite tener un mayor entendimiento de las interrelaciones entre los elementos de un sistema de gestión de activos e ISO 55001, y a su vez provee una base para la definición de la estructura organizacional para un sistema viable.

1.2 Objetivos

1.2.1 General

- Diseñar un modelo conceptual para la gestión de activos desde una perspectiva de sistemas, y aplicarlo como base para el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización.

1.2.2 Específicos

- Identificar y evaluar los estudios y aplicabilidad de los modelos disponibles relacionados con la perspectiva sistémica de la gestión de activos.
- Construir el modelo conceptual para la gestión de activos con base en el marco teórico del Modelo del Sistema Viable y describir los principales elementos, procesos e interrelaciones que lo componen.
- Verificar la función de los principales requerimientos de ISO 55001 dentro de un sistema de gestión de activos.
- Validar la aplicabilidad del modelo desarrollado mediante el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización.

1.3 Preguntas de investigación

Basado en lo presentado en el planteamiento del problema, la principal pregunta de investigación fue:

- *¿Qué modelo conceptual se puede utilizar en el diseño y aplicación de un modelo para la gestión de activos con perspectiva sistémica en las organizaciones?*

Con el fin de dar respuesta a esta pregunta, se indagó de manera específica sobre los siguientes aspectos:

- *¿Qué modelos se han desarrollado a la fecha para un sistema de gestión de activos y bajo que enfoque han sido abordados?*
- *¿Qué elementos, procesos e interrelaciones se deben considerar en el diseño de un sistema de gestión de activos?*
- *¿Qué función cumplen los principales requerimientos de ISO 55001 dentro de un sistema de gestión de activos?*
- *¿Cuál es la aplicabilidad del modelo desarrollado para el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización real?*

1.4 Estructura del estudio investigativo

En la Figura 5 se ilustra un esquema de la estructura del estudio investigativo. En el capítulo 2 se presenta un resumen de los aspectos relevantes de la literatura investigada durante el desarrollo del estudio. En el capítulo 3 se justifica el método de estudio seleccionado, y se presenta la metodología desarrollada. El capítulo 4 se compone del modelo de sistema viable desarrollado, y se compara con los requerimientos de ISO 55001. En el capítulo 5 se presenta la aplicación del modelo al diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una organización, y se finaliza con las conclusiones, recomendaciones y limitaciones del estudio en el capítulo 6.

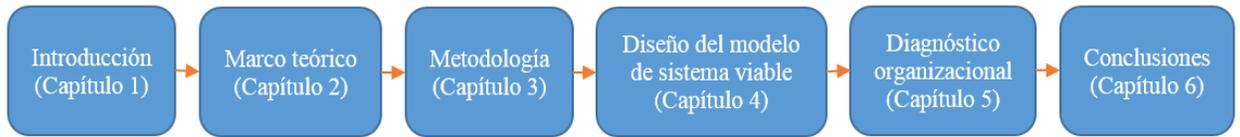


Figura 5. Estructura del estudio investigativo

2 Marco teórico

En el presente capítulo se realiza un resumen de los aspectos relevantes de la literatura investigada durante el desarrollo del estudio. El objetivo de la revisión de la literatura realizada fue identificar los principales estudios de investigación relacionados con la perspectiva *sistémica* de la gestión de activos, y evaluar su aporte y nivel de aplicación. Se evidenció que la disponibilidad de investigación empírica relacionada con el tema es muy limitada, lo cual puede estar influenciado por ser una disciplina que se encuentra en proceso de desarrollo considerando que el estándar ISO 55000 fue publicado en 2014. Respecto a la literatura evaluada, se identificó que a pesar de que hay algunos modelos que brindar guías sobre la composición de un sistema de gestión de activos, estos no consideran en detalle la interrelación entre sus elementos, ni guías para su conformación e implementación. Este capítulo también tiene como fin contextualizar al lector sobre la definición, evolución y relevancia de la gestión de activos en la industria, y presentar la fundamentación teórica del pensamiento sistémico aplicado a la ingeniería enfatizando en la cibernética y teoría de viabilidad de Stafford Beer.

El capítulo está organizado de la siguiente forma: En el numeral 2.1 se presenta una contextualización de la gestión de activos y su evolución. A continuación (numeral 2.2) se presenta el desarrollo y aplicación del pensamiento sistémico a la ingeniería, y en el 2.3 se realiza una evaluación específica de la visión de sistema de gestión de activos basada en la literatura disponible. Finalmente, en el numeral 2.4 se presenta un resumen de la teoría de cibernética organizacional y el modelo de sistemas viables (VSM) de Stafford Beer, la cual se utilizó como base para el desarrollo del modelo desarrollado en este estudio.

2.1 Gestión de activos

2.1.1 Introducción a la gestión de activos

La gestión de activos es un término que históricamente ha tenido distintas interpretaciones, específicamente en los sectores financiero e industrial. Desde el punto de vista financiero, la gestión de activos como servicio está asociada a la coordinación de los portafolios financieros de los clientes tales como inversiones y cuentas (“Asset Management,” n.d.). En el sector industrial, la gestión de activos está relacionada con las actividades y administración de la infraestructura física. El foco y alcance de este estudio investigativo está asociado a la gestión de activos físicos en las organizaciones. Dentro de estos activos físicos se pueden incluir activos corrientes, tales como partes y repuestos requeridos para la operación de la infraestructura.

El concepto de gestión de activos está definido de múltiples maneras en la literatura, y este ha ido cambiando a medida que la disciplina se ha venido desarrollando. Kennedy (1993) lo definió como “gestionar un activo de gran escala para los cumplir los requerimientos del negocio con respecto a seguridad, protección al medio ambiente y entrega al mínimo costo de propiedad”. Godau (1999) presentó lo definido por Kisler, Duffield y Young (1995), en lo que “la gestión de activos involucra cumplir las necesidades de los clientes mediante la utilización, operación, y rehabilitación eficiente y efectiva de los activos durante su ciclo de vida, hasta su disposición final”. De estas dos definiciones se pueden inferir dos características importantes de la gestión de activos: Que está directamente relacionada con los objetivos corporativos de las organizaciones, e involucra las diferentes etapas del ciclo de vida de un activo. En general, estas etapas están compuestas por la ingeniería (conceptual y detallada), procura, construcción, operación y mantenimiento, y desincorporación. Por otro lado, Campbell, Jardine, y McGlynn (2011) asocian la excelencia en gestión de activos al balance entre el desempeño, riesgo y costos. Esta

definición complementa a las anteriores al incluir los tres criterios principales a considerar de manera transversal durante las etapas del ciclo de vida del activo.

A estas definiciones se suman las de los dos documentos de mayor relevancia para una visión estandarizada de la gestión de activos. La especificación PAS 55 en su última versión establece que la gestión de activos se compone de “actividades y prácticas coordinadas mediante las cuales una organización gestiona de manera óptima y sostenible sus activos y sistemas de activos, su desempeño asociado, riesgos y costos durante su ciclo de vida con el propósito de alcanzar su plan estratégico organizacional” (IAM, 2008a, p. 2). Esta definición engloba a todas las anteriores en una sola, y asocia directamente la estrategia de la organización con la gestión de activos. Finalmente, el estándar ISO 55000 la define como “las actividades coordinadas de una organización para obtener valor de los activos” (ISO/IEC, 2014a, p. 14). Esta última, aunque mucho más simple que los anteriores, permite alinear los esfuerzos de las diferentes áreas de la organización en un objetivo común: que los activos entreguen el valor para los cuales fueron adquiridos.

En resumen, la gestión de activos:

- Es un conjunto de actividades y planes.
- Se enfoca en obtener valor de sus activos al gestionar óptimamente el desempeño, riesgos y costos.
- Debe ser sostenible en el largo plazo.
- Debe considerar todas las fases del ciclo de vida de los activos.
- Debe estar alineada con los objetivos corporativos de la organización.

2.1.2 Antecedentes

La gestión de activos físicos ha tenido una evolución importante durante el último siglo. Inicialmente, la gestión de activos físicos solo se consideraba en el mantenimiento de los equipos. Moubray (1997) dividió la evolución del mantenimiento en tres generaciones: Una primera generación antes de la segunda guerra mundial donde no se le ponía importancia a las paradas de los equipos y se reparaban a falla, una segunda que inició en la segunda guerra mundial donde se introdujo el concepto de mantenimiento preventivo (previo a la falla) y planeación de mantenimiento, y una tercera posterior a la década de 1970 donde tomaron importancia conceptos de confiabilidad y disponibilidad en las planta. Esto demuestra cómo fue evolucionando y tomando relevancia la integración de la administración de los activos al desempeño de las organizaciones. Coetzee (1999) reconoció la importancia de tener una visión holística del mantenimiento, e introdujo la importancia de integrar la visión del mantenimiento a los objetivos organizacionales de las empresas. Aunque este fue un hito importante teniendo en cuenta que se le empezó a dar la relevancia al impacto del mantenimiento en el desempeño de la organización, este se enfocaba en una de las fases del ciclo de vida de un activo (fase de mantener). Así, en el año 2004 fue publicada por parte del Institute of Asset Management (IAM) la primera versión de la especificación PAS55, la cual definió y presentó un estándar de la gestión de activos físicos y la importancia de considerarlo durante todo su ciclo de vida: Adquirir/crear, utilizar, mantener y renovar/disponer (IAM, 2008a). De esta forma se presentó que la gestión de activos englobaba actividades más allá del mantenimiento e incorporaba factores igualmente importantes tales como el desempeño, riesgo y costos. En esta se introdujo formalmente el concepto y requerimientos de un sistema de gestión de activos, el cual en su

última edición se definió como “la política, estrategia, objetivo, planes y actividades, procesos y estructuras organizaciones requeridas para el gerenciamiento de los activos” (IAM, 2008a).

2.2 Pensamiento sistémico

Uno de los factores principales que tienen que manejar los directivos en las empresas y en la sociedad es la complejidad de los entornos en los que se mueven (Schwaninger, 2000). El pensamiento sistémico es una disciplina que brinda herramientas para gestionar esta complejidad. A continuación se presenta un resumen de su origen y desarrollo, y su aplicación al área de la ingeniería.

2.2.1 Antecedentes y desarrollo del pensamiento sistémico

En 1954, Ludwig von Bertalanffy, Kenneth Boulding y Anatol Rapoport iniciaron formalmente el desarrollo de la teoría general de sistemas mediante la creación de la Sociedad para el Desarrollo de la Teoría General de Sistemas (BCSSS, n.d.). Como base de planteamiento, Von Bertalanffy (1968) definió que independiente de la disciplina, hay principios, modelos y leyes que aplican de manera generalizada para cualquier tipo de sistema. Así, definió un sistema como un “conjuntos de elementos con interrelación” (Von Bertalanffy, 1968). Stafford Beer (1979) posteriormente definió sistema como un “grupo de elementos relacionados dinámicamente en el tiempo y de acuerdo a algunos patrones coherentes”. En ambas definiciones encajan las organizaciones, ya que estas están inmersas en entornos cambiantes y con altos niveles de interrelación con agentes internos y externos. Por su lado, Checkland (1981) caracterizó los sistemas en dos grupos: Los sistemas duros, los cuales están compuestos principalmente por la parte tecnológica, y los blandos, que consisten en la parte social y humana. Checkland (1981) definió una metodología de sistemas blandos (SSM) para tratar problemas en las cuales haya situaciones sociales de alta complejidad. Forrester (1981) desarrolló la dinámica

de sistemas, mediante la cual se definen modelos para analizar la realimentación entre elementos de un sistema complejo. Senge (1994, p. 10) afirmó que “tendemos a enfocarnos en temas puntuales de partes aisladas del sistema”, y definió el pensamiento sistémico como un “marco conceptual y herramientas para tener mayor claridad de los patrones completos de cambio, y para ayudarnos a entender cómo cambiarlos eficientemente”.

2.2.2 Aplicación del pensamiento sistémico a la ingeniería

El pensamiento sistémico ha tenido una aplicación y desarrollo amplio en la ingeniería. En el área de la ingeniería de sistemas se ha enfocado principalmente en la definición y consideración integral de las diferentes etapas de desarrollo e implementación de un producto o servicio. En inglés, esta línea de pensamiento está definida como “systems engineering” y no hay una traducción clara al español, por lo cual en este documento se denominará como “ingeniería de sistemas”. Aun así, es importante recalcar que este término puede tener otro tipo de interpretaciones en la literatura relacionadas con la informática y los sistemas de tecnología de la información, por lo tanto en este caso se refiere a la aplicación del pensamiento sistémico a la ingeniería.

Uno de los principales proponentes e investigadores de la ingeniería de sistemas fue Arthur David Hall, quién publicó en 1962 el libro “A methodology for systems engineering”. En éste, Hall (1962) definió que el proceso de ingeniería de sistemas estaba compuesto por cinco fases: Estudio del sistema, planeación exploratoria, planeación del desarrollo, estudios durante el desarrollo y fase operativa. De esta forma se presentó la importancia de considerar todas las etapas de un producto desde el comienzo de su desarrollo y de manera integral. Benjamin Blanchard también tuvo un aporte significativo a la ingeniería de sistemas, y en conjunto con Wolter Fabrycky publicaron en 1981 el libro “Systems Engineering and Analysis”, el cual se

convirtió en referencia para el estudio de la disciplina. En su quinta edición del libro, Blanchard y Fabrycky (2011) presentaron cómo a la fecha no había una definición institucionalizada de la ingeniería de sistemas en la literatura, sin embargo hacen referencia a temas que tienden a incluirse en sus diferentes definiciones: Visión integral de los sistemas, orientación al ciclo de vida, definición de requerimientos, e interdisciplinariedad a través del diseño y desarrollo de los sistemas.

En 1990 fue creado el INCOSE (International Council on Systems Engineering), con el objetivo de desarrollar y diseminar los principios y mejores prácticas de la ingeniería de sistemas (INCOSE, 2015). INCOSE define la ingeniería de sistemas como “una disciplina con la responsabilidad de crear y ejecutar un proceso interdisciplinario para asegurar que las necesidades de los clientes sean satisfechas a través de todas las etapas del ciclo de vida del sistema con alta calidad, confiabilidad, de manera costo-efectiva y cumpliendo con el cronograma” (“What is Systems Engineering?,” n.d.). INCOSE también propone siete tareas para el proceso de ingeniería de sistemas: Definir el problema, investigar alternativas, modelar el sistema, integrar, correr el sistema, evaluar su desempeño, y reevaluar (“What is Systems Engineering?,” n.d.).

Distintos estándares se han publicado en referencia a la ingeniería de sistemas, en 1994 la IEEE publicó la primera versión del estándar IEEE 1220 con el objeto de presentar la aplicación y gestión de sus procesos. En su última versión, la norma define “las tareas interdisciplinarias que son requeridas a través del ciclo de vida de un sistema para transformar las necesidades, requerimientos y restricciones de los clientes en una solución de sistema” (IEEE, 2005, p. 1). El estándar también hace referencia a la importancia de la gestión de los riesgos relacionados con la seguridad y el medio ambiente (IEEE, 2005). En el año 2002 fue publicado el estándar ISO

15288, que define los procesos de ciclo de vida de los sistemas. El estándar, en su última versión, agrupa las actividades que se pueden realizar en los activos en cuatro grupos: Procesos empresariales, procesos de acuerdo, procesos de proyecto y procesos técnicos (ISO/IEC, 2008). Estos se presentan en la Figura 6.

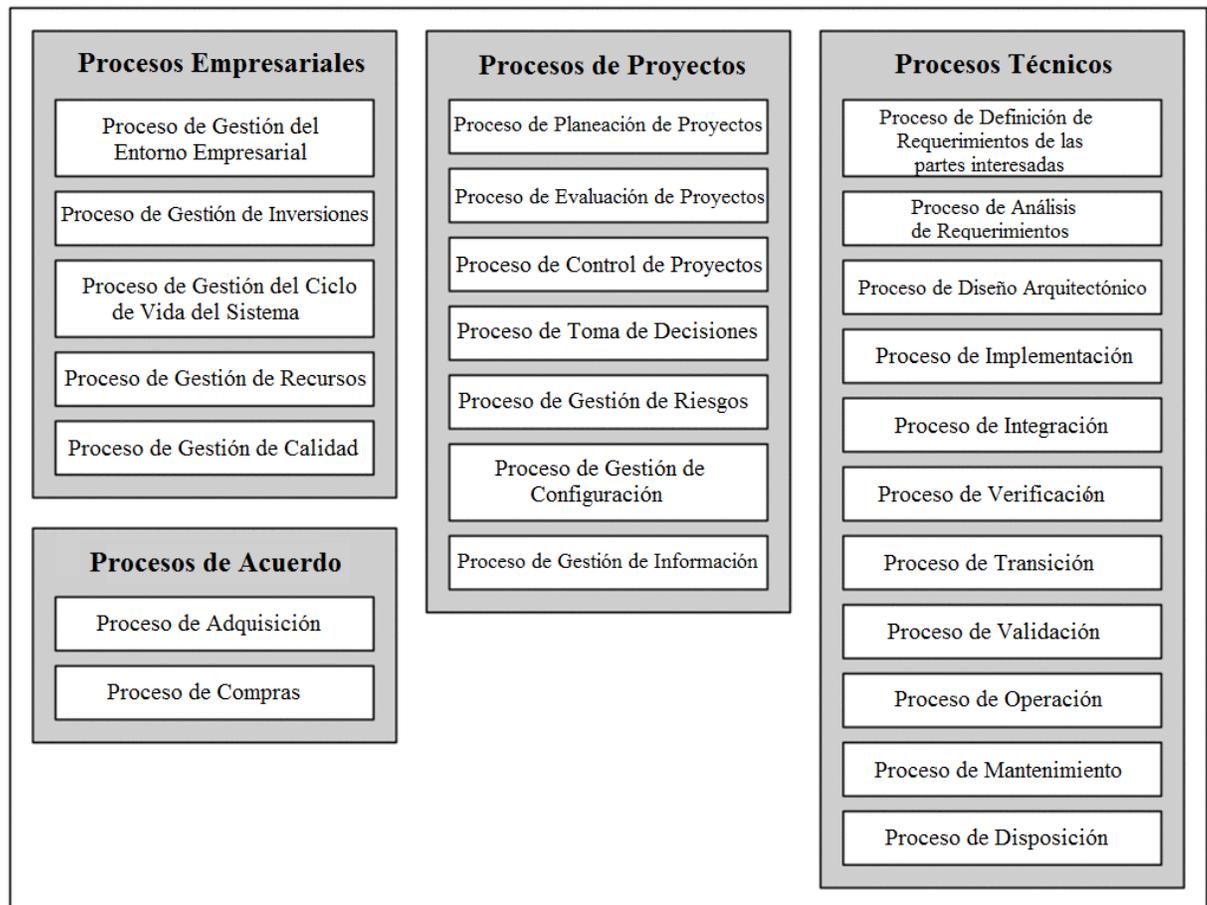


Figura 6. Grupos de procesos del estándar ISO 15288 (ISO/IEC, 2008). Traducida del documento original.

2.3 Visión sistémica de la gestión de activos

2.3.1 Antecedentes y evolución

Godau (1999) hizo referencia a la complejidad en la que está envuelta la gestión de la infraestructura debido a factores técnicos, gerenciales, económicos, políticos y sociales, y que por esta razón los métodos tradicionales para su gerenciamiento no estaban ni continuarían

siendo efectivas. También concluye que una visión holística de la gestión de activos es clave para el manejo de sus cada vez más complejas interrelaciones que caracterizan los sistemas de infraestructura. Godau hace un aporte importante al explicar el enfoque sistémico en la ingeniería y cómo la gestión de activos debe migrar a este tipo de enfoque, pero sin presentar aún bajo qué metodologías se puede implementar.

Amadi-Echendu (2004) recalcó la importancia de cambiar del concepto del mantenimiento a gestión de activos en las organizaciones, y reconoció que esta disciplina involucra una “integración sinérgica entre un rango amplio de disciplinas y procesos que cubren el ciclo de vida de los activos”, las cuales debían traducirse en una actualización de las estructuras organizacionales de las empresas para que pueda ser manejada eficientemente. Esta visión fue corroborada ese mismo año por parte del Institute of Asset Management (IAM), del Reino Unido, la primera versión de la PAS55: Especificación para la Gestión Óptima de Activos Físicos. Esta especificación subrayó la visión sistémica como uno de los atributos claves de la gestión de activos, y presentó de manera formal la del mismo en las organizaciones, y sus requerimientos (IAM, 2008a). También recalcó la importancia de alinear los planes de gestión de activos con la estrategia organizacional de la empresa (IAM, 2008a), dando relevancia a su integración con la parte directiva. La especificación PAS 55 aportó a la disciplina al especificar el ‘qué’ debe incluir un sistema de gestión, sin embargo no presenta una guía clara del ‘cómo’ debe ser su implementación ni de la interrelación entre las partes que lo componen.

2.3.2 Estándar ISO 55000

Considerando que la especificación PAS55 fue desarrollada en el Reino Unido y aplicada en este país principalmente, y sumado la relevancia que fue tomando el tema de gestión de activos en la industria, surgió la necesidad de definir un estándar internacional para la gestión de

activos. Para esto fue desarrollado y publicado en el 2014 el estándar ISO 55000. La norma ISO 55000 está dividida en tres partes: ISO 55000, ISO 55001 e ISO 55002. ISO 55000 presenta una visión general de gestión de activos y sistema de gestión de activos (ISO/IEC, 2014a). ISO 55001 presenta los requerimientos para la definición, implementación, mantenimiento y mejoramiento de un sistema de gestión de activos (ISO/IEC, 2014b). Finalmente, ISO 55002 es una guía para la aplicación de ISO 55001 (ISO/IEC, 2014c).

Con el fin de tener una mayor idea de los requerimientos de ISO 55001 para un sistema de gestión de activos, la Tabla 1 presenta un resumen de los aspectos requeridos por la norma.

