



Commissioning y la relación con la gestión de proyectos para una operación exitosa

Alejandro Magnon Cochero Zapata

Monografía presentada para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Asesor

Noe Alejandro Mesa Quintero, Magíster (MSc) en Ingeniería

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gerencia de Mantenimiento
Medellín, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Cochero Zapata, 2024)
Referencia	Cochero Zapata, A. (2024). <i>Commissioning y la relación con la gestión de proyectos para una operación exitosa</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Cohorte XVIII.



Elija un elemento.

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mis amados padres y hermanos, especialmente mi hermano Jorge

En este día especial, deseo expresar mi más profundo agradecimiento por su inquebrantable apoyo a lo largo de mi trayectoria educativa. Su constante guía, amor y sacrificio han sido la luz que ha iluminado cada paso de mi camino hacia este logro. Su fé inquebrantable en mí ha sido mi mayor fortaleza y motivación.

A mi amada novia, Carolina,

En tus ojos he encontrado un apoyo incondicional y un constante recordatorio del poder del amor y la comprensión. Tu paciencia, aliento y amor han sido mi roca en los momentos de duda y desafío. Gracias por estar a mi lado en este viaje, por celebrar mis triunfos y por sostenerme en los momentos difíciles. Eres mi mayor motivación y mi más grande alegría.

A todos ustedes, les dedico este título con profundo cariño y gratitud. Con su presencia en mi vida ha hecho posible este logro y cada página de este trabajo lleva impresa la influencia de sus palabras, acciones y amor incondicional.

Alejandro Cochero

Agradecimientos

A mis estimados profesores y compañeros

Con humildad y gratitud, reconozco la invaluable contribución que cada uno de ustedes ha hecho a mi formación académica y profesional. La dedicación, conocimiento y pasión por la enseñanza han sido la inspiración que ha impulsado a alcanzar nuevas alturas. Agradezco sinceramente sus enseñanzas, consejos y orientación, los cuales han enriquecido este documento de innumerables maneras.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	11
2. REVISIÓN LITERARIA.....	13
3. DESAFIO DEL COMISIONAMIENTO.....	18
4. METODOLOGÍA	19
5. ENFOQUE.....	21
6. PREMISA INICIAL	24
7. VALIDACIÓN ESTRATÉGICA DEL PROYECTO Y CLAVES PARA EL CICLO DE VIDA.....	28
8. GESTIÓN INTEGRAL DE PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA DE INFRAESTRUCTURA.	30
9. INTEGRACIÓN DEL COMMISSIONING EN EL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN: HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS	42
10. CONCLUSIONES	44
11. REFERENCIAS	46

Lista de tablas

Tabla 1 ETAPAS DE PROPUESTA DEL COMMISSIONING	42
---	----

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 COSTO EN EL TIEMPO.....	19
Ilustración 2 ESQUEMA SISTEMATICO DE LA EJECUCION DE UN PROYECTO	20
Ilustración 3 OPTIMIZACION DEL COMMISSIONING SINTESIS DE MEDICION	24
Ilustración 4 ANALISIS DEL FCI DE ACTIVOS	25
Ilustración 5 INTEGRACION POR FASES COMMISSIONING ACTIVOS.....	27
Ilustración 6 COSTOS DEL CICLO DE VIDA	29

Siglas, acrónimos y abreviaturas

PMBOK	Project Management Body of Knowledge
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc.
PMI	Project Management Institute
PRINCE2	Projects In Controlled Environments
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
KPI	Key Performance Indicators
FCI	Facility Condition Index
CAPEX	Capital Expenditure
OPEX	Operational Expenditures
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram/Drawing
SOP	Standard Operating Procedure
DCS	Distributed Control System
SIS	Safety Instrumented System
WBS	Work Breakdown Structure
FMECA	Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Resumen

La ejecución exitosa de proyectos industriales requiere un enfoque sistemático de pruebas a lo largo del ciclo de vida del proyecto para garantizar diseño, construcción y operación eficientes, evitando fallas en equipos, problemas operativos costosos y tiempos de inactividad. El comisionamiento emerge como un proceso crucial en la puesta en marcha y operación de activos industriales, abarcando la preparación, prueba y puesta en marcha para asegurar un funcionamiento fiable.

A pesar de su importancia, la falta de metodologías y definiciones claras del comisionamiento para la búsqueda de la preservación de activos, se refleja en la escasez literaria de los alcances y el impacto exitoso de los modelos existentes. Por ello, en esta revisión se busca establecer una definición sólida, analizando diversos enfoques y prácticas existentes para delimitar conceptos fundamentales y elementos clave asociados con el comisionamiento. El objetivo final es proporcionar un documento de referencia claro y comprensible que sirva a empresas e instituciones interesadas en desarrollar planes de comisionamiento.

Este documento, como resultado, contribuirá a la claridad y comprensión del comisionamiento en el contexto de las operaciones y gestión de activos, facilitando la implementación efectiva a proyectos industriales.