Tabla 1. Temas asociados a los aspectos requeridos para un sistema de gestión de activos según ISO 55001

Capítulo	Tema
Capítulo 4 Contexto de la organización (pp. 1–2)	4.1 Entendiendo la organización y su contexto 4.2 Entendiendo las necesidades y expectativas de las partes interesadas 4.3 Determinando el alcance del sistema de gestión de activos 4.4 Sistema de gestión de activos
Capítulo 5 Liderazgo (pp. 2–3)	5.1 Liderazgo y compromiso 5.2 Política 5.3 Roles organizacionales, responsabilidades y autoridad
Capítulo 6 Planeación (pp. 3–4)	6.1 Acciones para gestionar el riesgo y oportunidades para el sistema de gestión de activos 6.2 Objetivos de gestión de activos y planeando para alcanzarlos
Capítulo 7 Soporte (pp. 5–7)	7.1 Recursos 7.2. Competencias 7.3 Conciencia 7.4 Comunicación 7.5 Requerimientos de información 7.6 Información documentada
Capítulo 8 Operación (p. 8)	8.1 Planeación y control operacional 8.2 Manejo del cambio 8.3 Subcontratación
Capítulo 9 Evaluación del desempeño (pp. 8–9)	9.1 Monitoreo, medición, análisis y evaluación 9.2 Auditoría interna 9.3 Revisión gerencial
Capítulo 10 Mejoramiento (pp. 10–11)	10.1 No conformidades y acción correctiva 10.2 Acción preventiva 10.3 Mejoramiento continuo

2.3.3 Estudios investigativos relevantes

A pesar de la importancia y relevancia que ha tomado una visión sistémica de la gestión de activos y considerando que tiene un desarrollo reciente, es muy poca la investigación formal disponible a la fecha al respecto. Frolov, Mengel, Bandara, Sun y Ma (2010) desarrollaron una ontología (definida como un vocabulario común de gestión de activos tanto para investigadores como practicantes de la materia) y una arquitectura de procesos de gestión de activos. En su estudio, Frolov et al. (2010) entre otros procesos, definieron las clases y jerarquía de la ontología basados en la especificación PAS 55. Este estudio demostró la alta complejidad que está involucrada en la gestión de activos en las organizaciones y aportó con una terminología y estructura ontológica base para continuar su desarrollo sobre ella. Sin embargo no presenta una guía ni para el diseño ni para la implementación de la estructura organizacional. Frolov et al. (2010) también ratificaron que hay muy poco desarrollo investigativo en la gestión de activos a pesar de la relevancia que ha tenido esta disciplina en las organizaciones en los últimos años.

Valencia, Colombi, Thal Jr. y Sitzabee (2011) compararon las mejores prácticas de ingeniería sistémica y gestión de activos durante los últimos diez años. En su estudio identificaron que los principios de ingeniería sistémica tienen una amplia aplicación al campo de gestión de activos, analizaron las conexiones entre las dos disciplinas, y realizaron un análisis comparativo entre seis procesos de ingeniería sistémica y gestión de activos (ver Figura 7). Sin embargo, en su análisis no incluyen la interacción que existe entre los distintos elementos analizados. Finalmente, Valencia et al. (2011) concluyen que los principios de ingeniería sistémica tienen una alta aplicabilidad a la gestión de activos, pero no son ampliamente utilizados.

Ingeniería de Sistemas	Gestión de Activos Físicos
Proceso de definición de requerimientos de partes interesadas	Nivel de servicio
Proceso de Gestión de la Toma de Decisiones	Toma de Decisiones Optimizada
Proceso de Gestión de Riesgos	Evaluación y Gestión del Riesgo
Proceso de Gestión de la Información	Gestión y Sistemas de Información
Proceso de Medición	Medir Niveles de Servicio
Proceso de Gestión del Ciclo de Vida	Gestión del Ciclo de Vida de Activos

Figura 7. Comparación de seis procesos de ingeniería sistémica con seis procesos de gestión de activos (Valencia et al., 2011)

Uno de los mayores aportantes a la investigación de los sistemas de gestión de activos en los últimos años ha sido Khaled Omran El-Akruti. En su tesis de doctorado, El-Akruti (2012) desarrolló un estudio sobre el rol estratégico de la gestión de activos en las organizaciones. En este, El-Akruti (2012) propone un marco holístico y un modelo funcional para la gestión de activos compuesto de actividades, interrelaciones y mecanismos de control. También, caracteriza las actividades de un sistema de gestión de activos en tres niveles organizacionales: 1) Actividades de planeación estratégica y control estratégico, 2) actividades de planeación estratégica y control táctico (o agregado) y 3) actividades de control operativo (El-Akruti, 2012). Así, las actividades del 2do y 3er punto buscan alcanzar los objetivos de su nivel directamente superior, y las del primero, buscan que los activos tengan un desempeño que asegure el cumplimiento de las metas organizacionales, vinculando el sistema de gestión de activos con la estrategia organizacional (El-Akruti, 2012). Esto demuestra como El-Akruti identificó la importancia de caracterizar las actividades de gestión de activos en diferentes niveles según su relevancia estratégica, y brinda un primer acercamiento a cómo integrarlas a la estructura de las organizaciones. El marco y el modelo funcional propuesto por El-Akruti (2012) se presentan en la Figura 8 y Figura 9.

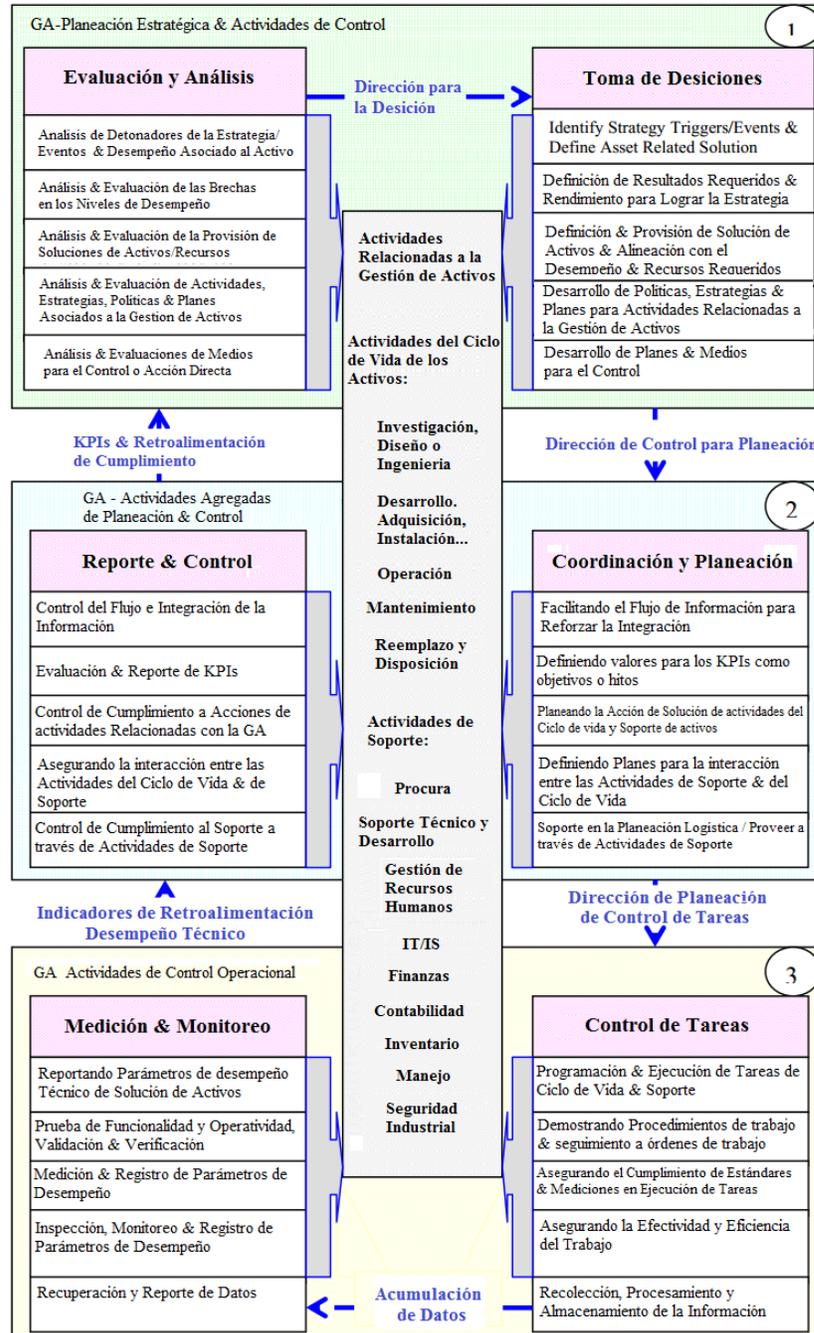


Figura 8. Marco para un sistema de gestión de activos (El-Akruti, 2012, p. 60)

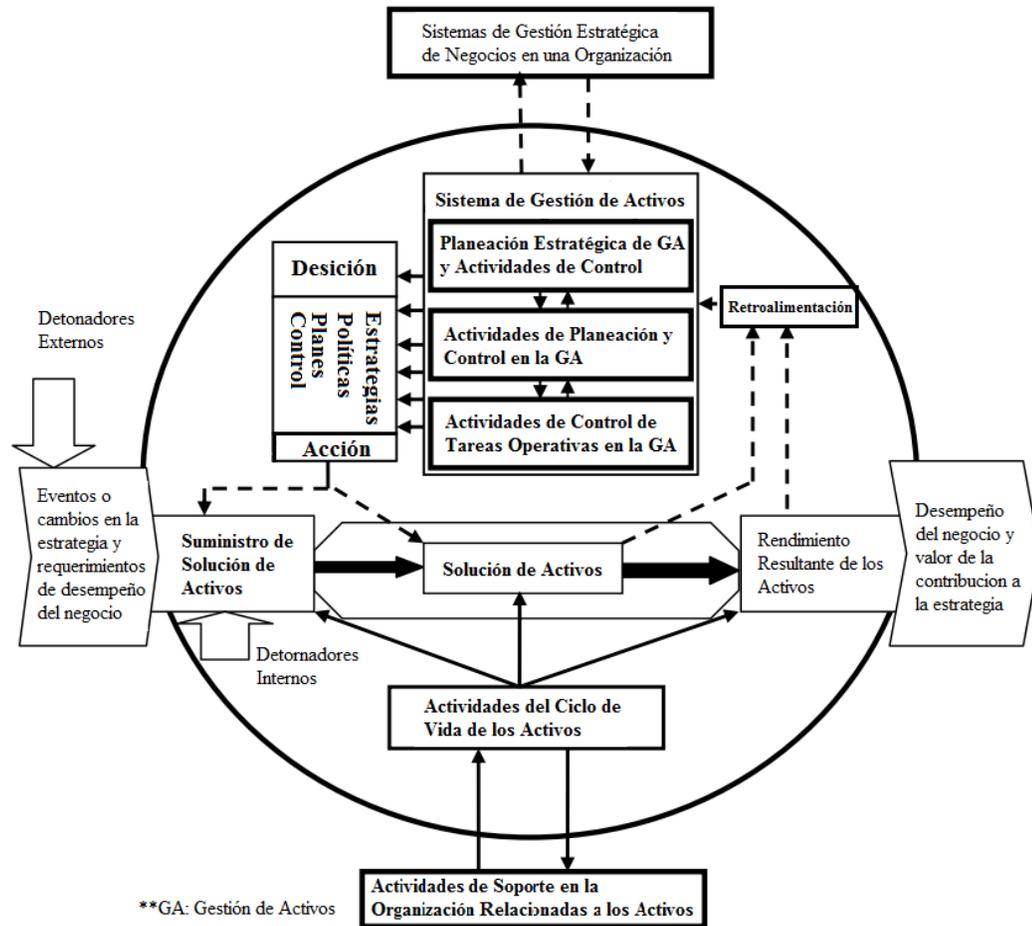


Figura 9. Modelo funcional para un sistema de gestión de activos (El-Akruti, 2012, p. 72). Traducida del documento original.

El marco y el modelo propuesto por El-Akruti brindan un acercamiento a la visión sistémica de la gestión de activos teniendo en cuenta que define un ciclo de actividades a diferentes niveles organizacionales, sus interrelaciones, y su interacción con la estrategia organizacional. Adicionalmente, definen la diferencia entre las actividades estratégicas, de control y coordinación, y operativas, las cuales son la base del sistema. Sin embargo, los siguientes aspectos fundamentales en la definición de un sistema no son detallados en el modelo:

- No hay una clara definición de los procesos operativos de un sistema de gestión de activos.

- No hay una descripción de las posibles interrelaciones entre los procesos operativos de un sistema de gestión de activos.
- No hay una presentación de los elementos del entorno que impactan o son impactados por la gestión de activos.
- No se recalca la importancia de establecer canales de comunicación efectivos dentro de los distintos niveles y roles del sistema.

El-Akruti, Dwight y Zhang (2013) investigaron el rol estratégico de la gestión de activos en las organizaciones. Para esto, realizaron dos casos de estudio con un marco propuesto en los que evaluaron su posición dentro de la estructura organizacional de las organizaciones y su rol en la estrategia competitiva (El-Akruti et al., 2013). Urmetzer, Parlikad, Pearson y Neely (2014) y la Universidad de Cambridge realizaron una investigación respecto a la implementación y práctica de la gestión de activos. Para esto, realizaron entrevistas a los directivos del gerenciamiento de activos en diferentes sectores industriales. Como hallazgos relevantes, identificaron que la gran mayoría de organizaciones evaluadas no han adoptado un sistema de gestión de activos, y que aunque hay guías disponibles tales como la ISO 55000 y el trabajo académico de El-Akruti (2012), estas no reflejan de manera comprensible la realidad de los desafíos complejos a los cuales se enfrentan los directivos de gestión de activos en las organizaciones (Urmetzer et al., 2014).

2.4 Cibernética y teoría de viabilidad organizacional

En el numeral 2.1 se presentó la definición de gestión de activos y su evolución desde una disciplina centrada en el mantenimiento de los equipos a una que considera todo el ciclo de vida de los activos y su impacto en el desempeño de las organizaciones. Esta visión implica una alta complejidad por los diferentes factores influyentes, por lo cual en el numeral 2.3 se ilustró la

importancia de una visión sistémica para su aplicación. También se presentaron diferentes aproximaciones para sistema de gestión de activos, y cómo a la fecha hay pocas guías para su implementación. La teoría de viabilidad organizacional desarrollado por Stafford Beer es un marco teórico y metodológico para el diseño de sistemas y organizaciones, y se utilizó como base para estudiar el concepto de *sistema de gestión de activos*. Sus fundamentos se presentan a continuación.

2.4.1 Base conceptual de la cibernética organizacional

Basado en sus estudios de pensamiento sistémico, Stafford Beer en los años 70's inició el desarrollo del concepto de viabilidad organizacional. Beer (1966) afirmó que cuando se habla de viabilidad en las organizaciones, generalmente solo se asocia con el factor económico. Por ello, este tipo de indicadores de las empresas son comúnmente vistos como las metas de la organización, y realmente no son más que restricciones sobre las cuales debe operar la organización (Beer, 1966). Así, “las leyes de viabilidad en las organizaciones van más allá del factor financiero, y están asociadas a la estructura dinámica que determina la conectividad adaptativa entre sus partes” (Beer, 1966). De esta forma, para que una organización sea viable, debe tener la capacidad de *adaptarse* a los constantes cambios presentes en el entorno, y debe tener poder existir independiente de estos factores (Beer, 1966).

Para la definición del modelo de viabilidad, Beer (1979, 1981) desarrolló la teoría de cibernética organizacional. La cibernética está asociada a la dirección o conducción de un sistema u organización (Pérez Ríos, 2008). Así, la cibernética se puede definir como “la ciencia que se ocupa del control en el sentido de gobierno (dirección) de la organización” (Pérez Ríos, 2008, p. 7). Con el fin de tener mayor entendimiento de la cibernética organizacional y del modelo de sistemas viables que se presenta en el numeral 2.4.2, es importante conocer sus

conceptos y principios básicos. La presentación de estos conceptos y del modelo de sistemas viables se realizó basada principalmente en lo contenido en el libro *Diseño y diagnóstico de organizaciones viables* de Pérez Ríos (2008), considerando la claridad con la cual están descritos por parte del autor. José Pérez Ríos ha estudiado a las organizaciones desde varias perspectivas tales como la cibernética y la dinámica de sistemas y desarrollado múltiples publicaciones al respecto, y ha trabajado en conjunto con otros autores reconocidos tales como Markus Schwaninger. A continuación se presenta un resumen de los componentes de la cibernética organizacional expuestos por Pérez Ríos (2008).

- *Viabilidad*: Capacidad de un organismo o sistema para mantener una existencia propia, independiente de los cambios en el entorno (Pérez Ríos, 2008). Para esto, debe tener las siguientes capacidades: Autorregulación, aprendizaje, adaptación y evolución. La viabilidad de un sistema está dada por su *identidad*, y esta debe permanecer independiente de cambios que se puedan dar en su estructura (Pérez Ríos, 2008).
- *Variedad*: Concepto presentado inicialmente por Ashby (1956) que representa el nivel de complejidad de un sistema. Está relacionada con el número de estados posibles que una situación o problema puede tomar. Mediante la variedad se busca dimensionar las dificultades que tendrán que manejar los gerentes al dirigir su sistema u organización (Pérez Ríos, 2008).
- *Ley de variedad requerida de Ashby*: Esta ley establece que “solo la variedad puede destruir variedad” (Ross Ashby, 1956, p. 207). En otras palabras, un grado de variedad o complejidad determinado solo puede ser manejado por un nivel de variedad equivalente (Pérez Ríos, 2008). Esto implica que los directivos en las

organizaciones deben desarrollar esta variedad requerida, y teniendo en cuenta el gran nivel de complejidad del entorno, uno de los principales retos a nivel gerencial es cumplir con esta ley (Pérez Ríos, 2008). Para esto, la cibernética organizacional propone dos mecanismos: El desdoblamiento vertical de la complejidad y la aplicación de atenuadores y amplificadores (Pérez Ríos, 2008). Estos, al ser utilizados adecuadamente, permiten un mejor manejo de la complejidad (Pérez Ríos, 2008). Estos mecanismos se describen a continuación:

- *Desdoblamiento vertical de la complejidad*: Mediante este método se busca descomponer el entorno en sub-entornos más pequeños, para que estos sean manejados mediante los diferentes niveles del sistema u organización (Pérez Ríos, 2008). De esta forma, cada uno de los niveles de la organización enfrentarán un nivel menor de complejidad. Es importante recalcar que estos niveles no son fragmentos individuales ya que en tal caso se perdería el atributo de sistema, y deben contener todas las características del sistema principal (Pérez Ríos, 2008).
- *Atenuadores y amplificadores*: Los atenuadores reducen la complejidad del entorno escogiendo y considerando solo la parte que es relevante para el sistema u organización (Pérez Ríos, 2008). Esto se puede realizar, por ejemplo, realizando una segmentación del mercado objetivo o dividiendo geográficamente las zonas objetivo. Por otro lado, los amplificadores aumentan la capacidad de la organización para manejar la complejidad del entorno (Pérez Ríos, 2008). En este clasifican las estrategias de mercadeo y la aplicación de herramientas informáticas. La relación del entorno,

sistema u organización, y la dirección junto con sus amplificadores y atenuadores se presenta en la Figura 10.

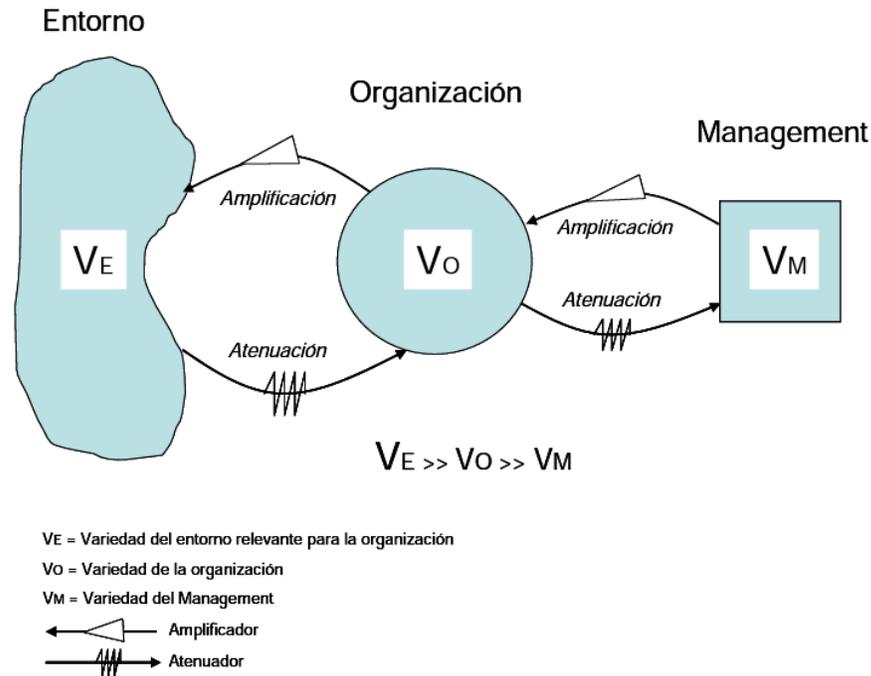


Figura 10. Atenuadores y amplificadores en entorno, organización y gerencia (Pérez Ríos, 2008, p. 14)

- *Teorema de Conant-Ashby*: Un modelo es parte indispensable para un buen regulador (Conant & Ashby, 1970). En el contexto de las decisiones gerenciales, esto se hace referencia a que la calidad de las mismas depende del tipo y la calidad de los modelos que se usen, y de la cantidad de variedad que manejen (Pérez Ríos, 2008).
- *Modelo de sistema viable (VSM)*: Modelo mediante el cual se establecen las condiciones necesarias y suficientes para la viabilidad de una organización (Beer, 1981). El VSM está compuesto por cinco sistemas, los cuales se presentan en detalle en el numeral 2.4.2.
- *Carácter recursivo del VSM*: “Todos los sistemas viables contienen sistemas viables y están contenidos en sistemas viables” (Pérez Ríos, 2010). Es decir, sin importar el

nivel en que se encuentre el sistema, éste debe cumplir con las condiciones especificadas por el modelo para determinar su viabilidad.

- *Patologías organizacionales:* La ausencia o deficiencia de alguno de los cinco sistemas generan una patología organizacional, lo cual se traduce en un malfuncionamiento de la misma. Pérez Ríos (2010) clasifica estas patologías en estructurales, funcionales y de información.
- *Control intrínseco:* El control intrínseco en un sistema u organización está asociado a su capacidad de autorregularse (Pérez Ríos, 2008). Para esto, se deben definir mecanismos que permitan identificar y corregir cualquier desviación respecto al funcionamiento óptimo del sistema (Pérez Ríos, 2008).

2.4.2 Modelo de sistemas viables (VSM)

Para la definición de los aspectos de la cibernética organizacional, Beer realizó sus estudios basados en el cuerpo humano, los cuales fueron su base para el planteamiento de la teoría de viabilidad. Mediante la cibernética, Beer identificó y definió los principios a través de los cuales se pueden controlar los sistemas para optimizar el funcionamiento de los mismos (Pérez Ríos, 2008). Basado en ellos, Beer formuló el modelo de sistemas viables (VSM, por sus siglas en inglés) como herramienta metodológica para su aplicación en la cibernética al diseño o diagnóstico de sistemas u organizaciones. Según lo expone Pérez Ríos (2008, p. 28), “en el VSM se establecen las condiciones necesarias y suficientes para que una organización sea viable”. Para el cumplimiento de estas condiciones necesarias para la viabilidad de un sistema, se debe contar con 5 subsistemas. La representación gráfica del modelo junto con estos cinco subsistemas se presenta en la Figura 11.

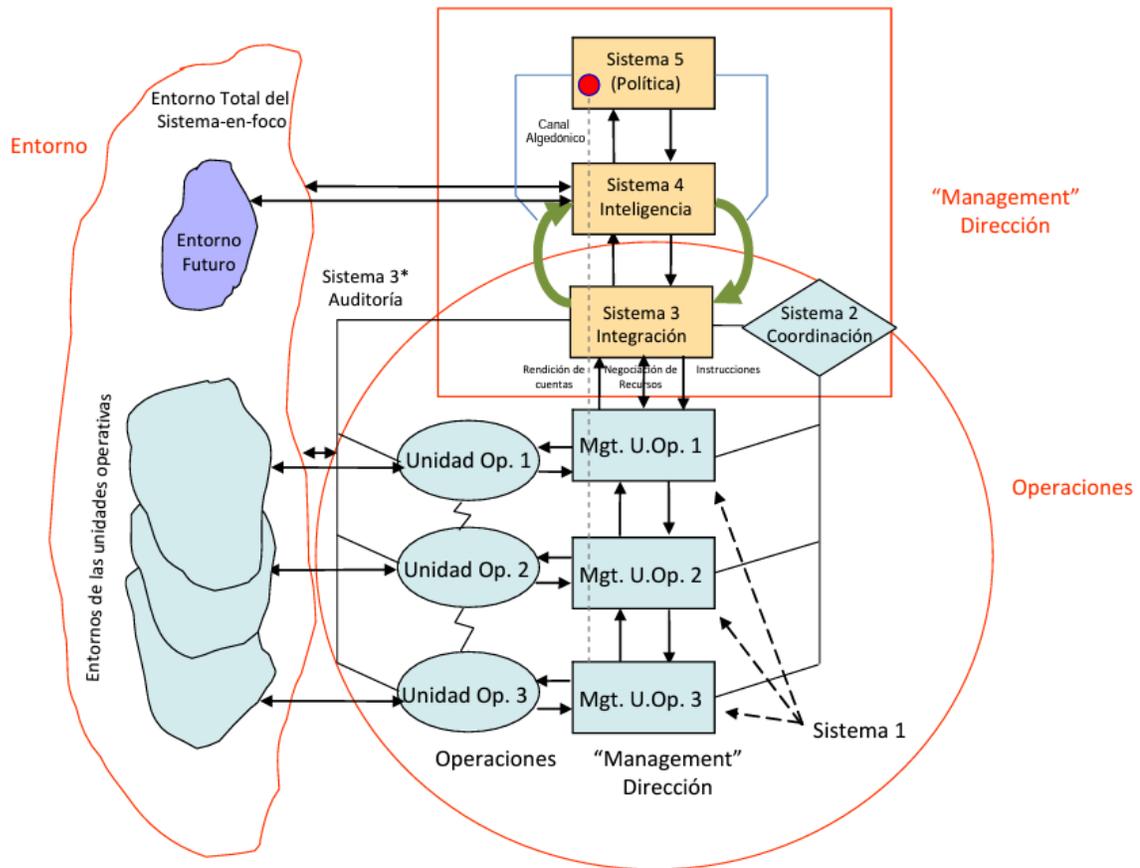


Figura 11. Modelo de sistemas viables de Beer (Pérez Ríos, 2008)

El VSM de cualquier organización está compuesto por tres elementos básicos: El entorno, las operaciones y el metasistema (dirección o gerencia) (Pérez Ríos, 2008). Las operaciones contienen los sistemas 1, 2, 3 y 3*, mientras el metasistema los 3, 4 y 5. A continuación se presenta un resumen de los cinco subsistemas y su función en el VSM según lo expuesto por Walker (2011).

- *Sistema 1 – Actividades primarias, unidades operacionales:* Parte operativa del sistema. Es la parte que hace el trabajo que da razón de ser al sistema (Walker, 2011, p. 10).

- *Sistema 2 – Resolución de conflictos, estabilidad:* Una vez definidos los procesos operativos en el sistema 1, se debe asegurar el manejo de los conflictos que se presentan entre la interacción de sus partes. El manejo de conflictos es la misión del sistema 2 (Walker, 2011, p. 10).
- *Sistema 3 – Regulación interna, optimización, sinergia:* Posterior a que se han estabilizado las interrelaciones del sistema 1, estas se deben optimizar. Esta es la misión del sistema 3. Para esto, el sistema debe analizar las diferentes actividades e identificar qué debe hacer cada una para como conjunto operar más eficientemente (Walker, 2011, p. 10).
- *Sistema 4 – Adaptación, tratar con el entorno cambiante:* Una vez estabilizadas las unidades operacionales, se debe asegurar que el sistema pueda sobrevivir al entorno cambiante. La función del sistema 4 es observar el mundo exterior, identificar oportunidades y amenazas, y definir planes y esquemas basados en los hallazgos (Walker, 2011, p. 10).
- *Sistema 5 – Mayor autoridad, política, identidad:* Finalmente, el sistema completo debe funcionar dentro de un contexto o marco operativo, para asegurar que todos los esfuerzos vayan en una misma dirección. La función del sistema 5 es asegurar este alineamiento. Este provee las reglas y políticas para asegurar que esté completo (Walker, 2011, p. 10).

2.5 Comentarios finales del marco teórico

Este marco teórico permite contextualizar al lector sobre la gestión de activos y su evolución desde una disciplina reduccionista a una holística, y presentar los hallazgos de la revisión de la literatura disponible relacionada con esta perspectiva sistémica. El aspecto

relevante es que se identificó que es muy reducida, por lo cual hay muy pocas guías que brinden lineamientos para la implementación de un sistema de gestión de activos. Se identificó también que hay acuerdo entre los principales autores sobre la poca claridad que las especificaciones y normas brindan acerca de la composición de un sistema de gestión de activos y su relación con la estrategia organizacional. El-Aktruti (2012) estudió estas brechas y desarrolló un modelo en el cual definió aspectos claves tales como la diferenciación de los roles directivos, de coordinación y control, y operativos, sin embargo no contempló en detalle la composición de los procesos operativos de un sistema de gestión de activos y su principales interrelaciones. Adicionalmente, no hace referencia a la importancia de definir canales de comunicación efectivos entre los distintos niveles de un sistema de gestión de activos. Estos aspectos se consideraron en el desarrollo de modelo de sistema viable conceptual desarrollado, cuyos fundamentos teóricos fueron presentados en la última sección del capítulo.

3 Metodología

Este proyecto de tesis tiene como objetivo estudiar el concepto de gestión de activos desde una perspectiva del pensamiento sistémico. Con el fin de abordar esta problemática de una manera sistemática, la metodología de desarrollo fue dividida en cuatro fases principales: 1) *evaluación*, 2) *selección*, 3) *conceptualización y diseño* y 4) *aplicación*. Un esquema con las cuatro fases y sus principales actividades se presenta en la Figura 12.



Figura 12. Desarrollo metodológico del estudio investigativo

Para la fase de *evaluación* y como paso inicial de la investigación, se realizó una revisión de la literatura con el fin de identificar y analizar las aproximaciones y modelos que se han desarrollado a la fecha en relación con la visión sistémica de la gestión de activos. Esta fue presentada en el capítulo anterior. Como segundo paso se *seleccionó* la cibernética organizacional y teoría de sistemas viables de Stafford Beer como herramienta metodológica para el diseño del modelo conceptual. Para esto se consideraron las principales metodologías para el estudio de problemas desde un enfoque sistémico, y se evaluaron de manera cualitativa mediante los criterios definidos por Jackson y Keys (1984) con el fin de identificar la que mejor se ajustaba al tema de estudio. El proceso de selección está descrito en el numeral 3.1. Una vez seleccionada la herramienta metodológica, se prosiguió con la tercera fase de *conceptualización*

y *diseño* del modelo de sistema viable (VSM) para la gestión de activos. El modelo fue desarrollado bajo la premisa de que pueda ser aplicado para el diseño o diagnóstico de cualquier tipo de organización que dependa de activos físicos para el cumplimiento de sus objetivos, y su metodología se presenta en el numeral 3.2. Una vez finalizado, sus componentes fueron enmarcados y contrastados con el estándar ISO 55001, con el fin de analizar la función e importancia de los diferentes elementos de la norma dentro un sistema de gestión de activos. La cuarta y última fase consta de la *aplicación*, en la cual el VSM diseñado fue utilizado como base para un estudio de caso en el que se realizó un diagnóstico de la gestión de activos en una organización y posterior diseño (u optimización) basado en los hallazgos de la evaluación. El método aplicado para el diagnóstico y diseño organizacional es presentado finalmente en el numeral 3.3.

3.1 Selección de la herramienta metodológica

Como se presentó en el numeral 2.2.1, históricamente ha habido diferentes aproximaciones para el estudio de problemas mediante la aplicación de un enfoque sistémico. Dentro de las técnicas de mayor utilización se encuentran la cibernética y modelo de sistemas viables (VSM) de Beer (1966, 1979, 1981), la metodología de sistemas blandos (SSM) de Checkland (1981) y la dinámica de sistemas desarrollada inicialmente por Forrester (1981). Previo a la iniciación del estudio referente a la aplicación del pensamiento sistémico a la gestión de activos, se debió definir qué metodología se ajustaba de mejor manera al presente caso de estudio.

Jackson y Keys (1984) estudiaron la problemática asociada a la caracterización de los problemas a los cuales un tomador o tomadores de decisión se deben enfrentar, para basado en esto poder definir y seleccionar la metodología de sistemas que mejor se ajuste a cada situación

en particular. Así, clasificaron en cuatro categorías los contextos de problemas considerando el nivel de complejidad del sistema objeto de estudio y la perspectiva del tomador o tomadores de la decisión: 1) Mecánico-unitario, 2) sistémico-unitario, 3) mecánico-pluralista y 4) sistémico-pluralista. El término mecánico en este contexto hace referencia a sistemas simples, en los cuales se cuenta con pocas variables y con poca influencia del entorno. En contraste, el concepto de sistémico hace referencia a sistemas que cuentan con un alto grado de complejidad, con un número representativo de variables que se interrelacionan entre sí, con alto grado de incertidumbre en los resultados y con influencia de cambios en el entorno. Por otro lado, las categorías de unitario o pluralista hacen referencia a las características del tomador de decisión. En el caso unitario, hay un único individuo en el proceso, o un objetivo único a alcanzar. Esto se diferencia del caso pluralista, en el cual puede haber múltiples entes involucrados en la decisión, y así mismo distintos puntos de vista u objetivos. De esta forma se pueden acotar los problemas a estudiar en alguna de estas categorías, y así definir la metodología de sistemas idónea para cada caso. Jackson (2006) representó gráficamente cada uno de estos criterios, y como las distintas metodologías de pensamiento sistémico se ajustan de acuerdo a la naturaleza del problema de estudio. Esto se presenta en la Figura 13.

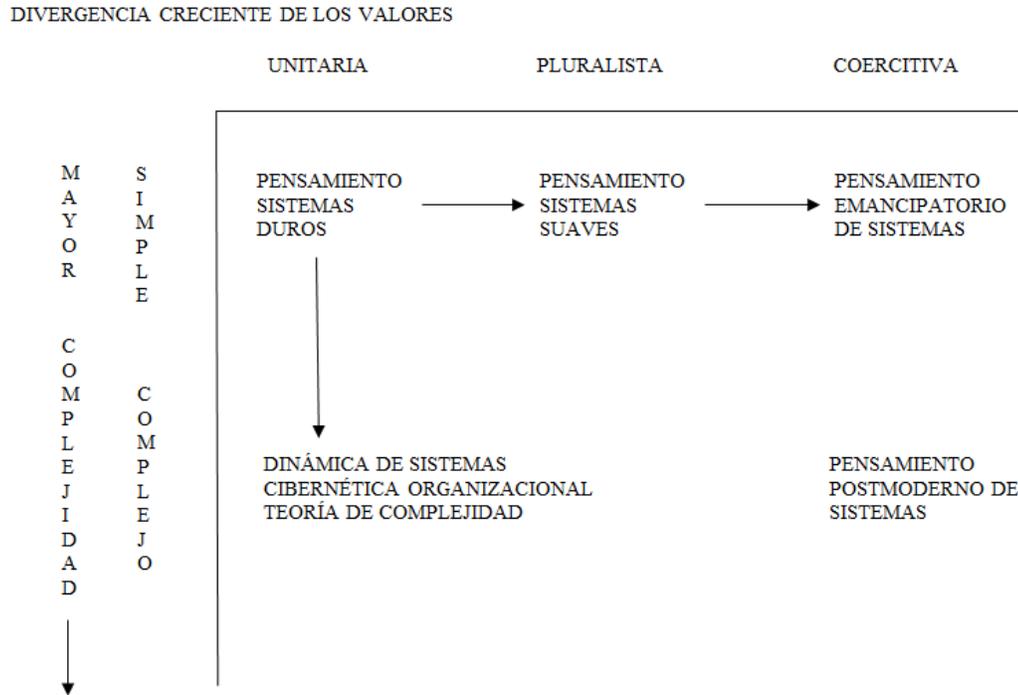


Figura 13. Desarrollo de la aplicación del pensamiento sistémico (Jackson, 2006). Traducida del documento original.

Con el fin de seleccionar la metodología de sistemas que se ajustara a las necesidades del presente caso de estudio, se evaluaron los criterios expuestos anteriormente para el caso de la gestión de activos, y se acotó la problemática en una de las cuatro categorías. Una vez caracterizada, se definió la metodología de cibernética y modelo de sistema viable como la más apropiada para este caso en específico. Los criterios evaluados se presentan a continuación.

3.1.1 Categorización del sistema foco de estudio

Como primer punto, se evaluaron criterios relacionados con el nivel de simplicidad o complejidad del sistema en estudio, en este caso la gestión de activos. Jackson y Keys (1984) definen algunas características que diferencian a los sistemas complejos de los simples, los cuales fueron tomadas como base en la categorización de la gestión de activos. Estas características y el análisis desde la perspectiva de gestión de activos se presentan a continuación.

- *“Primero, en los sistemas complejos, no todos los atributos son directamente observables, por lo cual es difícil entender completamente su naturaleza”* (Jackson & Keys, 1984, p. 475). Godau (1999) especifica como la gestión de activos está influenciada por factores tales como políticos, sociales, ambientales, gerenciales, técnicos y económicos. Estos factores en su mayoría son externos y no están bajo el control ni son de total conocimiento por parte de los directivos de gestión de activos en las organizaciones, lo cual dificulta el proceso de toma de decisión considerando el gran número de variables y elementos a tener en cuenta.
- *“Segundo, en los sistemas complejos, aunque se puedan establecer leyes que relacionan las diferentes partes del sistema, estas son invariablemente probabilísticas en su naturaleza”* (Jackson & Keys, 1984, p. 475). El estándar ISO 14224 (2006), el cual brinda lineamientos para la recolección de información de mantenimiento y confiabilidad de infraestructura y que es de amplia aplicación en la industria, define el carácter probabilístico de factores tales la confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad de los equipos, entre otros. Adicionalmente, las condiciones del entorno tales como las demandas futuras y tendencias del mercado también cuentan con un alto grado de incertidumbre, por lo cual las decisiones relacionadas con la gestión de activos y sus resultados están afectados por cómo se desarrollen estos aspectos.
- *“Tercero, los sistemas complejos evolucionan en el tiempo”* (Jackson & Keys, 1984, p. 475). El entorno relacionado con la gestión de activos está en constante cambio, y uno de los aspectos en los cuales se hace más evidente es desde la perspectiva tecnológica. La inclusión de nueva tecnología tiene un impacto representativo en la

toma de decisiones relacionadas con la infraestructura física, al incorporar aspectos a considerar tales como obsolescencia y actualización de equipos.

- *“Cuarto, los sistemas complejos involucran más problemas de ‘comportamiento’”* (Jackson & Keys, 1984, p. 476). Este factor está asociado a la influencia de factores externos tales como políticos, culturales y sociales, los cuales impactan directamente la gestión de activos en las organizaciones. Godau (1999) hace referencia a la influencia de estos factores y de la importancia de tener en cuenta elementos tales como las necesidades de las comunidades dentro de la gestión integral de los activos.

En síntesis, basado en estos criterios evaluados se hace evidente que la gestión de activos como disciplina implica una alta complejidad, ya que no es totalmente observable, es probabilística, cambia en el tiempo, está influenciada por factores externos y está sujeta a influencias comportamentales de su entorno.

3.1.2 Categorización del tomador de decisión

Tal como lo especifican Jackson y Keys (1984), la simplicidad o complejidad del sistema de estudio no es el único factor que caracteriza el contexto del problema. La selección de una metodología idónea también está influenciada por la naturaleza del tomador o tomadores de decisión, y más específicamente por sus objetivos. En este aspecto es importante diferenciar entre si se hay un solo objetivo común y acuerdo entre las metas del sistema (unitaria), o si se cuenta con diferentes metas u objetivos entre los distintos tomadores de decisión (pluralista). La metodología idónea para abordar la problemática será diferente dependiendo de estas características.

El estándar ISO 55000 recalca la importancia de contar con una política de gestión de activos que defina sus objetivos y lineamientos. De esta forma, esta busca asegurar que se cuente

con una sola visión e interés común, la cual de manera general debe buscar que “las organizaciones alcancen sus objetivos mediante la gestión efectiva y eficiente de sus activos” (ISO/IEC, 2014a, p. v). Así, en el caso de la gestión de activos la visión entre los entes que componen el sistema es de carácter unitaria, guiada por la misión y visión especificadas en las políticas de cada organización.

3.1.3 Herramienta metodológica seleccionada

Basado en los criterios expuestos en los numerales 3.1.1 y 3.1.2, la problemática del presente caso de estudio asociada a la gestión de activos se puede categorizar como *sistémica-unitaria*. Según lo presentado por Jackson y Keys (1984), las herramientas que proporcionan la cibernética y teoría de sistemas viables de Stafford Beer son las más idóneas para estudiar problemáticas de tipo *sistémico-unitario*. Teniendo en cuenta que uno de los principales focos de este estudio es brindar herramientas para el diseño organizacional de un sistema de gestión de activos, la cibernética organizacional y el modelo de sistema viable (VSM) se ajusta de manera ideal para este fin. Tal como lo expone Pérez Ríos (2010), “el VSM es una herramienta particularmente poderosa en facilitar el diseño de organizaciones desde el punto de vista de su viabilidad”.

Así, la visión sistémica para la gestión de activos se estudió con base en cibernética y el modelo de sistema viable (VSM) desarrollado por Stafford Beer. Se partió del supuesto de enmarcar a la gestión de activos como un sistema viable y se desarrolló un modelo conceptual como herramienta de soporte para su implementación. Se aclara que se usaron parte de las herramientas que brindan las herramientas de cibernética y teoría de viabilidad de Stafford Beer, según las necesidades y alcance del estudio de investigación. A continuación se presenta la metodología con la cual se desarrolló el modelo.

3.2 Metodología de diseño del modelo de sistema viable (VSM) conceptual

El modelo de sistema viable conceptual se desarrolló principalmente basado en la metodología propuesta por Pérez Ríos en su libro *Diseño y diagnóstico de organizaciones viables. Un enfoque sistémico*. En este Pérez Ríos (2008) presenta un método para el diseño y diagnóstico de organizaciones alineado con los principios de cibernética organizacional desarrollados por Stafford Beer, y se centra en la importancia de brindar una herramienta de fácil aplicación teniendo en cuenta el alto grado de abstracción de la teoría. Teniendo en cuenta esto último y que el método propuesto por Pérez Ríos fue desarrollado siguiendo rigurosamente la teoría de sistemas viables, éste fue seleccionado para el desarrollo del modelo. Tomando en consideración la limitada literatura relacionada con la composición de un sistema de gestión de activos, los procesos que lo conforman fueron definidos basados principalmente en la experiencia del autor en su aplicación en distintas industrias. De igual forma, se buscó que la terminología y principios del modelo estuvieran alineados con lo presentado en los principales referentes de gestión de activos tales como PAS 55 e ISO 55000.

El diseño del modelo fue realizado considerando los subsistemas definidos por Stafford Beer para un sistema viable (sistemas 1, 2, 3, 3*, 4 y 5, según lo presentado en el numeral 2.4.2). Así, se definieron los elementos principales que deben componer cada uno de estos subsistemas en el primer nivel (nivel 0) de un sistema de gestión de activos, los cuales se presentan en la Figura 14. Para el caso de las unidades operativas (sistema 1), se presentaron también los subprocesos típicos que deben componer el segundo nivel del sistema (nivel 1), con el fin de brindar mayor claridad de las actividades específicas que se deben asegurar dentro de las diferentes fases del ciclo de vida de los activos. Adicional a la desagregación presentada de las unidades operativas, no se consideró en el alcance del modelo una desagregación vertical

detallada, ya que esta depende de la naturaleza, tamaño y contexto operativo de cada organización. Sin embargo, el modelo conceptual se definió bajo la premisa de que este brinde los elementos fundamentales que se deben considerar al conformar un sistema de gestión de activos, y que pueda ser aplicado a cualquier tipo de industria.

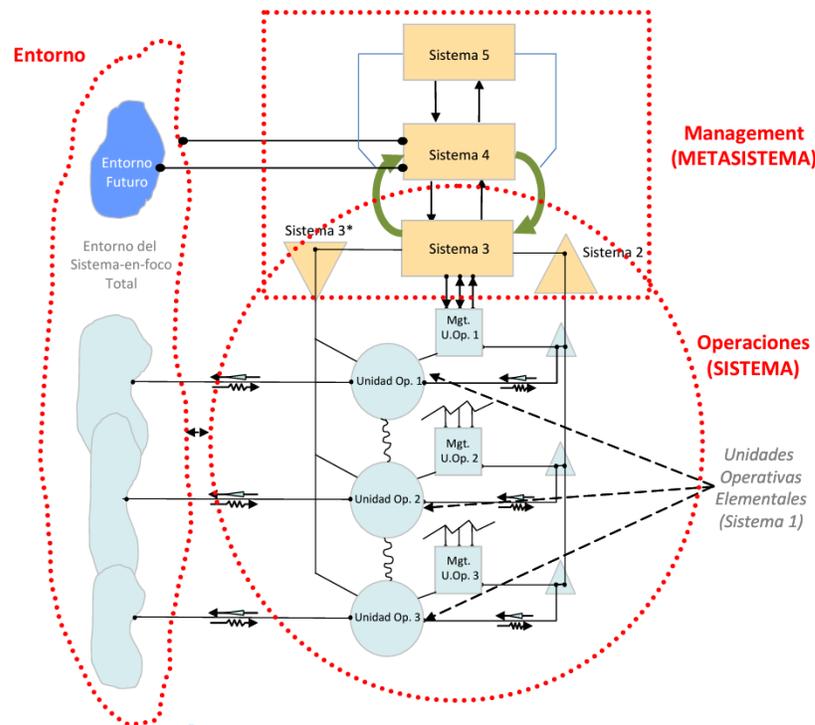


Figura 14. Elementos sub-sistema en foco (Pérez Ríos, 2008)

Para el diseño de cada uno de los subsistemas se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Sistema 1 - Parte operativa del sistema de gestión de activos:* Considerando que la gestión de activos debe considerar todas las fases del ciclo de vida de los activos, sus procesos operativos fueron enmarcados en cada una de estas etapas. Esto se realizó basado en las fases presentadas en la especificación PAS 55 (2008a): *Crear y adquirir, utilizar / operar, mantener y renovar / disponer.*

- *Sistema 2 – Coordinación:* Para esto se analizaron y definieron cada una de las interrelaciones y posibles conflictos entre los procesos operativos del sistema de gestión de activos definidos en el sistema 1, y basado en esto se especificaron mecanismos clave para su gestión.
- *Sistema 3 – Control:* Para este sistema inicialmente se realizó su composición, y conforme a esto se definieron sus funciones específicas dentro de un sistema de gestión de activos.
- *Sistema 3* - Auditoría:* Se definieron los principales métodos y consideración al momento de auditar el sistema.
- *Sistema 4 – Adaptación y entorno:* Se identificaron los principales elementos del entorno tanto presente como futuro que impactan y pueden ser impactados por un sistema de gestión de activos, y estrategias para su manejo.
- *Sistema 5 – Identidad:* Teniendo en cuenta que este representa la máxima autoridad del sistema, se definieron sus principales elementos y funciones propias de la gestión de activos.

Como siguiente fase, los requerimientos de ISO 55001 para un sistema de gestión de activos fueron analizados desde la perspectiva del modelo de sistema viable. Para esto, se revisaron los aspectos especificados en la norma capítulo por capítulo (ver numeral 2.3.2), y fueron enmarcados en los subsistemas del modelo según correspondiera en cada caso.

3.3 Metodología del estudio de caso

Como fase final de la investigación se realizó un estudio de caso tomando como base el modelo de sistema viable desarrollado con el fin de validar su aplicabilidad a organizaciones reales. Inicialmente, se seleccionó la organización para el estudio de caso bajo el criterio que ésta

debía depender en alta medida de su infraestructura física para el cumplimiento de sus objetivos organizacionales. Una vez seleccionada, el estudio de caso se dividió en dos sub fases según lo presenta Martínez Avella (2002, p. 126). Una primera sub fase de *diagnóstico*, en la cual se definió como área de interés la gestión de activos de la compañía. Para esto se evaluó su condición actual respecto a los elementos e interacciones de los cinco sistemas que componen el modelo conceptual. Basado en los hallazgos de este proceso, se realizó una segunda sub fase de *diseño*, en la cual se definieron acciones y recomendaciones para la estructuración del sistema de gestión de activos en la organización.

Las principales actividades desarrolladas como parte del estudio de caso fueron las siguientes:

- *Presentación de alcance y objetivos:* Se contextualizó al personal de la organización respecto al alcance y objetivos del diagnóstico, con el fin de brindar mayor entendimiento de los aspectos a evaluar y su relevancia.
- *Solicitud y revisión de la documentación:* A continuación se solicitó a la organización la documentación requerida. Como información principal, se revisó la relacionada con la estructura organizacional y los roles relacionados con la gestión de activos. También se evaluaron documentos relacionados con la estrategia y objetivos a largo plazo.
- *Desarrollo de entrevistas semi-estructuradas:* Con el fin de tener un mayor entendimiento del funcionamiento de la organización desde una perspectiva de la gestión de activos, se desarrollaron entrevistas con personal directivo de la empresa. En esta se buscó evaluar el día a día operativo respecto a los elementos del modelo de sistema viable.

- *Definición de conclusiones y recomendaciones para el diseño:* Basado en los hallazgos del diagnóstico, se definieron conclusiones y recomendaciones para la composición del sistema de gestión de activos.

4 Diseño del VSM conceptual para la gestión de activos

Tal como se presentó anteriormente, no existen guías claras para la implementación de un sistema de gestión de activos en las organizaciones. La cibernética y el modelo de sistema viable (VSM) desarrollado por Stafford Beer constituyen un marco conceptual y metodológico para el diseño de estructuras organizacionales complejas desde una perspectiva “sistémica”, los cuales se ajustan a las necesidades de la problemática expuesta. Mediante el VSM conceptual propuesto se busca dar claridad sobre el concepto de visión sistémica de la gestión de activos, identificando y enmarcando las actividades operativas, de coordinación y de control necesarias para su viabilidad. En el numeral 4.1 se hace una presentación general del VSM conceptual para la gestión de activos compuesto por los 5 sistemas (incluyendo el sistema 3* - auditoría). Siguiendo a esto, en los numerales 4.2 a 4.7 se hace una revisión detallada de cada uno de los sistemas que componen el VSM. Finalmente, en el numeral 4.8 se presenta una comparación entre los requerimientos del estándar ISO 55001 para un sistema de gestión de activos y el VSM conceptual desarrollado.

4.1 VSM conceptual para la gestión de activos

El primer nivel del VSM conceptual para la gestión de activos se presenta en la Figura 15. En este se presentan los principales elementos de los cinco sistemas que componen el modelo. El sistema 1 corresponde a las unidades operativas del sistema, es decir a las actividades con las cuales se busca obtener el valor esperado de los activos. Para el primer nivel, estas fueron divididas principalmente en cuatro: (1) Crear y adquirir, (2) Utilizar / Operar, (3) mantener y (4) Renovar / Disponer. Cada una de estas unidades operativas cuenta con diferentes subprocesos que deben desarrollar como parte de sus funciones dentro del sistema, las cuales son detalladas en el numeral 4.2.

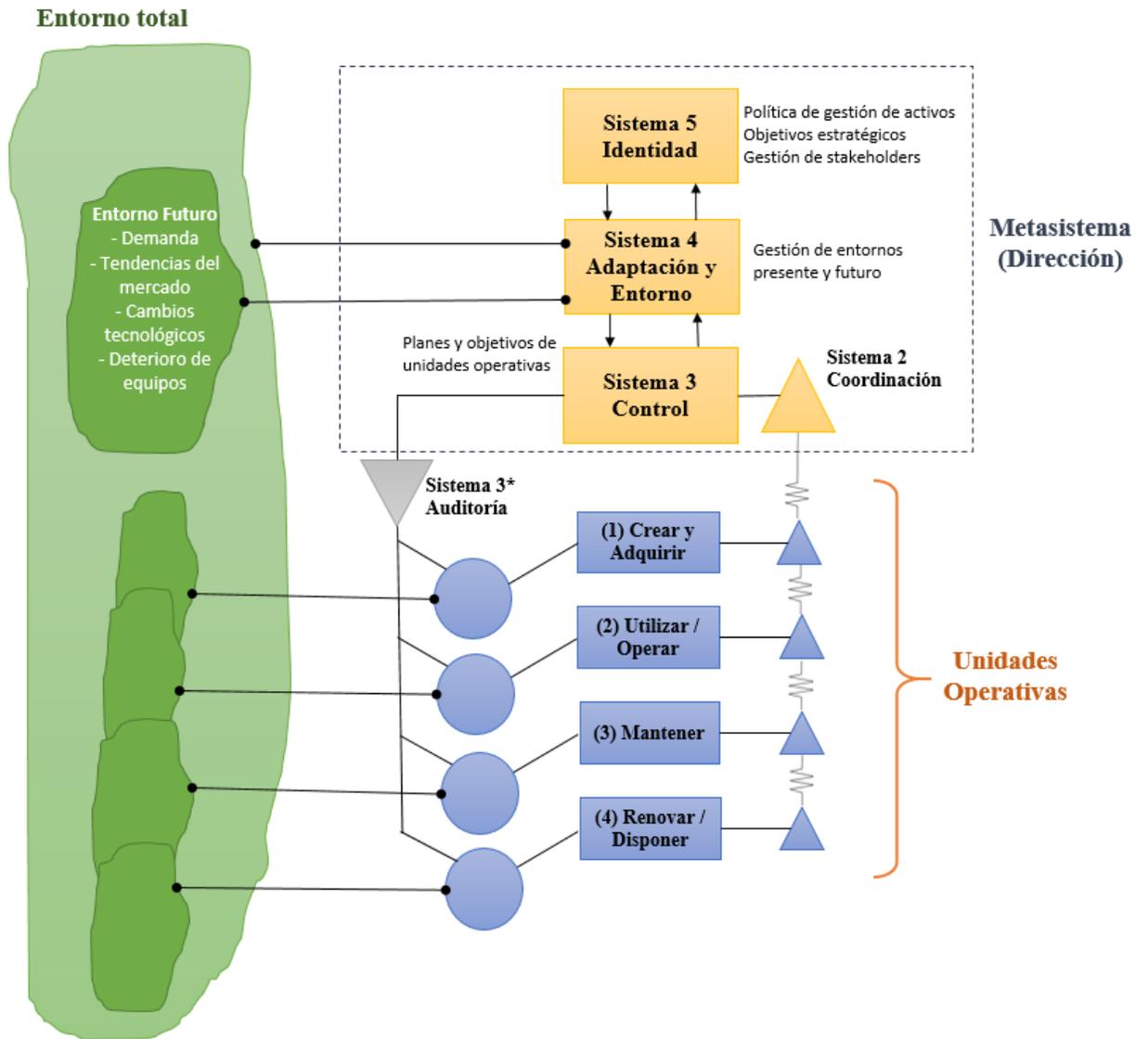


Figura 15. VSM conceptual para la gestión de activos

Una vez definidas las unidades operativas del sistema 1, debe haber un ente encargado de su coordinación. Esta es la función del sistema 2, el cual debe identificar las interacciones entre las unidades operativas y definir mecanismos para que estas puedan operar de manera armónica entre ellas. Las principales interacciones entre los procesos del sistema 1 y algunos posibles mecanismos para coordinación se proponen en el numeral 4.3.

La operación del sistema 1 también debe ser controlada para asegurar que el cumplimiento de sus funciones, labor realizada por el sistema 3. Este tiene el rol de “Director Operativo” y debe definir planes y objetivos específicos de las unidades operativas y asegurar el día a día operativo del sistema. Su composición y principales funciones se presentan en el numeral 4.4. Con el fin de asegurar que el sistema 3 tenga toda la información referente al sistema 1 para definir acciones correctivas en caso de ser requeridas, este debe contar con mecanismos adicionales de recepción de información referente a su desempeño operativo. Esto se debe realizar mediante auditorías, las cuales son función del sistema 3*. Este funciona como soporte al sistema 3 y su rol es brindarle información que no este no pueda recolectar de su interacción directa con los sistemas 1 y 2. Sus principales características están descritas en el numeral 4.5.

El entorno del sistema también debe ser gestionado para asegurar la adaptabilidad y sostenibilidad del sistema. Esta es la función del sistema 4, el cual debe gestionar tanto el entorno presente como el futuro del sistema. Dentro de los principales elementos a considerar del entorno presente de un sistema de gestión de activos se encuentran las regulaciones y normatividad, factores políticos y sociales, proveedores y la relación con otros sistemas gerenciales de la organización. En el caso del entorno futuro, se encuentran la demanda futura, las tendencias del mercado, los cambios tecnológicos y el deterioro de los activos. Estos elementos del sistema 4 son detallados en el numeral 4.6.

Finalmente, el sistema 5 corresponde a la máxima autoridad del sistema. Este debe definir la identidad, política y objetivos estratégicos del sistema de gestión de activos basados en las metas de la organización. Adicional a esto, este debe equilibrar el presente y futuro del sistema. Sus principales funciones son presentadas en el numeral 4.7.

4.2 Sistema 1 – parte operativa del sistema de gestión de activos

El Sistema 1 corresponde a la parte operativa del sistema. Descrito de otra manera, el Sistema 1 está compuesto por todas las operaciones que ejecutan las acciones que justifican la existencia del sistema (Hilder, 1995). Así, como primer paso es de gran importancia identificar cuáles son los procesos operativos de un sistema de gestión de activos y posteriormente diferenciarlos de las actividades relacionadas con el control y coordinación del mismo (los cuales se desarrollarán en el resto de sistemas del modelo). Teniendo en cuenta que uno de los principios fundamentales de la gestión de activos es que debe involucrar todas las fases del ciclo de vida de los activos, sus procesos operativos deben estar enmarcados en cada una de estas fases. De esta forma, el criterio de recursión para los procesos operativos básicos y de primer nivel del modelo conceptual de sistema viable para la gestión de activos serán sus fases del ciclo de vida presentados en PAS 55 (2008a), los cuales son los siguientes: *Crear y adquirir, utilizar / operar, mantener y renovar / disponer*. La descripción detallada de cada uno se presenta a continuación.

4.2.1 Sistema 1.a. Crear y adquirir

Este proceso es el encargado de definir, desarrollar, seleccionar, adquirir, instalar y poner en marcha los activos y sistemas de activos de la organización. Este elemento aporta al propósito de obtener el valor esperado de los activos desde la perspectiva de asegurar una selección y diseño adecuados según las necesidades de la organización. Este sistema tiene una alta relevancia en el cumplimiento de las metas organizacionales considerando que las decisiones respecto a la selección y diseño influirán directamente el desempeño de los demás elementos que componen el sistema de gestión de activos. Sus principales componentes de carácter directivo, operativo y del entorno se presentan en la Figura 16.

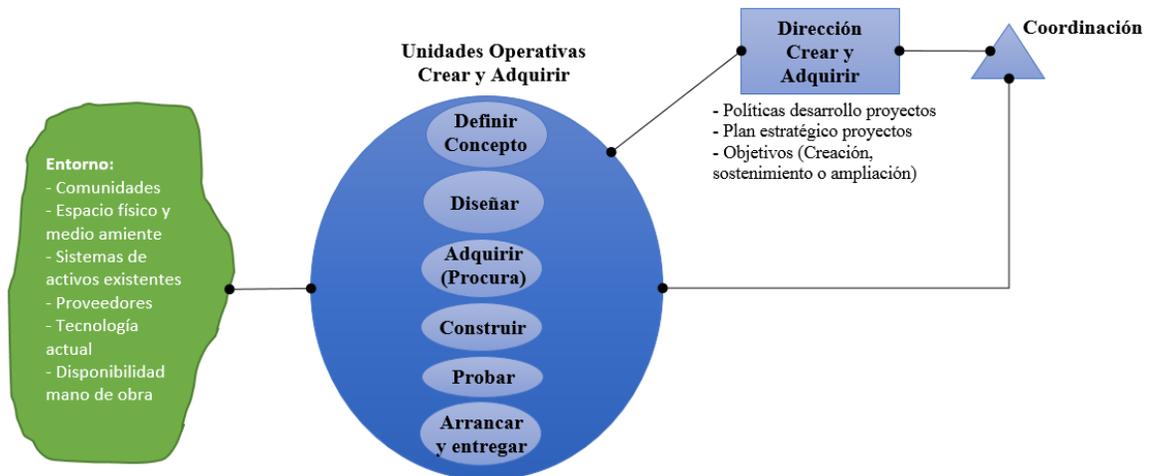


Figura 16. Componentes del sistema 1.a. Crear y Adquirir

4.2.2 Sistema 1.b. Utilizar / Operar

Este conjunto de actividades involucran la operación de los activos de la organización. Esto involucra tanto la operación manual como automatizada de la infraestructura, y sus diferentes tipos de operación (arranque, operación rutinaria, parada, y emergencias). Este proceso también debe gestionar los riesgos asociados a la operación de los activos y definir controles tanto preventivos como de mitigación (planes de contingencia). Su composición es ilustrada en la Figura 17.



Figura 17. Componentes del sistema 1.b. Utilizar/Operar

4.2.3 Sistema 1.c. Mantener

La función de este proceso es definir los lineamientos y ejecutar las acciones requeridas para asegurar que los activos estén en capacidad de cumplir la función para la cual fueron adquiridos. Esto involucra tanto las acciones preventivas (previas a la falla) como correctivas (posteriores a la falla). Este también debe analizar las fallas de los activos para identificar acciones para evitar su recurrencia. Su composición se presenta en la Figura 18.

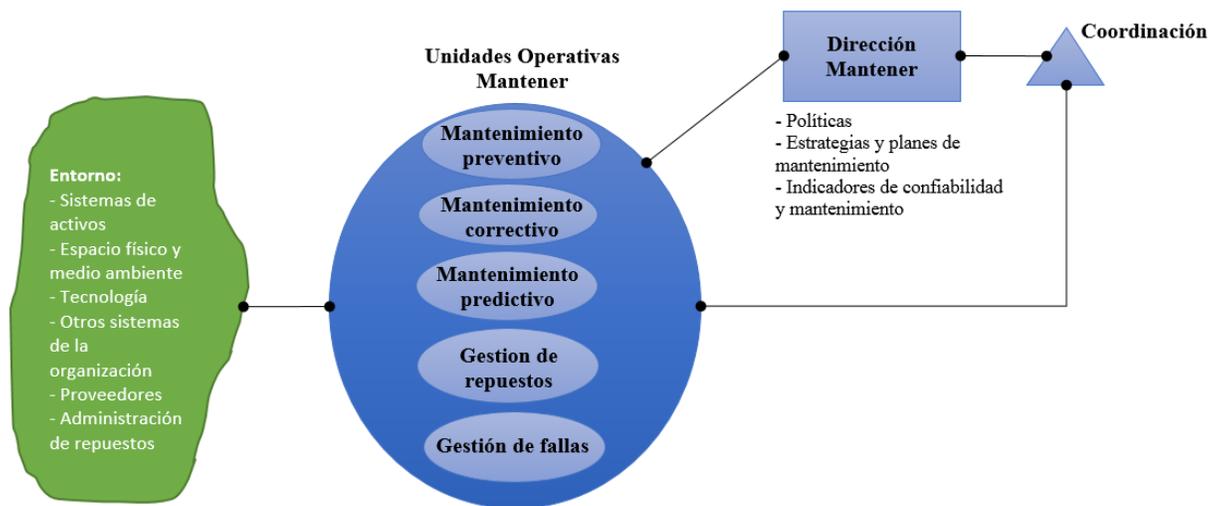


Figura 18. Componentes del sistema 1.c. Mantener

4.2.4 Sistema 1.d. Renovar / Disponer

Mediante este proceso se evalúa la infraestructura actual con el fin de identificar necesidades de renovación de activos por obsolescencia o cumplimiento de vida útil y/o de disposición por actualización o por no requerimiento. Sus componentes se ilustran en la Figura 19.

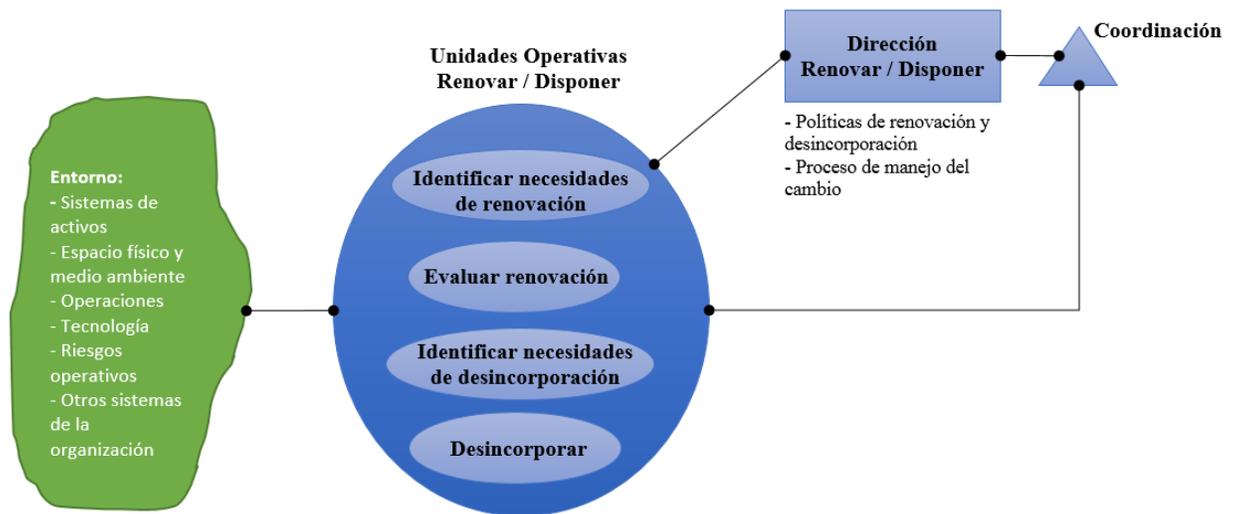


Figura 19. Componentes del sistema 1.d. Renovar / Disponer

4.3 Sistema 2 – coordinación

Teniendo en cuenta que entre los diferentes procesos operacionales del sistema puede haber objetivos encontrados y conflicto de intereses, es indispensable contar con elementos de coordinación entre los mismos para lograr un funcionamiento armónico del sistema. Esta es la función del Sistema 2. Estos elementos de coordinación deben ser definidos y acordados principalmente entre la dirección (management) de cada uno de los procesos operativos y con el soporte del Sistema 3 (el cual se presentará en el numeral 4.4).

Con el fin de definir los mecanismos clave a considerar para la coordinación entre los procesos operativos de un sistema de gestión de activos, se debe primero identificar y entender las principales interrelaciones y posibles conflictos que se pueden presentar entre los mismos. Las principales relaciones entre los procesos operativos descritos en el numeral 4.2 se presentan a continuación.

4.3.1 Interacciones entre procesos (1) y (2)

Las principales interrelaciones entre los procesos (1) crear y adquirir y (2) utilizar/operar son las siguientes:

- *Soporte de personal de operaciones para el desarrollo de infraestructura nueva en una planta existente:* Durante las fases de ingeniería de un proyecto es común requerir el soporte del personal de operación en fases específicas del proyecto, el cual debe ser planeado y acordado entre ambas partes.
- *Impacto de instalaciones nuevas en sistemas existentes:* Al instalar un equipo o facilidad nueva, esta puede impactar operativamente otros sistemas existentes.
- *Construcción/Instalación de facilidades nuevas en una planta existente:* En el proceso de construcción de facilidades, en ciertos casos es necesario interferir con la operación de la planta para la instalación de determinados sistemas o equipos. Adicionalmente, durante la construcción se pueden generar riesgos tanto para el personal en la planta como para su infraestructura, los cuales deben ser evaluados y gestionados conjuntamente.
- *Entrega de facilidades nuevas a operaciones:* Una vez finalizado el proyecto y realizada la puesta en marcha de la nueva planta o sistema, este debe ser entregado a operaciones. Este proceso de interacción representa el paso del proceso operativo (1)

al (2) del sistema de gestión de activos. Para esto, el proyecto debe entregar una planta o sistema en condiciones óptimas para ser operado y el que recibe debe tener las competencias, procedimientos y herramientas para operarla adecuadamente.

4.3.2 Interacciones entre procesos (1) y (3)

Las principales interrelaciones entre los procesos (1) crear y adquirir y (3) mantener son similares a las presentadas entre los procesos (1) y (2) teniendo en cuenta que involucran la misma fase del ciclo de vida (operación y mantenimiento). Estas se presentan a continuación:

- *Soporte de personal de mantenimiento para el desarrollo de infraestructura nueva en una planta existente:* Al igual que en el caso del personal de operaciones, durante las fases de ingeniería de un proyecto es común requerir el soporte del personal de mantenimiento en fases específicas del proyecto, el cual debe ser planeado y acordado entre ambas partes. Adicionalmente, los diseños deben considerar facilidades para su mantenimiento.
- *Construcción/Instalación de facilidades nuevas en una planta existente:* Durante la construcción se pueden generar riesgos tanto para el personal en la planta como para su infraestructura, los cuales deben ser evaluados y gestionados conjuntamente.
- *Entrega de facilidades nuevas a operación:* Similar al caso del sistema (1), una vez entregadas por parte del proyecto las nuevas facilidades deben estar en capacidad de ser mantenidas. Esto incluye principalmente lo referente repuestos iniciales, herramientas, equipos y planes de mantenimiento definidos, y competencias del personal.

4.3.3 Interacciones entre procesos (1) y (4)

Los procesos (1) crear y adquirir y (4) renovar/disponer se relacionan principalmente en los siguientes aspectos:

- *Evaluación de requerimientos de renovación de activos:* Una vez se identifiquen necesidades de renovación o reposición de activos, su viabilidad de implementación debe ser evaluada en conjunto con el área encargada de proyectos.
- *Desincorporación de activos como parte de un proyecto de actualización:* En el caso de que un proyecto esté reemplazando o actualizando infraestructura existente, la disposición de la sección reemplazada debe ser realizada según los principios del proceso de desincorporación de activos.

4.3.4 Interacciones entre procesos (2) y (3)

Las principales interrelaciones entre los procesos (2) utilizar/operar y (3) mantener son las siguientes:

- *Paradas de equipos para mantenimiento:* Las paradas de equipos para mantenimiento pueden influir sobre las metas operativas del sistema.
- *Pruebas operativas durante o posteriores al mantenimiento:* En ocasiones se debe realizar pruebas de determinados parámetros de los equipos durante o posterior a un mantenimiento.
- *Entrega de equipos a operaciones a mantenimiento y viceversa:* Operaciones debe entregar los equipos de manera segura a mantenimiento para su intervención, y mantenimiento debe entregar de regreso los equipos a operación una vez finalizadas las tareas.

4.3.5 Interacciones entre procesos (2) y (4)

Los procesos (2) utilizar/operar y (4) renovar/disponer se relacionan principalmente en los siguientes aspectos:

- *Impacto de disposición de equipos sobre la infraestructura:* Al igual que en el caso de la instalación de un equipo nuevo, la desincorporación de un equipo puede tener una afectación sobre los sistemas aledaños.
- *Impacto de disposición de equipos sobre la operación:* En caso de ser un activo que opera sobre el sistema principal, su desincorporación puede requerir una parada parcial o total.

4.3.6 Interacciones entre procesos (3) y (4)

Las principales interrelaciones entre los procesos (3) mantener y (4) renovar/disponer son las siguientes:

- *Soporte para disposición de activos:* En ciertas ocasiones, es requerido el soporte del personal de mantenimiento para la desincorporación de los activos.

4.3.7 Actividades de coordinación entre las unidades operacionales

Una vez valoradas las principales interacciones entre los diferentes procesos operativos de un sistema de gestión de activos, se deben definir mecanismos de coordinación que permitan una operación fluida de sus diferentes elementos. Las principales interacciones y mecanismos propuestos de coordinación se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Posibles mecanismos de coordinación para Sistema de Gestión de Activos

Procesos	Interacción	Mecanismos de Coordinación
Procesos (1) crear y adquirir y (2) utilizar/operar	Soporte de personal de operaciones para el desarrollo de infraestructura nueva en una planta existente	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgación del proyecto a operaciones • Plan de desarrollo del proyecto • Reuniones periódicas entre la

		direcciones del proyecto y operaciones
	Impacto de instalaciones nuevas en sistemas existentes	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgos • Manejo del cambio
	Construcción/Instalación de facilidades nuevas en una planta existente	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgación del proyecto a operaciones • Análisis de riesgos conjunto entre el proyecto y personal de la planta • Planeación de requerimientos de paradas operacionales • Reuniones periódicas entre la direcciones del proyecto y operaciones
	Entrega de facilidades nuevas a operaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de registros de precomisionamiento y comisionamiento de instalaciones • Manuales y procedimientos operativos • Capacitación al personal de operaciones • Análisis de seguridad prearranque
Procesos (1) crear y adquirir y (3) mantener	Soporte de personal de mantenimiento para el desarrollo de infraestructura nueva en una planta existente	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgación del proyecto a mantenimiento • Plan de desarrollo del proyecto • Reuniones periódicas entre la direcciones del proyecto y mantenimiento
	Construcción/Instalación de facilidades nuevas en una planta existente	<ul style="list-style-type: none"> • Divulgación del proyecto a mantenimiento • Análisis de riesgos conjunto entre el proyecto y personal de la planta
	Entrega de facilidades nuevas a operación	<ul style="list-style-type: none"> • Entrega de registros de precomisionamiento y comisionamiento de instalaciones • Planes de mantenimiento en sistema de administración del mantenimiento • Repuestos para inicio de la operación • Capacitación al personal de mantenimiento
Procesos (1) crear y adquirir y (4) renovar / disponer	Evaluación de requerimientos de renovación de activos	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de factibilidad de iniciativas
	Desincorporación de activos como parte de un proyecto de actualización	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de desarrollo del proyecto • Plan de desincorporación de activos
Procesos (2)	Paradas de equipos para	<ul style="list-style-type: none"> • Planeación y programación del

utilizar/operar y (3) mantener	mantenimiento	mantenimiento <ul style="list-style-type: none"> • Planeación operativa • Reunión periódica entre operación y mantenimiento • Permiso de trabajo
	Pruebas operativas durante o posteriores al mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Reunión periódica entre operación y mantenimiento • Permiso de trabajo
	Entrega de equipos a operaciones a mantenimiento y viceversa	<ul style="list-style-type: none"> • Permiso de trabajo • Orden de trabajo
Procesos (2) utilizar/operar y (4) renovar / disponer	Impacto de disposición de equipos sobre la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de riesgos • Manejo del cambio
	Impacto de disposición de equipos sobre la operación	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación conjunta de riesgos • Manejo del cambio • Plan de desincorporación de activos
Procesos (3) mantener y (4) renovar/disponer	Soporte para disposición de activos	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de desincorporación de activos • Acuerdo de soporte a desincorporación

4.4 Sistema 3 – Control

El sistema 3 es el encargado de controlar el día a día operativo de las unidades operacionales (sistema 1). Según lo define Pérez Ríos (2008, p. 41) esta es la “dirección operativa” del sistema, encargada del “aquí y el ahora de la organización”. Este sistema es el encargado de definir los objetivos de cada unidad operacional en conjunto con el sistema 4 y conformidad con el sistema 5 (los cuales se presentarán en los numerales 4.6 y 4.7 respectivamente) y generar sinergias para asegurar su cumplimiento. Es importante generar un balance entre la autoridad ejercida por el sistema 3 y la autonomía de las unidades operativas, de tal forma que el sistema 3 tenga que intervenir lo menos posible en su operación pero que a la vez se cumplan las metas globales del sistema. Según lo presentado por Pérez Ríos (2008), las principales relaciones entre el sistema 3 y el sistema 1 son las siguientes:

- Definición de los objetivos para cada una de las unidades operacionales.

- Transmisión de información e instrucciones a las unidades operacionales.
- Negociación y repartición de los recursos entre las unidades operacionales.
- Establecimiento de mecanismos de rendición de cuentas de las unidades operacionales.

Para el caso específico de la gestión de activos, el sistema 3 debe ser el encargado de monitorear el desempeño individual de cada una de las unidades del sistema 1 que operan en diferentes fases del ciclo de vida de los activos para asegurar que todas como conjunto estén entregando su valor esperado según las restricciones presentes (presupuesto, recursos y tiempo). A continuación se presentan algunas consideraciones respecto al diseño y funciones de control requeridas para un sistema de gestión de activos.

4.4.1 Composición del sistema 3

Para el caso de un sistema de gestión de activos, debe haber una persona o grupo de personas cuyo parte de su rol contenga las funciones del sistema 3. Este ente deberá asegurar un funcionamiento armonioso entre las unidades operativas del sistema de gestión de activos, por lo cual debe tener un conocimiento claro de las funciones y relevancia de cada una de ellas para el cumplimiento de los objetivos del sistema. Para organizaciones que manejan una alta cantidad de activos o cuyos objetivos dependen en gran medida en el desempeño de sus activos físicos, se puede asignar a un Director Operativo del Sistema de Gestión de Activos con las funciones específicas de control e integración requeridas para la viabilidad del sistema. En empresas de menor tamaño estas funciones pueden ser ejercidas por el personal directivo de la organización como parte de su rol. En cualquiera de los dos casos, esto debe ser definido por la dirección corporativa según las necesidades específicas de la organización.

4.4.2 Funciones del sistema 3 en un sistema de gestión de activos

Las funciones principales del ente de control de un sistema de gestión de activos son las siguientes:

- *Definición de las unidades constitutivas del sistema 1:* Una de las funciones principales del sistema 3 es definir las unidades operativas del sistema de gestión de activos requeridas según las necesidades de la organización. Como lo define Pérez Ríos (2008), este sistema debe definir el propósito, objetivos, componentes, límites y asignar los recursos de cada una. Para el caso específico de la gestión de activos, dependiendo de la fase del ciclo de vida puede haber mayor o menor énfasis en alguna de las unidades operativas respecto al resto. Por ejemplo, el foco del sistema para una planta que lleva operando varios años serán principalmente las funciones (2) y (3) (operar y mantener), mientras que una en proceso de diseño y construcción se centrará en la función (1) (crear y adquirir). La constitución de estas unidades puede variar en el tiempo dependiendo de la fase y necesidades propias de la organización, y el sistema 3 debe ser el encargado de gestionar dichos cambios.
- *Definición de indicadores de las unidades constitutivas:* El sistema 3 debe definir indicadores de gestión de activos para medir el cumplimiento de los objetivos de cada unidad operativa y del sistema. Estos indicadores deben ser definidos en conjunto con los directivos de las unidades operativas.
- *Integración entre las diferentes unidades elementales:* Con el soporte del sistema 2 (coordinación), el sistema 3 debe asegurar la integración y sinergias entre las unidades operacionales para que estas funcionen armónicamente. A continuación se presenta un ejemplo de la función integradora del sistema 3. En el numeral 4.2 se

presentaron algunas de las interacciones principales entre las unidades operativas de un sistema de gestión de activos. Se visualizó que una de las interacciones se puede dar cuando un proyecto requiera del soporte del personal de operación de una planta. En este caso, para que haya una adecuada coordinación, el sistema 3 debe asegurar los recursos necesarios (reemplazo temporal de personal) para que se pueda brindar el soporte requerido del personal operativo al proyecto. El sistema 3 también debe definir e implementar los mecanismos de coordinación entre las unidades para que estas funcionen con la mayor autonomía posible (ver numeral 4.3.7).

- *Transmisión de información del metasistema:* El sistema 3 es el encargado de transmitir la información referente a las políticas, estrategias y objetivos de gestión de activos a las diferentes unidades operativas. En el caso de la gestión de activos, esto es de alta relevancia ya al haber conflicto de intereses entre las unidades operativas del sistema 1 (por ejemplo, mantenimiento requiriendo parar un equipo mientras operaciones requiere operarlo para cumplir sus metas) se requiere del conocimiento y aplicación de las políticas por parte de la dirección de cada unidad para llegar a acuerdos que estén alineados con los objetivos del sistema.

4.5 Sistema 3* - Auditoría

No toda la información sobre el desempeño e interacción entre las unidades operativas es recibida por el sistema 3 de su interrelación directa con el sistema 1, o a través de la retroalimentación del sistema 2. Así, para asegurar que las unidades operativas están ejerciendo sus labores según los lineamientos y objetivos del sistema, debe haber mecanismos adicionales que recolecten y procesen información relevante no recibida y mediante la cual se puedan definir acciones correctivas en caso de ser necesarias. La función del sistema 3* es identificar y evaluar

esta información mediante auditorías no rutinarias. En caso de hallarse desviaciones, éstas serán comunicadas al sistema 3 bien sea para que este defina o actualice mecanismos de coordinación o para tomar acción directa sobre las unidades operativas. Estas auditorías pueden ser desarrolladas tanto internamente como por agentes externos.

En el caso de un sistema de gestión de activos, existen múltiples mecanismos para la auditoría del sistema. Estas pueden ser realizadas por personal interno de la empresa, sin embargo el grupo que las lleve a cabo no debe hacer parte de las unidades operativas del sistema para evitar que haya sesgo o conflicto de intereses en su desarrollo. De manera externa, existen múltiples compañías que brindan servicios de auditoría a sistemas de gestión de activos en organizaciones¹.

4.6 Sistema 4 – Adaptación y entorno

En los numerales previos se presentaron los elementos principales relacionados con la operación de un sistema de gestión de activos. Se introdujo la importancia de las funciones relacionadas con los procesos internos del sistema tales como su coordinación, control y auditoría, y sus principales interrelaciones. Todas estas funciones son indispensables más no suficientes para su viabilidad, ya que también es necesario gestionar el entorno del sistema. Esta es la función del sistema 4. Según lo afirma Pérez Ríos (2008, p. 47), “se puede considerar que el tipo de *dirección* que se aborda desde el sistema 4 es el de *carácter estratégico*”. Así, este sistema debe tener el conocimiento de los elementos externos o del entorno que pueden impactar tanto al presente como al futuro del sistema, y solicitar al sistema 3 la implementación de los cambios requeridos para asegurar esta adaptación.

¹ Para mayor información de empresas que brindan servicios de auditoría para un sistema de gestión de activos, ver https://theiam.org/directories/services-and-suppliers?field_sub_category_value=All&term_node_tid_depth=270&tid_1=All&field_sub_summary_value=

Para el caso de un sistema de gestión de activos, la función del sistema 4 puede ser dirigida por la junta de la organización. Los principales aspectos a considerar del entorno presente y futuro se presentan en los numerales 4.6.1 y 4.6.2.

4.6.1 Entorno presente

Los elementos del entorno presente están relacionados con factores externos que pueden afectar el día a día de la operación del sistema. La operación de un sistema de activos puede estar influenciada principalmente por diversos factores externos de tipo regulatorio, social y tecnológico, entre otros. A continuación se presentan algunos de los principales elementos del entorno presente a considerar en un sistema de gestión de activos.

- *Regulaciones y normatividad:* Existen todo tipo de regulaciones y normativas para la operación de activos, las cuales varían según el tipo de industria. Su cumplimiento es indispensable para la viabilidad operativa de un sistema de activos y debe hacer parte de la política de gestión de activos (ver numeral 4.7). Es importante estar en comunicación constante con el entorno para identificar nuevas regulaciones y en caso de requerirlo adherirlas a las políticas operativas del sistema.
- *Factores políticos y sociales:* El entorno social y político puede tener una alta influencia en la operatividad de un sistema de gestión de activos. Este debe ser estudiado en detalle y se deben definir estrategias para prevenir/mitigar el impacto del factor social en la operación del sistema. Los principios definidos para la relación con el entorno social también deben ser incluidos dentro de la política de gestión de activos.
- *Proveedores:* Al igual que el factor social, los proveedores de recursos, materiales, herramientas y servicios también pueden generar una alta afectación en el desempeño

de sistema. Estos deben ser analizados independientemente para identificar su grado de influencia sobre el desempeño del sistema. En el documento *How competitive forces shape strategy*, Michael Porter (1979) presenta la importancia de estudiar el poder de los proveedores y determinados puntos importantes a considerar respecto a esto, el cual puede ser utilizado como referencia.

- *Relación con otros sistemas gerenciales:* Los otros sistemas gerenciales de las organizaciones también hacen parte del entorno del sistema de gestión de activos. Las relaciones con sistemas como el sistema de gestión de calidad y de gestión de riesgos (entre otros) también deben ser gestionadas para asegurar una operación armónica entre ellos.

4.6.2 Entorno futuro

Los elementos del entorno futuro son factores que pueden influenciar la sostenibilidad del sistema a mediano y largo plazo. Estos factores tienen inmerso un grado de *incertidumbre* teniendo en cuenta que no es posible tener total certeza del comportamiento futuro del entorno en el cual está inmerso el sistema. Para esto, el desarrollo de modelos y aplicación de herramientas de simulación puede facilitar la clarificación y evaluación de distintos escenarios que soporten la toma de decisión respecto a cambios en el sistema requeridos para su sostenibilidad. A continuación se presentan algunos de los principales elementos del entorno futuro a considerar en un sistema de gestión de activos.

- *Demanda futura:* La demanda de los productos y/o servicios por las organizaciones puede variar en el tiempo según las necesidades del entorno. Estos cambios en la demanda puede causar que se requiera aumentar o reducir la capacidad ofrecida por los activos instalados. Teniendo en cuenta que el proceso de desarrollo e instalación

de infraestructura puede tomar un tiempo representativo, las decisiones de actualización deben ser tomadas con el suficiente tiempo de antelación para que este proceso pueda ser desarrollado según los plazos requeridos.

- *Variables y tendencias del mercado:* Actualmente hay una gran dinámica económica a nivel global, la cual genera que en intervalos muy cortos de tiempo puedan cambiar drásticamente las necesidades del entorno respecto a los productos y servicios y/o servicios ofrecidos. El sistema 4 debe definir señales que le permitan identificar estos cambios, y solicitar al sistema 3 los cambios pertinentes para asegurar la adaptación del sistema a estas nuevas condiciones manteniendo la identidad del sistema. En el caso de un sistema de gestión de activos, esto puede implicar la instalación de infraestructura nueva o modificación de la actual para el ofrecimiento de nuevos productos y/o servicios.
- *Cambios tecnológicos:* La introducción de la electrónica y los avances tecnológicos ha generado una revolución importante en la industria en los últimos años. Para el caso de un sistema de gestión de activos, este factor se debe considerar desde dos perspectivas: La primera desde una perspectiva de *optimización*, donde se debe monitorear el desarrollo de nuevas tecnologías cuya implementación puede mejorar el desempeño del sistema; y la segunda, desde una perspectiva de *sostenibilidad* del sistema, en la cual se deben identificar ciertos elementos (principalmente electrónicos o de software) que pueden pasar a una fase de obsolescencia y para los cuales en cierta fase puede haber dificultades para la consecución de repuestos o soporte técnico.

- *Deterioro de activos:* El desgaste de los activos también debe ser monitoreado para poder tomar las acciones necesarias para que el sistema de activos continúe cumpliendo con las funciones para las cuales fue diseñado. En este punto es clave definir los principios bajo los cuales se definirá el momento de actualización de los activos instalados. Para esto existen múltiples metodologías, tales como metodología para la toma de decisiones para reemplazo de equipos propuesta por Andrew Jardine y Albert Tsang (2005) y el análisis de costos de ciclo de vida. Estas también pueden ser soportadas mediante el modelamiento de confiabilidad, disponibilidad y mantenibilidad (RAM), mediante el cual puede simular el desempeño esperado de los activos basado en análisis estadístico de la información de falla y mantenimiento.

4.7 Sistema 5 - Identidad

Una vez descritas las principales características de los 4 primeros sistemas del VSM para la gestión de activos, es indispensable contar con un ente que sea la máxima autoridad del sistema. Esta es la función del sistema 5. Tal como lo describe Pérez Ríos (2008, p. 53), “el tipo de dirección que debe ejercer es el de *Dirección Normativa*, a diferencia de la *Dirección Estratégica* propia del sistema 4 y de la *Dirección Operativa* propia del sistema 3”. Dentro de sus principales funciones, el sistema 5 debe definir la identidad y políticas del sistema, al igual que manejar la interrelación entre los sistemas 3 y 4 (es decir, generar un balance entre el presente y el futuro). También está encargado de definir los objetivos estratégicos del sistema, incluyendo la interacción con las partes interesadas (stakeholders) y las metas y corto y largo plazo.

Basado en estos principios, el sistema 5 de un sistema de gestión de activos debe incorporar todos los elementos descritos anteriormente. Teniendo en cuenta que un sistema de

gestión de activos debe hacer parte de una organización, sus objetivos estratégicos deben estar alineados con las metas de organizacionales y apalancar su cumplimiento. Haciendo referencia a los conceptos de cibernética y VSM descritos, el sistema de gestión de activos se puede considerar como una unidad operativa (sistema 1) inmersa en el sistema de siguiente nivel que es la organización. El sistema de gestión de activos debe operar de manera armónica con otros sistemas de la organización para así asegurar un buen desempeño de la sostenibilidad de la organización.

Las principales funciones y elementos que deben contener el sistema 5 de un sistema de gestión de activos son los siguientes:

- *Definir y mantener la identidad del sistema de gestión de activos:* Cada organización debe definir la identidad del sistema de gestión de activos basada en su misión, visión y valores organizacionales. Para definir claramente el propósito del sistema de gestión de activos, es clave definir las fronteras y alcance de las actividades del sistema.
- *Definir la política de gestión de activos:* La política de gestión de activos es uno de los elementos más importantes del sistema, ya que en este se define el marco filosófico y normativo sobre el cual la organización gestionará sus activos. La política debe contener, entre otros, el propósito, objetivos, relaciones con otros sistemas de la organización, marco normativo y estrategia de gestión de activos. La política también presenta cómo el sistema de gestión de activos apalanca el cumplimiento de las metas de la organización. En síntesis, la política resume todos los principios sobre la cual la organización gestiona sus activos. Esta debe ser divulgada y entendida por todas áreas funcionales del sistema.

- *Definir los objetivos estratégicos de la gestión de activos:* El sistema 5 también tiene la función de definir los objetivos estratégicos de la gestión de activos. Esta actividad consiste en traducir las metas organizacionales a objetivos de gestión de activos, lo cual permite definir cómo los activos apalancarán el cumplimiento de la misión de la organización. Estos objetivos estratégicos deben ser la base para la definición de los planes de gestión de activos (por parte del sistema 3).
- *Generar un balance entre el presente y el futuro del sistema de gestión de activos:* La relación entre el desempeño presente (a cargo del sistema 3) y del futuro (a cargo del sistema 4) puede generar conflicto al momento de tomar decisiones respecto al sistema de gestión de activos. Por ejemplo, la decisión de reemplazar un equipo que se encuentra en proceso de obsolescencia puede generar paradas en la operación, lo cual afectará temporalmente el día a día operativo y potencialmente afectando el cumplimiento de sus metas. El sistema 5 es el encargado de dar manejo a este tipo de situaciones donde no haya acuerdo entre los sistemas 3 y 4.
- *Identificar y gestionar a las partes interesadas (stakeholders) del sistema de gestión de activos:* Basado en el propósito e identidad del sistema de gestión de activos, el sistema 5 debe identificar todas las partes interesadas (stakeholders) y su relación con el sistema. Esto debe incluir tanto stakeholders dentro de la organización (empleados, directivos) como los externos (clientes, comunidades, entes gubernamentales, entre otros). También es función del sistema 5 definir una estrategia para su gestión.

4.8 Relación del VSM conceptual con estándar ISO 5000

En el numeral 2.3.2 se presentaron los principales componentes del estándar ISO 55000 para la gestión de activos. La norma ISO 55001 (2014b) divide los requerimientos de un sistema

de gestión de activos en los siguientes subtemas: Contexto de la organización, liderazgo, planeación, soporte, operación, evaluación del desempeño y mejoramiento. Teniendo en cuenta la relevancia actual del estándar en la industria a nivel mundial, a continuación se enmarcarán estos subtemas dentro del VSM conceptual desarrollado, con el fin de proporcionar un mayor entendimiento de su importancia y de cómo estos requerimientos engranan dentro de un sistema de gestión de activos.

4.8.1 Contexto de la organización

Los requerimientos asociados al contexto de la organización están referidos principalmente a la formalización de un sistema de gestión de activos dentro de las organizaciones y a la gestión de su entorno tanto interno como externo. En este numeral del estándar se incluyen cuatro elementos principales a considerar: La organización y su contexto, las necesidades y expectativas de las partes interesadas (stakeholders), determinación del alcance del sistema de gestión de activos y la formalización del sistema. Estos elementos se relacionan principalmente a la parte estratégica de la gestión de activos y su composición dentro de una organización, por lo cual se pueden asociar principalmente a las actividades de los sistemas 4 (adaptación) y 5 (identidad). Dentro de las responsabilidades del sistema 4 (con el soporte del sistema 5) se encontrarían principalmente los requerimientos presentados en los numerales 4.1 (ISO/IEC, 2014b, p. 1) y 4.2 (ISO/IEC, 2014b, p. 1) del estándar ISO 55001, los cuales consideran lo referente a la organización y su contexto y a las necesidades y expectativas de las partes interesadas (stakeholders) respectivamente. El sistema 5 estaría encargado de la definición del alcance y propósito del sistema alineado con los objetivos de la organización y de su formalización, lo cual corresponde a los requerimientos presentados en los numerales 4.3 (ISO/IEC, 2014b, p. 2) y 4.4 (ISO/IEC, 2014b, p. 2) respectivamente.

4.8.2 Liderazgo

Esta serie de requerimientos se enfocan en el rol y compromiso que debe tener la alta gerencia de la organización dentro del sistema de gestión de activos. Dentro de sus elementos se encuentran el liderazgo y compromiso con el sistema, la definición de la política y la definición de roles, responsabilidades y autoridades del sistema. Los requerimientos presentados en esta sección de la norma son responsabilidad principalmente del sistema 5 (identidad) al considerar la importancia del involucramiento y compromiso de los altos directivos de la organización con el sistema, el cual debe ser plasmado y reflejado en la política de gestión de activos. Como parte de los requerimientos asociados con la definición de roles y responsabilidades del sistema (ISO/IEC, 2014b, p. 3) se encuentra la definición y actualización de planes de gestión de activos. Estos planes dictan el día a día operativo del sistema, por lo cual su definición debe ser responsabilidad del sistema 3 (dirección operativa) con el soporte de los sistemas 4 y 5. El detalle de los requerimientos relacionados con la planeación de las actividades del sistema se presenta en el siguiente numeral.

4.8.3 Planeación

Esta sección de la norma se centra en la definición de planes y objetivos para la gestión de activos. En esta se hace énfasis en la relevancia de contar con planes para la administración de los riesgos asociados a la operación del sistema, y a la definición de objetivos de gestión de activos y planes para alcanzarlos. Las responsabilidades de estas actividades están repartidas principalmente entre los sistemas 5 (identidad), 3 (dirección operativa), y las direcciones de las unidades operativas del sistema 1. El sistema 5 debe definir los objetivos globales de la gestión de activos, los cuales deben estar alineados con los objetivos organizacionales. Estos deben ser presentados y comunicados al encargado de la dirección operativa (sistema 3), el cual debe

convertir estos objetivos globales en objetivos específicos y definir los planes para cada unidad operativa. Esto último se debe realizar en conjunto con la dirección de cada unidad operativa. La definición de estos planes también hace parte de las actividades de coordinación (sistema 2) del sistema.

4.8.4 Soporte

Esta parte hace referencia a los elementos de soporte que son requeridos para un funcionamiento óptimo de un sistema de gestión de activos. Entre los ítems de soporte presentados en el estándar se encuentran requerimientos respecto a provisión de recursos para la gestión de activos, aseguramiento de competencias del personal, conciencia y conocimiento de los componentes del sistema de gestión de activos, bases de comunicación, requerimientos de información y de su documentación. Todos estos elementos son básicos para el funcionamiento de un sistema, y en estos están involucrados los cinco sistemas especificados por el modelo de sistema viable. Es responsabilidad de los entes directivos (sistemas 5, 4, 3 y dirección de las unidades operativas del sistema 1) definir y verificar las competencias del personal a cargo de la implementación y ejecución de las actividades de un sistema de gestión de activos. También se debe asegurar una comunicación fluida entre todos los componentes del sistema según se presentó en el VSM conceptual. La divulgación de los elementos clave de la gestión de activos tales como la política y los objetivos estratégicos es responsabilidad principalmente del sistema 5 (identidad), sin embargo este se puede soportar en el sistema 3 (dirección operativa) para la divulgación a las unidades operativas. Finalmente, la información y las herramientas informáticas existentes para su documentación tales como los ERP (*Enterprise Resource Planning*) permiten atenuar la variedad existente en el entorno al filtrar y centralizar la información que es relevante para la operatividad y desempeño del sistema, por lo cual son un

factor clave para su sostenibilidad. Las herramientas informáticas de soporte se deben seleccionar según la naturaleza (propósito) y tamaño de la organización.

4.8.5 Operación

Esta sección se centra en la ejecución, control y aseguramiento de las actividades propias del sistema de gestión de activos. Está dividida en requerimientos acerca de la planeación y control operacional, manejo del cambio y políticas de subcontratación. El aseguramiento de la planeación y control de las actividades del día a día del sistema son responsabilidad del sistema 3 (dirección operativa), el cual con el soporte del sistema 2 (coordinación) y 3* (auditoría) debe brindar lineamientos a las unidades operativas (sistema 1), verificar tanto su funcionamiento tanto individual como conjunto, y definir acciones correctivas en caso de ser necesario. El manejo del cambio debe ser manejado como un proceso transversal, ya que aplica para todos los procesos operativos del sistema. Las políticas de subcontratación deben ser definidas por el sistema 5, las cuales deben ser utilizadas como base para implementación por parte del sistema 3 y por la dirección de las unidades operativas según sea requerido.

4.8.6 Evaluación del desempeño

Esta parte consiste en los procesos que se deben implementar para evaluar el desempeño de los activos y del sistema de gestión de activos. El estándar divide estos requerimientos en tres: (1) Monitoreo, medición, análisis y evaluación, (2) auditorías internas y (3) revisión gerencial. El monitoreo, medición, análisis y evaluación debe ser un proceso rutinario y continuo mediante el cual se monitorea el día a día operativo del sistema. Para esto, se debe definir indicadores que permitan medir su desempeño. La definición de estos indicadores y su seguimiento es responsabilidad del sistema 5 para el caso de los objetivos estratégicos de la gestión de activos, y del sistema 3 para el caso del funcionamiento de las unidades operativas. Tal como se presentó

en el numeral 4.5, el sistema 3* es el encargado de auditar el funcionamiento del sistema, y mediante esto el sistema 3 recibe información referente al desempeño de las unidades operativas que no es posible evidenciar con el monitoreo rutinario. Finalmente, el proceso de revisión gerencial integra el monitoreo rutinario y el resultado de las auditorias para identificar oportunidades de mejora o posibles acciones correctivas que requiera el sistema. Estas revisiones deben ser realizadas en conjunto por los sistemas 3, 4 y 5.

4.8.7 Mejoramiento

La última sección de requerimientos del estándar está asociada al mejoramiento del sistema de gestión de activos, visto desde tres perspectivas: Acciones correctivas y no conformidades, acciones preventivas y mejoramiento continuo. Las acciones correctivas y no conformidades deben aparecer como resultado del monitoreo continuo y auditoría del sistema, y es responsabilidad de los sistemas 5 y 3 evaluarlas y definir las según sea requerido. Los procesos para identificación de posibles fallas de manera proactiva deben ser definidos en conjunto entre la dirección de las unidades operativas y el sistema 3, de tal forma que estas fallas potenciales se puedan prevenir principalmente mediante la definición de mecanismos de coordinación (en conjunto con el sistema 2). Finalmente, el mejoramiento continuo debe ser resultado de las acciones identificadas mediante los mecanismos presentados anteriormente, y en conjunto con las acciones de adaptación definidas por el sistema 4.

5 Estudio de caso

Con el fin poner a prueba el VSM conceptual para la gestión de activos y su aplicabilidad en organizaciones reales, este fue aplicado para el diagnóstico y diseño del sistema de gestión de activos de una empresa cuya misión depende altamente en el desempeño de sus activos. Para esto se seleccionó una empresa multinacional del sector energético, la cual brinda servicios de generación de energía para diferentes tipos de industria. Por acuerdo de confidencialidad sobre la información brindada para este estudio investigativo y los resultados del estudio de caso, su nombre no es presentado. Sin embargo a continuación se presentan algunas de las características principales de la compañía:

- Su propósito principal es brindar soluciones de energía para diferentes sectores industriales, incluyendo la definición e instalación de equipos de generación, puesta en marcha, operación y mantenimiento y desincorporación según las necesidades específicas de cada cliente.
- Dentro de sus servicios, se incluye el diseño, ingeniería, procura, construcción, instalación, operación y mantenimiento de instalaciones de generación de energía basada en las necesidades de sus clientes.
- Cuenta con más de 400 módulos de generación de energía a nivel mundial.
- Tiene experiencia en más de 30 países, entre los cuales se encuentra Colombia.
- Experiencia en sectores tales como minería, petróleo y gas, utilitarios y gobierno.
- Cuenta con más de 1000 empleados a nivel mundial.
- Fue fundada en 1998, y su sede principal se encuentra en Estados Unidos.

La empresa cuenta con las características adecuadas para su diagnóstico mediante el VSM conceptual de la gestión de activos considerando:

- Es una compañía cuyas metas y objetivos dependen principalmente en el desempeño de su infraestructura física.
- El personal involucrado en la gestión de activos tiene influencia en las decisiones sobre las diferentes etapas del ciclo de vida, incluyendo el diseño, operación y mantenimiento, y desincorporación de los activos.
- Cuenta con una estructura organizacional enfocada hacia la gestión de sus activos físicos.
- Considerando las características y cantidad de activos que maneja, los resultados y hallazgos del diagnóstico pueden ser tomados como referencia por compañías de industrias afines, tales como la minería y petróleo y gas.

El estudio fue realizado para la seccional de la empresa ubicada en Colombia, y fue desarrollado mediante la revisión de documentación de la organización y entrevistas semi-estructuradas a personal de la organización relacionado con la gestión de activos. Los aspectos evaluados se presentan en el Anexo. En los numerales 5.1 a 5.6 se presenta el detalle de los resultados del diagnóstico, en el cual se validó la existencia y calidad de cada uno de los cinco sistemas requeridos para la viabilidad del sistema de gestión de activos según la teoría de la cibernética, empezando con la revisión de las unidades operativas del sistema 1 y finalizando con el sistema 5 (identidad), y en el 5.7 las conclusiones más relevantes. Finalmente, en el numeral 5.8 se definen las recomendaciones para el diseño y constitución del sistema de gestión de activos basadas en los hallazgos de la evaluación.

5.1 Diagnóstico del Sistema 1 – Parte operativa

El Sistema 1 está compuesto por todas las operaciones que ejecutan las acciones que justifican la existencia del sistema. Para el caso de la organización en estudio, las unidades operativas que componen actualmente la gestión de activos son las siguientes:

- *Proyectos*: El grupo de proyectos está encargado del desarrollo e instalación de nuevas facilidades de generación según las necesidades de los clientes. El alcance de las actividades desarrolladas por esta área depende de lo contratado por parte de los clientes, y puede ir desde la definición de la ingeniería hasta contratos de ingeniería, procura y construcción (EPC). En relación con el VSM conceptual desarrollado, esta área cumple las funciones del Sistema 1.a. (Crear y adquirir). Actualmente, la dirección de proyectos es independiente de la de operación y mantenimiento, y su director responde directamente al presidente de la compañía.
- *Operación y mantenimiento (O&M)*: El área de O&M está encargada de la operación y mantenimiento de las facilidades de generación para las cuales ha sido contratada. Esta área cuenta con procesos verticales y transversales, los cuales se presentan en la Figura 20.

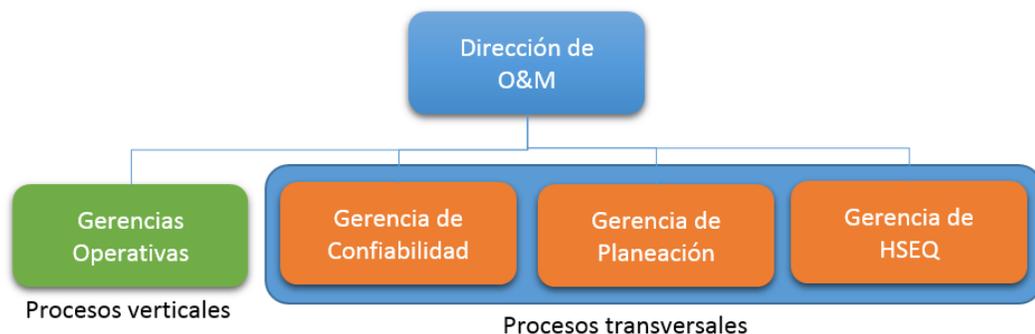


Figura 20. Organigrama Área de Operación y Mantenimiento

Los procesos verticales corresponden a las estructuras generadas para gestionar los distintos contratos a cargo de la organización, y cada una cuenta a su vez con diferentes roles que incluyen tanto directivos como operativos. Un ejemplo de las posiciones que componen la organización vertical de un contrato se ilustra en la Figura 21. En este caso, el gerente de operaciones responde directamente al director de operación y mantenimiento.

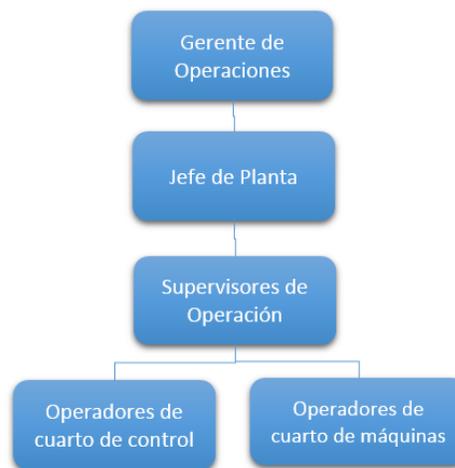


Figura 21. Organigrama típico de contratos de operación de plantas de generación

Las gerencias transversales son áreas que brindan soporte a las gerencias operativas, y a su vez evalúan integralmente su desempeño. La *gerencia de confiabilidad* está encargada de evaluar el desempeño de los activos, liderar los análisis de falla y de coordinar el grupo de monitoreo por condición de equipos. La función de la *gerencia de planeación* es liderar y coordinar las actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo en los diferentes contratos. Finalmente la *gerencia de gestión de seguridad, salud, medio ambiente y calidad (HSEQ)* tiene como fin brindar los lineamientos en estos aspectos y asegurar su implementación en las diferentes gerencias operativas.

Con respecto al VSM conceptual, el organigrama actual de operación y mantenimiento se asemeja en gran medida a los sistemas 1.b. (utilizar / operar) y 1.c. (mantener). Sin embargo, no se identificaron políticas claras para la gestión de riesgos asociados a la operación. Adicionalmente, no se cuentan con roles específicos relacionados con las funciones de renovar /disponer (sistema 1.d. en el VSM conceptual), lo cual ratifica que el énfasis principal de la organización es el día a día operativo.

5.2 Diagnóstico del Sistema 2 – Coordinación

La función del Sistema 2 es asegurar una operación fluida y armónica entre los procesos operativos del sistema de gestión de activos. Esto se debe realizar mediante la definición e implementación de mecanismos de coordinación que permitan que se cumplan tanto los objetivos individuales como grupales de las unidades operativas que constituyen el sistema. En el caso de la organización en estudio se cuentan con procesos verticales tales como la operación y mantenimiento de los activos de cada uno de las plantas a cargo de la empresa, y procesos transversales tales como *confiabilidad, planeación y gestión de seguridad, salud, medio ambiente y calidad (HSEQ)*. En este caso no hay interferencias importantes entre los procesos verticales, ya que cada uno de estos opera de manera independiente y tiene una estructura propia. Sin embargo, hay ciertos procesos compartidos entre los distintos contratos, los cuales son dirigidos y soportados por las áreas transversales.

Uno de los procesos compartidos entre los contratos es el *monitoreo de condición*, con el cual se realizan técnicas tales como termografía y análisis de vibraciones (entre otras) para identificar fallas potenciales en los equipos. El grupo de monitoreo de condición está centralizado y es liderado por la gerencia de confiabilidad. Las actividades del grupo son

acordadas entre confiabilidad, planeación y cada uno de los contratos según los planes de mantenimiento y las necesidades puntuales de cada planta.

La coordinación de las actividades de mantenimiento de los diferentes contratos también es realizada de manera centralizada y liderada por el grupo de *planeación*. Este grupo se encarga de liderar la definición, implementación y ejecución de los planes de mantenimiento en cada uno de los contratos. Como herramienta de soporte para esto, la organización cuenta con un sistema computarizado de administración de mantenimiento (CMMS²). En general, el CMMS es un software que soporta de manera integral la coordinación y el control del mantenimiento de los activos. En este se definen, planean, programan y registran las actividades de mantenimiento tanto preventivas como correctivas. Esta información registrada es posteriormente utilizada por el área de confiabilidad para análisis y definición de acciones de mejoramiento en caso de ser requeridas.

Considerando que el área de proyectos se enfoca en instalaciones nuevas y no tiene inferencia sobre las modificaciones menores que se requieren en las plantas existentes, no hay interferencias importantes con las áreas operativas. El grupo de comisionamiento actúa como elemento tanto de control como de coordinación entre proyectos y operación para la puesta en marcha de nuevas instalaciones.

5.3 Diagnóstico del Sistema 3 – Control

La función del sistema 3 es controlar el funcionamiento de las unidades operacionales (sistema 1) para así asegurar el cumplimiento de sus objetivos. Dentro de los roles principales del sistema 3 se encuentran la definición de las unidades constitutivas del sistema 1 y de sus indicadores de desempeño, integración entre las diferentes unidades elementales y la transmisión

² *Computerized Maintenance Management System*, por sus siglas en inglés.

de la información del metasistema a las unidades operacionales. Durante el desarrollo del diagnóstico se revisó la aplicación de cada uno de estos roles del sistema 3, con el fin de verificar su existencia y calidad dentro de las actividades asociadas a la gestión de activos en la organización. Los principales hallazgos se presentan a continuación.

- *Unidades constitutivas del sistema 1:* La estructura de las unidades operativas para la gestión de activos está compuesta principalmente por procesos verticales y transversales. Los procesos verticales corresponden a las estructuras generadas para gestionar los distintos contratos que maneja la organización, y cada una cuenta a su vez con diferentes roles que incluyen tanto directivos como operativos. Los procesos transversales tales como *confiabilidad, planeación, y gestión de seguridad, salud, medio ambiente y calidad (HSEQ)*. son áreas que brindan soporte a los diferentes contratos de la organización, y a su vez evalúan integralmente el desempeño de los contratos. Se evidenció que hay un alto involucramiento de los entes de control en el día a día de las operaciones de los distintos contratos, lo cual genera que se dé menos prioridad a otros aspectos tales como la planeación y estrategia a largo plazo.
- *Indicadores de desempeño de las unidades operacionales:* Actualmente la organización cuenta con indicadores claves de desempeño relacionados con la gestión de activos tales como *el factor de disponibilidad equivalente*, el cual tiene en cuenta distintos criterios relacionados con la operación de los equipos tales como su disponibilidad y tiempo de operación con derrateo, para así medir y hacer seguimiento a su desempeño global. Este indicador se mide diariamente para los equipos de los distintos contratos de la compañía, y son analizados por los grupos de soporte transversales (confiabilidad y planeación operativa) para tomar acciones en

caso de ser requerido. Adicionalmente, el área de planeación realiza seguimiento a indicadores principalmente de mantenimiento (costo planeado vs. No planeado, órdenes de mantenimiento abiertas, cumplimiento al plan de mantenimiento, entre otros), y también se miden y analizan indicadores operacionales en las áreas (consumos, energía producida, entre otros). Actualmente está en desarrollo un proyecto de la empresa que busca definir y estandarizar indicadores a nivel mundial.

- *Integración entre las diferentes unidades elementales:* Se realizan reuniones periódicas entre las áreas, sin embargo no hay seguimiento formal a las acciones definidas y por tal razón muchas quedan sin concluir. Tampoco hay estrategias efectivas de comunicación entre las plantas y el personal que se encuentra en Bogotá, lo cual limita el soporte que pueden brindar las áreas transversales. El área de proyectos es totalmente independiente respecto a las áreas de operación y mantenimiento, principalmente debido a que proyectos se enfoca en instalaciones nuevas y no tiene inferencia sobre las modificaciones menores que se requieren en las plantas existentes. Adicionalmente, el comisionamiento de los equipos nuevos (que consiste en la configuración y pruebas previas a la puesta en marcha de la infraestructura) está a cargo de operación y mantenimiento, lo cual facilita el proceso de puesta en marcha al involucrar al personal operativo antes del arranque.
- *Transmisión de la información del metasistema a las unidades operacionales:* Se evidenció que actualmente no se cuentan con mecanismos formales para la transmisión de la información estratégica de la gestión de activos a las áreas operativas, por lo cual su conocimiento y manejo es muy limitado.

5.4 Diagnóstico del Sistema 3* – Auditoría

La función del Sistema 3* (Auditoría) es identificar y evaluar la información que no es recibida de manera rutinaria por el sistema 3. Actualmente se realizan auditorías internas dos veces al año por auditores certificados para verificación de los sistemas de calidad (ISO 9001), gestión ambiental (ISO 14001) y seguridad y salud ocupacional (OHSAS 18001). Las acciones resultantes de las auditorías son regularmente implementadas, y se les da una alta prioridad considerando que pueden impactar la recertificación de la empresa en estas normativas. No hay auditorías específicas para la gestión de activos, sin embargo las que se realizan tienen dentro de su alcance evaluar diferentes aspectos relacionados con este tema.

5.5 Diagnóstico del Sistema 4 – Adaptación

El sistema 4 es el encargado de gestionar tanto el entorno presente como el futuro del sistema u organización. Es un elemento indispensable en su composición, ya que mediante este se asegura que éste está en capacidad de adaptarse a los constantes cambios que se presentan en el entorno y ser sostenible a mediano y largo plazo. Mediante el diagnóstico se verificó su existencia dentro de la gestión de activos de la organización, y la calidad de su implementación. Se evidenció que ciertos elementos del entorno sí se vienen gestionando adecuadamente, principalmente los relacionados con el entorno presente. Para el caso del entorno futuro, a pesar de que se tienen identificadas ciertas actividades estratégicas para la gestión de activos, se cuenta con una aplicación muy limitada de modelos para su consideración y evaluación. Esto reafirma que hay un mayor enfoque en el aseguramiento del día a día operativo de la organización.

Para el caso de la gestión de activos, el rol del sistema 4 está actualmente cubierto por varias posiciones dentro de la organización. Está liderada por el *Director de O&M* quien a su vez está encargado de la globalidad de la gestión de activos. Teniendo en cuenta la complejidad de

las distintas actividades asociadas a esto, se cuenta con diferentes roles que tienen una función directiva y estratégica, entre los cuales se encuentran: *Gerente de Confiabilidad*, *Gerente de Planeación Operativa*, *Gerente de Operación y Mantenimiento*, y *Gerente de seguridad, salud, medio ambiente y calidad (HSEQ)*. Como parte de su rol, las personas asociadas a cada uno de estos cargos deben gestionar el entorno asociado a su área de especialidad, y en conjunto con el *Director de O&M* evaluar y concertar acciones para su implementación.



Figura 22. Organigrama parte directiva O&M

Actualmente no hay evidencia de la aplicación de modelos que soporten la toma de decisiones en cada una de estas áreas. La revisión detallada de las actividades que se vienen desarrollando asociadas al entorno presente y futuro de la gestión de activos se presenta a continuación.

- *Entorno presente:*
 - *Regulaciones y normatividad:* Actualmente se cumplen con las regulaciones relacionadas con la operación de la infraestructura y la gestión de proyectos.
 - *Factores políticos y sociales:* En el caso de la operación de plantas, las comunidades son gestionadas según las normas de cada locación. Los

proyectos incluyen la gestión de los factores sociales dentro del plan de gestión de las partes interesadas (stakeholders).

- *Proveedores:* Aunque hay acuerdos puntuales con ciertos proveedores para el reaprovisionamiento de partes, no hay una estrategia global para su gestión. La empresa cuenta internamente con la venta y provisión de algunos de los repuestos de los equipos que opera, por lo cual en este aspecto se cuenta con facilidades para su adquisición en caso de ser requeridos.
- *Relación con otros sistemas gerenciales:* La gestión de activos va alineada con los requerimientos del sistema de calidad de la organización. No se identificaron inconvenientes relevantes en el relacionamiento con las demás áreas organizacionales.
- *Entorno futuro:* Con respecto a los principales elementos del futuro tales como la demanda esperada, las variables y tendencias del mercado, cambios tecnológicos y el deterioro de los activos, la aplicación de modelos para su valoración es muy limitada. Se aplican modelos financieros al momento de desarrollar propuestas para evaluar factores como la fluctuación de la tasa de cambio, sin embargo no hay evidencia de su implementación para la revisión del potencial impacto futuro del resto de factores. Esto reitera el hecho de que hay un mayor énfasis en el día a día por parte de los directivos en la organización.

5.6 Diagnóstico del Sistema 5 – Identidad

El sistema 5 representa la máxima autoridad del sistema. Dentro de sus principales funciones se encuentran la definición de la identidad, políticas y objetivos estratégicos del

sistema, gestionar las partes interesadas (stakeholders) y manejar las interrelaciones entre los sistemas 3 (control) y 4 (adaptación). Para el caso del diagnóstico organizacional, se verificó la existencia de estos elementos, la calidad de su implementación y su conocimiento al interior de la organización.

Como hallazgos principales relacionados al sistema 5, se identificó que a pesar de que la organización cuenta con el desarrollo y aplicación de actividades relacionadas con la gestión de su infraestructura, éstas no están enmarcadas formalmente dentro de un sistema de gestión de activos. La empresa no ha definido una identidad o propósito específico para la gestión de activos, ni tiene una política documentada. Se cuenta con un conjunto de elementos estratégicos a mediano y largo plazo, sin embargo a la fecha estos no están traducidos en objetivos medibles ni en planes específicos para su ejecución. Esta reducida formalización de la estrategia refleja también que a pesar de que se están haciendo esfuerzos definir planes a largo plazo, hay un mayor enfoque en asegurar el día a día operativo, por lo cual no hay un balance claro entre el presente y futuro de la administración de sus activos.

El rol del sistema 5 está actualmente cubierto principalmente por el *Director de Operación y Mantenimiento (O&M)*, quien responde directamente a la Vicepresidencia Operativa de la compañía.

A continuación se presentan los resultados de cada uno de los aspectos de mayor relevancia para el sistema 5.

- *Identidad del sistema de gestión de activos:* Actualmente la organización no cuenta con una identidad o propósito documentado sobre la gestión de activos. Se tiene definida una misión y visión por parte del área corporativa de la empresa a nivel mundial, sin embargo estas no han sido convertidas en una declaración específica

para la gestión de activos en su filial en Colombia. Es importante aclarar que aunque el propósito de la gestión de activos no ha sido formalmente definido, se evidenció que la organización cuenta con procesos para su administración debidamente implementados, y hay una conciencia por parte de los directivos de la relevancia de la implementación del sistema en la organización.

- *Política de gestión de activos:* Se evidenció que la empresa no cuenta con una política de gestión de activos documentada. Se tienen identificados ciertos objetivos claves y el marco normativo sobre el cual se deben gestionar los activos, sin embargo estos no están enmarcados en una política propia del sistema.
- *Objetivos estratégicos de la gestión de activos:* Durante el 2015 se trabajó en el desarrollo de un plan estratégico para la filial de la empresa en Colombia. Se identificaron de manera global objetivos y actividades claves para los diferentes focos de negocio, sin embargo aún está pendiente concretarlas en planes específicos con recursos, fechas y alcance. Adicionalmente, estos objetivos abarcan toda la organización, por lo cual se debe hacer énfasis en identificar los propios de la gestión de activos y definir los responsables para su desarrollo. También se evidenció que estas acciones estratégicas no son comunicadas ni conocidas en detalle por las direcciones medias y áreas operativas de la organización.
- *Balance entre el presente y el futuro del sistema de gestión de activos:* Se evidenció que se cuenta con una organización robusta para el día a día de las operaciones de la organización, sin embargo hay menor énfasis en la gestión del futuro de la gestión de activos. Esto está reflejado en la no formalidad de los planes estratégicos, y en la poca

aplicación de herramientas de modelamiento para analizar posibles escenarios futuros de la empresa y su entorno.

- *Identificar y gestionar a las partes interesadas (stakeholders) del sistema de gestión de activos:* Se identificó que a pesar de que en los diferentes procesos relacionados con la gestión de activos hay un manejo de la interacción con las partes interesadas (clientes principalmente), no hay documentación formal sobre su gestión. La gestión de stakeholders en la empresa está liderada principalmente por el área de proyectos.

5.7 Conclusiones del diagnóstico organizacional

Los hallazgos y conclusiones principales en relación con el diagnóstico de la gestión de activos de la organización en estudio fueron los siguientes:

- A pesar de que la organización aplica varios procesos para la gestión de activos, actualmente no cuenta con un sistema de gestión de activos formalmente implementando. No se tiene ni una identidad ni una política documentada, y aunque se tienen identificadas unas actividades estratégicas éstas no han sido reflejadas en objetivos o planes específicos para su desarrollo. La definición de la identidad y política para la gestión de activos son la actividades de mayor prioridad para el inicio de la implementación del sistema, ya que estos brindan el marco sobre el cual se regirán sus objetivos, estrategias, planes y demás actividades.
- La organización ha definido unas actividades estratégicas claves para su crecimiento y sostenimiento a mediano y largo plazo, sin embargo a la fecha estas no han sido convertidas en planes con alcances específicos. Estas actividades estratégicas son manejadas por la alta gerencia (presidencia de la compañía), y no se involucra en muy alta medida a las direcciones medias y operativas en su implementación. Esto genera

que los directivos medios tengan un enfoque al día a día operativo, dando menor relevancia a la definición en implementación de acciones enfocadas en la sostenibilidad y adaptabilidad de la empresa a su entorno cambiante. No se evidenció la aplicación de modelos que permitan evaluar diferentes escenarios futuros de las variables que impactan la gestión de activos de la compañía.

- A la fecha no se cuenta con canales de comunicación efectivos entre los diferentes niveles de las áreas relacionadas con la gestión de activos. A pesar que se realizan reuniones periódicas entre los diferentes roles de la organización, no hay disciplina en la definición y seguimiento a las acciones resultantes. Adicionalmente hay poco involucramiento y conocimiento de las áreas operativas de las actividades estratégicas de la organización.
- Aunque la comunicación entre el personal operativo y las áreas transversales es limitada, hay una buena coordinación entre las actividades de los distintos contratos de operación y mantenimiento que están a cargo de la empresa. No se evidenciaron inconvenientes entre las diferentes unidades operativas de la gestión de activos, lo cual está reforzado por el hecho de que gran parte de la organización está enfocada en el funcionamiento presente de la empresa.
- La composición de las unidades operativas para la gestión de activos se centra en los procesos de *proyectos* y *O&M (operación y mantenimiento)*. Ambos procesos cuentan con una organización constituida y subprocesos implementados. No se cuenta formalmente con procesos para la *renovación / desincorporación* de activos, por lo cual parte de las actividades relacionadas con estos aspectos son realizadas por la organización existente y otras no vienen siendo gestionadas actualmente. Desde el

punto de vista operativo no se evidenció la existencia de un proceso de gestión de riesgos, lo cual puede repercutir en eventos con consecuencias de alto impacto para la organización.

5.8 Recomendaciones para el diseño del sistema de gestión de activos

Tomando como base el VSM conceptual diseñado se realizó el diagnóstico de la gestión de activos de la organización. La segunda fase del estudio de caso está compuesta del diseño del sistema según los hallazgos de la evaluación. Como se presentó en los numerales anteriores, la empresa cuenta con una estructura organizacional y procesos para la gestión de activos, sin embargo carece de ciertos elementos requeridos para la formalización del sistema de gestión de activos. En la tabla a continuación se listan una serie de recomendaciones de alta prioridad para la constitución del sistema, y se proponen los responsables según el foco de cada una.

Tabla 3. Recomendaciones para diseño del sistema de gestión de activos

Recomendación	Responsable
Establecer la identidad o propósito de la gestión de activos	Presidente de la compañía
Determinar los objetivos de la gestión de activos	Presidente de la compañía
Documentar la política de gestión de activos	Presidente de la compañía
Definir los planes de gestión de activos	Directores de O&M y proyectos
Establecer canales de comunicación formales para aspectos relacionados con las estrategias y políticas de gestión de activos	Directores de O&M y proyectos
Desarrollar una política y plan de gestión de las partes interesadas (stakeholders) de la gestión de activos	Presidente de la compañía
Identificar herramientas y procesos de modelamiento de los aspectos del entorno futuro relevantes a la gestión de activos de la compañía	Gerentes (operativos, confiabilidad, planeación, HSE)

Recomendación	Responsable
Incluir dentro de los roles y responsabilidades de los directores de O&M y proyectos, aspectos relacionados con el entorno futuro y sostenibilidad a largo plazo del sistema	Presidente de la compañía
Definir un protocolo para el desarrollo y seguimiento a acciones resultantes de reuniones	Directores de O&M y proyectos
Establecer proceso de gestión de riesgos operativos	Director de O&M
Establecer proceso de renovación y disposición de activos	Presidente de la compañía

6 Conclusiones y recomendaciones

Este estudio investigativo se desarrolló con el fin de profundizar sobre el concepto de gestión de activos desde una perspectiva de sistemas. Una óptima gestión de los activos es determinante para el cumplimiento de los objetivos estratégicos de las organizaciones que tienen una alta dependencia en su infraestructura física, razón por la cual en 2014 se publicó el estándar ISO 55000 con los requerimientos para su implementación. Sin embargo, su aplicación ha sido muy limitada ya que esta no presenta una definición clara del concepto de sistema de gestión de activos ni brinda guías específicas para su implementación.

Como fase inicial, se evaluaron los estudios y modelos que se han desarrollado en torno a la gestión de activos desde una perspectiva sistémica. En este aspecto se concluye que a pesar de que se han desarrollado modelos relacionados al tema de estudio, estos son reducidos y cuentan con limitaciones que restringen su aplicación en las organizaciones. También se concluye que es determinante para la disciplina que se realicen estudios investigativos que pongan en práctica los modelos existentes, para así obtener retroalimentación real de las fortalezas y dificultades de su aplicación en diferentes tipos y tamaños de organizaciones. Finalmente, en esta fase también se corroboró que la limitada implementación de sistemas de gestión de activos en la industria está asociada directamente a las pocas guías y procedimientos que existen para este fin, siendo así preponderante el desarrollo de modelos que brinden herramientas que faciliten su entendimiento y aplicación.

Mediante la revisión de la literatura se corroboró la necesidad de profundizar en el estudio del concepto de gestión de activos desde una perspectiva del pensamiento sistémico. Para esto se seleccionó la cibernética de Stafford Beer como base teórica y metodológica, y se diseñó un modelo de sistema viable (VSM) conceptual para la gestión de activos. En este aspecto, se

concluye que el VSM conceptual complementa los modelos existentes ya que en este se incluyen factores fundamentales que no son considerados en los modelos evaluados en la literatura. Entre los principales aportes del VSM conceptual se encuentran la diferenciación de los procesos operativos de la gestión de activos de las funciones directivas, de coordinación y control y las interacciones y mecanismos de coordinación y comunicación entre los componentes del sistema. Mediante el VSM también se recalca la importancia de contar con un ente que se encargue de asegurar la sostenibilidad a mediano y largo plazo del sistema de gestión de activos, el cual gestione los elementos del entorno presente y futuro. Finalmente, el VSM clarifica el porqué de la importancia de contar con una política de gestión de activos, al ser esta el pilar fundamental y marco sobre el cual se constituye y mejora continuamente el sistema.

Con respecto al estándar ISO 55001, se concluye que a pesar de que ese documento define una serie de requerimientos para un sistema de gestión de activos, no hay una presentación clara de sus funciones dentro del sistema y de cómo cada uno aporta en su composición. Esta es una de las principales dificultades y razones del por qué no ha habido una implementación masiva en la industria, ya que la norma no brinda claridad ni del rol ni de la importancia de cada actividad dentro del sistema. El VSM conceptual desarrollado permitió enmarcar los requerimientos de las siete secciones del estándar (contexto de la organización, liderazgo, planeación, soporte, operación, evaluación del desempeño y mejoramiento) dentro de la globalidad del sistema, especificando su función y relevancia. Esto permite facilitar su implementación e identificación de los aspectos de mayor prioridad para cada organización según el nivel de desarrollo del proceso de administración de sus activos físicos.

Como paso final del estudio investigativo, y con el fin de evaluar la aplicabilidad del modelo conceptual desarrollado, éste se utilizó como base para el diagnóstico y diseño de la

gestión de activos de una multinacional del sector energético. De esta fase se concluye que el modelo de sistema viable soportó satisfactoriamente el proceso y permitió evaluar de manera integral los distintos aspectos de la gestión de activos en la organización. Respecto al diagnóstico desarrollado, se corroboró que las actividades enfocadas en la sostenibilidad a largo plazo en la compañía son muy limitadas, el cual es uno de los aspectos que carecen los modelos disponibles y el estándar ISO 55000, y que el VSM conceptual permite reforzar. La aplicación del VSM conceptual sirvió como base para brindar una serie de recomendaciones para el diseño del sistema basado en los hallazgos del proceso de diagnóstico. Como principal limitante en la aplicación del modelo de sistema viable, se encontró que en las fases iniciales los conceptos de cibernética no son de fácil comprensión para las personas que no están familiarizadas con su terminología. Sin embargo, una vez comprendido el modelo conceptual se pudo tener mayor entendimiento de la función y la importancia de cada uno de los elementos que lo componen.

Como principal limitación del presente estudio investigativo se tiene que el modelo fue desarrollado basado principalmente en la experiencia y conocimiento del autor sobre la gestión de activos en las organizaciones. Esto se debe principalmente a la poca investigación empírica disponible relacionada con el tema teniendo en cuenta que es una disciplina que aún se encuentra en desarrollo. Sin embargo, el planteamiento realizado es genérico y aplicable a cualquier tipo de empresa cuya misión esté centrada en activos físicos, por lo cual su validez es fácilmente verificable. Teniendo en cuenta que esta es una primera aproximación a la gestión de activos desde una visión de la cibernética y teoría de viabilidad, para una futura investigación se propone implementar el modelo conceptual desarrollado para la evaluación de organizaciones que operen en distintas industrias y de distintos tamaños, de tal forma que se pueda contrastar los diferentes puntos de vista y de esta manera retroalimentar el modelo y robustecer su aplicabilidad. También

se propone estudiar la problemática desde otras corrientes de pensamiento sistémico tales como la metodología de sistemas suaves de Peter Checkland, lo cual puede brindar otras perspectivas para facilitar la aplicación de la gestión de activos en las organizaciones. Finalmente, se sugiere el desarrollo de modelos matemáticos mediante otro tipo de metodologías tales como la dinámica de sistemas, mediante la cual se pueda cuantificar el impacto de la implementación de un sistema de gestión de activos.

7 Referencias bibliográficas

- Amadi-Echendu, J. E. (2004). Managing Physical Assets is a Paradigm Shift from Maintenance (Vol. 3, pp. 1156–1160). Presented at the International Engineering Management Conference.
- Asset Management. (n.d.). Retrieved July 28, 2015, from <http://www.investinganswers.com/financial-dictionary/investing/asset-management-2350>
- BCSSS. (n.d.). Society for General Systems Research (SGSR/ISSS). Retrieved July 25, 2015, from <http://www.bcsss.org/the-center/legacy/system-movement/society-for-general-systems-research-sgstrisss/>
- Beer, S. (1966). *Diagnosing the System for Organizations*. London and New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Beer, S. (1979). *The Heart of Enterprise*. London and New York: John Wiley & Sons Ltd.
- Beer, S. (1981). *Brain of the firm* (2da ed.). London and New York: Jhon Wiley.
- Blanchard, B. S., & Fabrycky, W. J. (2011). *Systems engineering and analysis* (5ta ed.). Prentice Hall.
- Campbell, J. D., Jardine, A. K. S., & McGlynn, J. (2011). *Asset Management Excellence* (Segunda Edición). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Checkland, P. (1981). *Systems Thinking, Systems Practice*. New York: Wiley.
- Coetzee, J. L. (1999). A holistic approach to the maintenance “problem.” *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 3(3), 276–281.
- Conant, R. C., & Ashby, W. R. (1970). Every good regulator of a system must be a model of that system. *International Journal of Systems Science*, 1(2), 89–97.

- El-Akruti, K. (2012). *The strategic role of engineering asset management in capital intensive organizations*. University of Wollongong. Doctoral Thesis.
- El-Akruti, K., Dwight, R., & Zhang, T. (2013). The strategic role of Engineering Asset Management. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 227–239.
- Forrester, J. W. (1981). *Dinámica industrial* (2da ed.). Buenos Aires: Ateneo.
- Frolov, V., Mengel, D., Bandara, W., Sun, Y., & Ma, L. (2010). Building an ontology and process architecture for engineering asset management. In *Engineering Asset Lifecycle Management* (pp. 86–97). Springer.
- Gaarenstroom, J. H. (2014). *Impact of Asset Management Systems: A Sector Study Among Power and Gas Grid Operators*. TU Delft, Delft University of Technology.
- Godau, R. I. (1999). The changing face of infrastructure management. *Systems Engineering*, 2(4), 226–236.
- Hall, A. D. (1962). *A methodology for systems engineering*. Princeton, N. J.: Van Nostrand.
- Hilder, T. (1995). The viable system model. Retrieved June 28, 2005 from <Http://www.users.globalnet.co.uk/~rxv/orgmgt/vsm.pdf>.
- IAM. (2008a). *PAS 55-1:2008 Asset Management - Part 1: Specification for the optimized management of physical assets*. London: BSI.
- IAM. (2008b). *PAS 55-2:2008 Asset Management - Part 2: Guidelines for the application of PAS 55-1*. London: BSI.
- IEEE. (2005). *IEEE 1220-2005 - Standard for Application and Management of the Systems Engineering Process*. Computer: IEEE.
- INCOSE. (2015). About INCOSE. Retrieved July 26, 2015, from <http://www.incose.org/about>

- ISO/IEC. (2006). *ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries - Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.pdf*. ISO.
- ISO/IEC. (2008). *ISO 15288 Systems and software engineering - system life cycle processes*. ISO.
- ISO/IEC. (2014a). *ISO 55000 Asset management - Overview, principles and terminology*. ISO.
- ISO/IEC. (2014b). *ISO 55001 Asset management - Management systems - Requirements*. ISO.
- ISO/IEC. (2014c). *ISO 55002 Asset Management - Management systems - Guidelines for the application of ISO 55001*. ISO.
- Jackson, M. C. (2006). Creative holism: a critical systems approach to complex problem situations. *Systems Research and Behavioral Science*, 23(5), 647–657.
- Jackson, M. C., & Keys, P. (1984). Towards a System of Systems Methodologies. *The Journal of the Operational Research Society*, 35(6), 473.
- Jardine, A. K. S., & Tsang, A. H. C. (2005). *Maintenance, Replacement and Reliability - Theory and Applications* (2da ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kennedy, J. (1993). An Asset Management Philosophy (pp. 13–19). Presented at the Conference on Railway Engineering, New Castle, N.S.W.
- Kisler, L., Duffield, C. F., & Young, D. M. (1995). Status of Computerised Asset Management Systems for Infrastructure Management. (pp. 871–876). Presented at the 5th East Asia-Pacific Conference: Structural Engineering and Construction: Building for the 21st Century.
- Martínez Avella, M. E. (2002). *Ideas para el cambio y el aprendizaje en la organización - Una perspectiva sistémica*. Bogotá: ECOE ediciones.
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en Confiabilidad* (2da ed.). Asheville: Aladon.

- Pérez Ríos, J. (2008). *Diseño y diagnóstico de organizaciones viables. Un enfoque sistémico*. Valladolid: Iberfora.
- Pérez Ríos, J. (2010). Models of organizational cybernetics for diagnosis and design. *Kybernetes*, 39, 1529–1550.
- Porter, M. E. (1979). How competitive forces shape strategy. *Harvard Business Review*, (March - April), 137–145.
- Ross Ashby, W. (1956). *An introduction to cybernetics*. London: Chapman & Hall.
- Schwaninger, M. (2000). Managing complexity—the path toward intelligent organizations. *Systemic Practice and Action Research*, 13(2), 207–241.
- Senge, P. M. (1994). *The fifth discipline: the art and practice of the learning organization*. New York: Currency Doubleday.
- Sondalini, M. (2014). How to Build Your ISO 55001 Asset Management System Quickly and make ISO 55001 Certification Easy. Retrieved from http://www.lifetime-reliability.com/home_pdfs/ISO_55001_standard_certification_Plant_Wellness_Way.pdf
- Urmetzer, F., Parlikad, A. K., Pearson, C., & Neely, A. (2014). *Key considerations in asset management design*. Cambridge Service Alliance.
- Valencia, V. V., Colombi, J. M., Thal Jr., A. E., & Sitzabee, W. E. (2011). Asset Management: A Systems Perspective. In *IIE Annual Conference. Proceedings 2011* (pp. 1–9). Institute of Industrial Engineers.
- Von Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller.

Walker, J. (2011). The Viable Systems Model - A guide for co-operatives and federations.

Retrieved July 21, 2015, from

http://www.esrad.org.uk/resources/vsmg_2.2/pdf/vsmg_2_2.pdf

What is Systems Engineering? (n.d.). Retrieved July 26, 2015, from

<http://www.incose.org/AboutSE/WhatIsSE>

ANEXO: Elementos evaluados diagnóstico organizacional**General**

Tema	Subtema	Método de Evaluación
General	Conocimiento y percepción general	Entrevista: Nombre, rol en la empresa, años de trabajo en la empresa, años de experiencia ¿Conoce el concepto de gestión de activos? ¿Conoce el concepto de sistema de gestión de activos? ¿Para usted, qué es la gestión de activos y cómo se debe enfocar dentro de la empresa?

Sistema 5 – Identidad

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Existencia de elementos constitutivos	¿Existe una declaración formal con el propósito y visión de la gestión de activos de la empresa?	Documentos: Política de gestión de activos
	¿Existe una declaración formal con la política de gestión de activos de la empresa?	Documentos: Política de gestión de activos
	¿En caso que sí, usted la conoce? ¿Se la han divulgado formalmente?	Entrevista: ¿Conoce usted las políticas de gestión de activos de la empresa? ¿La política o principios de gestión de activos le han sido divulgadas formalmente?
	¿Existen objetivos estratégicos para la gestión de activos en la organización?	Documentos: Política de gestión de activos Indicadores de gestión de activos Estrategia organizacional Documento de objetivos organizacionales
	¿Si sí existen, los conoce?	Entrevista: ¿Conoce usted los objetivos de la gestión de activos de la empresa?

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Calidad de los elementos constitutivos	¿Los objetivos estratégicos de la gestión de activos están alineados con los objetivos de la organización?	Documentos: Política de gestión de activos Estrategia organizacional Documento de objetivos organizacionales Entrevista: ¿Cómo considera que los objetivos de la gestión de activos se alinean con los objetivos y metas organizacionales?
Existencia de organismos/personas	¿Cuáles son los organismos (cargos, comités, concejos, etc.) encargados del propósito, política y objetivos estratégicos de la gestión de activos en la empresa?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y responsabilidades Entrevista: ¿Qué tipo de rol considera que ocupa usted dentro del sistema de gestión de activos? ¿Se cuenta con un rol encargado de definir y actualizar el propósito, política y objetivos de la gestión de activos?
Funcionamiento y eficacia de los organismos	¿Existe unanimidad entre lo que pretende hacer la gestión de activos en la empresa?	Documentos: Política de gestión de activos Entrevista: Desde su perspectiva, ¿cuáles debe ser el foco principal de la gestión de activos en la organización?
	¿Existen procedimientos para transmitir la información relacionada con la identidad del sistema al resto de la organización?	Documentos: Publicación de políticas de gestión de activos Entrevista: (para directivos) ¿Existen procedimientos definidos para transmitir la información del propósito de la gestión de activos al resto de la organización?

Tema	Subtema	Método de Evaluación
		(para operativos) ¿Cómo le es transmitida la información referente al propósito de la gestión de activos?
Canales de comunicación	¿Cuáles son los canales de comunicación existentes que permiten a la dirección enterarse de lo que sucede en la organización?	Documentos: Indicadores Entrevista: (para directivos) ¿Con qué mecanismos cuentan para recibir la información del desempeño del sistema?
	¿Cuáles son los canales de comunicación existentes para transmitir la información de los propósitos, visión y objetivos estratégicos de la gestión de activos al resto de la organización?	Documentos: Programación de reuniones periódicas Entrevista: (para directivos) ¿Qué mecanismos utilizan para transmitir la información del propósito, visión y objetivos estratégicos de la gestión de activos al resto de la organización? (para operativos) ¿Cómo le es transmitida la información referente al propósito, visión y objetivos estratégicos de la gestión de activos?
	¿Existen mecanismos para identificar casos en que la dirección tenga que intervenir directamente para solucionar asuntos relacionados con la operación del sistema de gestión de activos?	Documentos: Indicadores periódicos Entrevista: (para directivos) Bajo qué criterios define usted que deba intervenir directamente en las actividades operativas de la gestión de activos? (para directivos) Se cuentan con alarmas o mecanismos que permitan a ustedes identificar situaciones en que requieran intervenir directamente en asuntos relacionados con la operación del sistema?
Gobierno entre sistemas 3 y 4	¿Existen procedimientos específicos para facilitar la interacción entre la dirección y los componentes del sistema	Documentos: Programación de reuniones periódicas Entrevista:

Tema	Subtema	Método de Evaluación
	3 y 4?	(para directivos) ¿Existen espacios formales en los cuales se evalúe en conjunto la operación actual del sistema y los requerimientos del entorno (presente y futuro)?
	¿Existen procedimientos o elementos que alerten al sistema 5 de la necesidad de intervenir para resolver las cuestiones que el conjunto del sistema 3 y sistema 4 no puede hacer?	Documentos: Programación de reuniones periódicas Entrevista: (para directivos) ¿Se cuentan con alarmas o mecanismos que permitan a ustedes identificar situaciones en que requieran intervenir directamente en conflictos entre la operación actual del sistema y los requerimientos del entorno (presente y futuro)?
	¿Existen mecanismos para que el metasistema (sistemas 3-4-5) aborde el estudio de situaciones problemáticas?	Entrevista: (para directivos) ¿Se cuentan con alarmas o mecanismos que permitan a ustedes identificar situaciones en que requieran intervenir directamente en conflictos entre la operación actual del sistema y los requerimientos del entorno (presente y futuro)?
Coherencia entre las percepciones de identidad	¿La identidad asumida en el sistema 5 es compartida y entendida por los componentes del sistema 1?	Entrevista: (para directivos) ¿Qué mecanismos utilizan para transmitir la información del propósito, visión y objetivos estratégicos de la gestión de activos al resto de la organización? (para operativos) ¿Cómo le es transmitida la información referente al propósito, visión y objetivos estratégicos de la gestión de activos?
	¿La identidad asumida del sistema de gestión de activos es coherente con la misión, visión y objetivos de la organización?	Documentos: Misión y visión organizacional Objetivos organizacionales Políticas y objetivos de gestión de activos

Sistema 4 – Adaptación y entorno

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Existencia de elementos constitutivos	¿Cuáles son los organismos (cargos, comités, concejos, etc.) encargados del entorno presente y futuro de la gestión de activos en la empresa?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y responsabilidades Entrevista: (misma pregunta sistema 5)
	¿Cuáles son las actividades realizadas por estos organismos?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y responsabilidades
	¿De qué mecanismos dispone la organización para la realización de estas actividades (modelos, herramientas de simulación, etc)?	Documentos: Procedimientos Entrevista: (para directivos) ¿Actualmente aplican procesos tales como el modelamiento y simulación para soportar la toma de decisiones en la organización? Si sí, ¿cuáles?
Relación entre el sistema 4 y el entorno (presente y futuro)	¿Se tienen identificados los principales elementos del entorno?	Entrevista: (para directivos) ¿Se tienen identificados y mapeados los principales elementos del entorno que tienen impacto sobre el sistema de gestión de activos?
	¿Qué mecanismos se tienen disponibles para recolectar la información del entorno?	Entrevista: ¿Cómo se recolecta actualmente la información asociada con el entorno?
Entorno presente	¿Se tienen identificados qué elementos del entorno presente tienen impacto sobre el funcionamiento de la gestión de activos en la organización?	Entrevista: ¿Se tienen identificados los principales elementos del entorno presente que pueden impactar al sistema de gestión de activos? (para directivos) ¿Entre los elementos del entorno presente, se tienen identificados, mapeados, y están siendo gestionados elementos tales como las regulaciones y normatividad, factores políticos y sociales, proveedores y otros sistemas

Tema	Subtema	Método de Evaluación
		gerenciales de la organización?
	¿Bajo qué normativas se rige la operación del sistema de gestión de activos en la organización?	Entrevista: ¿Qué normativas (estándares, legislación, procedimientos) rigen la operación de los activos y actividades de gestión de activos de la compañía?
	¿Se tienen definidos mecanismos para dar manejo a los posibles factores sociales y políticos que debe enfrentar el sistema?	Entrevista: ¿Con que políticas se cuentan para manejar aspectos del entorno presente tales como las comunidades, medio ambiente, y factores políticos y sociales?
	¿Qué políticas y estrategias se tienen para el manejo de proveedores de productos y servicios para la operación del sistema?	Entrevista: ¿Con que políticas, estrategias y procedimientos se cuentan para el manejo de los proveedores de productos y servicios?
	¿Cómo se interrelaciona la gestión de activos con los demás sistemas gerenciales de la organización?	Entrevista: ¿Se tienen mecanismos definidos mecanismos de interrelación con otros sistemas de gestión de la organización?
Entorno futuro	¿Se cuenta con mecanismos que permitan identificar cambios en el entorno que puedan afectar el funcionamiento del sistema de gestión de activos?	Documento: Estrategia organizacional Entrevista: ¿Se tienen identificados los principales elementos del entorno futuro que pueden impactar al sistema de gestión de activos? (para directivos) ¿Entre los elementos del entorno futuro, se tienen identificados, mapeados, y están siendo gestionados elementos tales como las demandas futuras, variables y tendencias del mercado, cambios tecnológicos y deterioro/obsolescencia de los activos?
	¿Se cuenta con procesos que evalúen posibles cambios en la demanda y que monitoreen las tendencias del mercado?	Entrevista: (para directivos) ¿Se cuenta con procesos que evalúen posibles cambios en la demanda y que monitoreen las tendencias del mercado?

Tema	Subtema	Método de Evaluación
	¿Se cuenta con procesos valorar y tomar decisiones respecto a cambios tecnológicos, obsolescencia y deterioro de los activos?	Entrevista: ¿Se cuenta con procesos valorar y tomar decisiones respecto a cambios tecnológicos, obsolescencia y deterioro de los activos?
Funcionamiento y comunicación	¿Con qué mecanismos de comunicación se cuentan entre los sistemas 4 y 3?	Entrevista: ¿Bajo qué criterios se valoran las decisiones respecto al presente y futuro de los activos de la compañía?
	¿Se aplican herramientas de modelamiento y simulación que permitan soportar la toma de decisiones respecto a aspectos del entorno futuro que puedan afectar la viabilidad del sistema de gestión de activos?	Entrevista: ¿Se aplican herramientas tales como el modelamiento de confiabilidad, análisis de costos de ciclo de vida, u otros para la evaluación de la sostenibilidad de los activos?
Relación entre sistemas 4 y 5	¿Con qué mecanismos de comunicación se cuentan entre los sistemas 4 y 5?	Entrevista: (para directivos) ¿Existen espacios formales en los cuales se evalúe en conjunto los elementos del entorno con la dirección del sistema de gestión de activos?

Sistema 3 – Control

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Existencia y composición	¿Cuáles son los organismos (cargos, comités, concejos, etc.) encargados de la dirección operativa de la gestión de activos en la empresa?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y responsabilidades Entrevista: (para directivos) ¿Quién está encargado de asegurar el cumplimiento de los objetivos operativos del sistema?
	¿Qué actividades realizan los encargados de la dirección operativa de la gestión de activos?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y

Tema	Subtema	Método de Evaluación
	(diferenciando las relacionadas con los sistemas 1 y 4)	responsabilidades
	¿Se tienen definidos objetivos e indicadores para las unidades operacionales individuales del sistema de gestión de activos?	Documentos: Indicadores de gestión de activos Entrevista: ¿Se cuentan con objetivos e indicadores para las unidades operacionales individuales del sistema de gestión de activos? Si sí, ¿Los conoce?
	¿Qué mecanismos de coordinación se tienen definidos por parte de la dirección operativa para asegurar una operación armónica entre las unidades operacionales?	Documentos: Procedimientos Entrevista: (para directivos) ¿Se cuenta mecanismos de coordinación por parte de la dirección operativa para asegurar una operación armónica entre las unidades operacionales?
	¿Con qué mecanismos se cuentan para transmitir la información de las políticas, estrategias y objetivos de gestión de activos a las unidades operativas?	Documentos: Publicación de políticas de gestión de activos Entrevista: (para directivos) ¿Existen procedimientos definidos para transmitir la información del propósito de la gestión de activos a las unidades operativas?
Calidad del funcionamiento del sistema 3	¿Qué nivel de involucramiento tiene el sistema 3 en la operación rutinaria de las unidades operativas del sistema?	Documentos: Organigrama Roles y responsabilidades Entrevista: Desde su punto de vista, ¿qué grado de involucramiento considera que tienen los directivos en el día a día de las actividades de gestión de activos?
Relación con el sistema 1	¿Se cuenta con una dirección por objetivos?	Entrevista:

Tema	Subtema	Método de Evaluación
		(para directivos) ¿Se cuenta por una dirección por objetivos en la organización?
	¿Cómo se realiza la negociación de recursos con las unidades operativas del sistema?	<p>Documentos: Reuniones periódicas</p> <p>Entrevista: ¿Se cuenta con mecanismos formales para negociar los recursos requeridos por las unidades operativas de la gestión de activos?</p>
	¿Qué mecanismos de rendición de cuentas se utilizan para recibir información del funcionamiento de las unidades operacionales?	<p>Documentos: Reuniones periódicas Reporte de cumplimiento a indicadores</p> <p>Entrevista: ¿Con qué mecanismos formales se cuenta para conocer el desempeño de las actividades del día a día de la gestión de activos?</p>
Relación con el sistema 2	¿En qué grado interviene la dirección operativa en la definición de elementos de coordinación de las unidades operacionales?	<p>Documentos: Organigrama Roles y responsabilidades</p> <p>Entrevista: ¿Los encargados de la dirección operativa soportan la definición de mecanismos de coordinación entre las unidades operativas del sistema de gestión de activos?</p>
Canal algedónico	¿Se tienen identificadas variables críticas (alarmas) en la operación que indiquen un requerimiento de intervención por parte de la dirección?	<p>Documentos: Reuniones periódicas Reporte de cumplimiento a indicadores</p> <p>Entrevista: ¿Tiene conocimiento de mecanismos</p>

Tema	Subtema	Método de Evaluación
		que permitan a la dirección operativa identificar anomalías donde requiera intervenir directamente en la operación para su corrección?

Sistema 3* – Auditoría

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Existencia y composición	¿Se cuenta con un proceso de auditorías para monitorear el funcionamiento del sistema de gestión de activos?	<p>Documentos: Registros de auditorías a la gestión de activos</p> <p>Entrevista: ¿Se realizan auditorías internas o externas a la gestión de activos de la compañía? ¿Con qué frecuencia?</p>
Calidad y funcionamiento	¿Si sí, como es su funcionamiento? (frecuencia, tipo de auditoría)	<p>Entrevista: ¿Se realizan auditorías internas o externas a la gestión de activos de la compañía? ¿Con qué frecuencia?</p>
	¿Cómo se transmite la información de las auditorías a la dirección operativa del sistema?	<p>Documentos: Registros de auditorías a la gestión de activos</p> <p>Entrevista: Los resultados de las auditorías son evaluados por los directivos operativos del sistema?</p>
	¿Se cuenta con acciones identificadas e implementadas como resultado de hallazgos de las auditorías (por ejemplo, nuevos elementos de coordinación)?	<p>Documentos: Registros de auditorías a la gestión de activos</p> <p>Entrevista: ¿Se cuenta con acciones identificadas e implementadas como resultado de hallazgos de las auditorías (por ejemplo, nuevos elementos de coordinación)?</p>

Sistema 2 – Coordinación

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Existencia y composición	¿Se cuentan con organismos (cargos, comités, concejos, etc.) encargados de la coordinación operativa de la gestión de activos en la empresa?	Documentos: Organigrama Documentos de roles y responsabilidades Entrevista: (para directivos) ¿Quién está encargado de asegurar la coordinación entre las unidades operativas del sistema?
	¿Se cuentan con funciones, herramientas y procedimientos relacionados para la coordinación entre las unidades operativas de la gestión de activos?	Documentos: ERP Procedimientos Comités
	¿Con qué mecanismos de comunicación se cuentan para transmitir aspectos requeridos de la coordinación a la dirección operativa?	Documentos: Comités de planeación Reuniones periódicas Entrevista: ¿Existen mecanismos o se realizan reuniones de los encargados de la planeación de actividades de gestión de activos con la dirección operativa del sistema?
	¿Con qué mecanismos de comunicación se cuentan para transmitir la información de coordinación a cada una de las unidades operativas?	Documentos: Comités de planeación Reuniones periódicas Entrevista: ¿Existen mecanismos o se realizan reuniones de los encargados de la planeación de actividades de gestión de activos con las unidades de coordinación individuales operativas?
	¿Qué rol en el sistema de gestión de activos está encargado de coordinar las actividades de la gestión de activos?	Entrevista: (para directivos) ¿Quién está encargado de asegurar la coordinación entre las unidades operativas del sistema?
	¿Se realizan reuniones o comités	Entrevista:

Tema	Subtema	Método de Evaluación
	para la coordinación entre la operación del sistema? Si sí, ¿Quiénes participan y cómo es su funcionamiento?	¿Existen mecanismos o se realizan reuniones de los encargados de la planeación de actividades de gestión de activos con las unidades de coordinación individuales operativas?

Sistema 1 – Unidades operativas

Tema	Subtema	Método de Evaluación
Composición	¿Se tienen claramente identificadas las 4 operaciones principales de un sistema de gestión de activos: Crear y adquirir, utilizar/operar, mantener y renovar/disponer?	<p>Documentos: Modelo organizacional de la gestión de activos Organigrama</p> <p>Entrevista: (para directivos) ¿Cómo están conformadas actualmente las divisiones para la gestión de activos de la organización?</p>
Relación con el entorno	¿Se tienen identificados los elementos del entorno específico a la operación y se cuenta con elementos para la comunicación con el entorno?	<p>Entrevista: (para un trabajador de cada unidad) ¿Se tienen identificados los elementos del entorno que impactan directamente a su operación?</p>
Relación con la dirección	¿Cómo son los medios de comunicación de las operaciones con la dirección (sistema 3)?	<p>Entrevista: Se cuenta con mecanismos formales de comunicación entre los directivos de la organización y los encargados de la operación?</p>
Relación entre las operaciones	¿Qué relaciones existen entre las 4 unidades operativas del sistema de gestión de activos en la organización?	<p>Documentos: Procedimientos Políticas</p> <p>Entrevista: (Para un trabajador de cada unidad) ¿Con qué mecanismos se cuenta para coordinar sus actividades con el resto de</p>

Tema	Subtema	Método de Evaluación
		unidades operativas de la gestión de activos?
	¿Con qué mecanismos y canales de comunicación se cuentan entre las 4 unidades operativas del sistema de gestión de activos en la organización?	Documentos: Comités Reuniones periódicas Entrevista: ¿Existen mecanismos o se realizan reuniones entre los directivos las unidades operativas de la gestión de activos?
Relación entre las direcciones de cada unidad operativa	¿Se cuenta con interrelaciones entre las direcciones individuales de las unidades operativas? Si sí, ¿Cómo se llevan a cabo?	Entrevista: ¿Existen mecanismos o se realizan reuniones entre los directivos las unidades operativas de la gestión de activos?
Relación entre el sistema 2 de cada unidad y el sistema 2 corporativo	¿Existen canales que conecten al sistema 2 corporativo con los sistemas 2 de cada unidad operativa individual?	Entrevista : ¿Existen mecanismos o se realizan reuniones entre los encargados de la coordinación de actividades operativas y entes de planeación corporativos?
Relaciones entre los entornos específicos de las unidades operativas	¿Se tienen identificadas las posibles interrelaciones entre los entornos de las diferentes unidades operativas?	Entrevista: ¿Se tienen identificadas las posibles interrelaciones entre los entornos de las diferentes unidades operativas?