Abstract

The successful execution of industrial projects requires a systematic approach to testing throughout the project lifecycle to ensure efficient design, construction, and operation, thus avoiding equipment failures, costly operational issues, and downtime. Commissioning emerges as a crucial process in the start-up and operation of industrial assets, encompassing preparation, testing, and start-up to ensure reliable operation.

Despite its importance, the lack of clear methodologies and definitions of commissioning for asset preservation is reflected in the scarcity of literature regarding the scope and successful impact of existing models. Therefore, this review aims to establish a solid definition by analyzing various existing approaches and practices to delineate fundamental concepts and key elements associated with commissioning. The ultimate goal is to provide a clear and understandable reference document that serves companies and institutions interested in developing commissioning plans.

As a result, this document will contribute to the clarity and understanding of commissioning within the context of asset operations and management, facilitating effective implementation in industrial projects.

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos de ingeniería y construcción representan desafíos fundamentales tanto para profesionales y organizaciones a nivel global como para la propia industria. Estos proyectos abarcan diversos sectores industriales, como la energía, minería y petroquímicos, y se enfrentan a una serie de desafíos significativos. En este contexto, las compañías buscan constantemente mejorar sus prácticas para asegurar el éxito de sus proyectos (Oberlender, 2014). La ciencia y la tecnología proporcionan los modelos y procedimientos que se convierten en herramientas esenciales para superar los desafíos inherentes a los proyectos de ingeniería. Estos modelos representan esquemas lógicos de actividades que se desarrollan a lo largo del ciclo de vida del proyecto e incorporan conceptos críticos como calidad y funcionalidad (Hickson & Owen, 2022). El objetivo principal de estos modelos es asegurar una operación sostenible y exitosa, lo que implica la capacidad de funcionar bajo condiciones predefinidas sin fallas operativas. Esto, a su vez, garantiza la integridad del personal involucrado, la protección de los recursos ambientales y la preservación e integridad de los activos físicos del proyecto.

La teoría de confiabilidad desempeña un papel esencial en la predicción del comportamiento operativo. Ayuda a tomar decisiones informadas durante el desarrollo y ejecución del proyecto, con el objetivo de minimizar el costo global de la operación industrial a lo largo de su ciclo de vida. Un aspecto crítico para estimar con precisión los costos globales es la cuantificación de los costos ocultos presentes en una instalación industrial. Uno de los costos ocultos más significativos es el costo de ineficiencia, que representa el gasto derivado de la falta de cumplimiento de los estándares de capacidad productiva por parte de las instalaciones y equipos, debido a fallas o detenciones no programadas. En otras palabras, este costo se refiere a las pérdidas de producción debido a la no operación eficiente de los equipos. Entre los aspectos más relevantes para la operación de plantas industriales se destaca el desarrollo y ejecución sin fallas en equipos o sistemas, este es un factor crucial que influye en el éxito operacional. Para lograr este objetivo, entran en articulación los ciclos de comisionamiento, los cuales desempeñan un papel fundamental en la entrega exitosa de los procesos de operación y los equipos asociados al proyecto.

El comisionamiento es una fase crítica en la construcción de una planta industrial, ya que asegura la transición segura y eficiente desde la etapa de construcción hasta la operación. Comprende un conjunto de actividades destinadas a ajustar los sistemas para operar de acuerdo con los parámetros previstos en el diseño (*Guide to Commissioning and Qualification*, s. f.). Su objetivo fundamental

es cumplir los requisitos del propietario del proyecto en todas las etapas, desde el diseño y construcción hasta la operación y mantenimiento. El comisionamiento está alineado con estándares como el PMBOK del Project Management Institute (PMI) y PRINCE2, y proporciona una comprensión más clara del alcance del proyecto y sus requisitos, contribuyendo así a una gestión más eficiente. Además, ayuda a identificar y remediar problemas potenciales antes de la operación comercial, reduciendo el tiempo de inactividad no planificado y mejorando la eficiencia operativa. También proporciona información valiosa sobre el funcionamiento de los equipos y sistemas, facilitando un mantenimiento efectivo y cumpliendo el estándar internacional ISO 55000 en gestión de activos, que define al comisionamiento como "un conjunto de actividades que constituyen la última fase del proyecto, caracterizadas por el arranque total de los sistemas mediante ajustes de parámetros a valores nominales de operación y diseño. Estas actividades permiten realizar pruebas integrales de funcionamiento con los flujos de materia prima en sus circuitos".

Durante esta fase, es esencial contar con un equipo interdisciplinario altamente calificado, ya que son los responsables de verificar el completamiento mecánico como punto de partida. Además, llevan a cabo pruebas funcionales a los sistemas, validan las pruebas desde el pre-comisionamiento hasta la puesta en marcha, programan y ejecutan todas las pruebas necesarias con personal interno y externo según sea necesario. Es importante destacar que la metodología de comisionamiento debe estar alineada con las normativas y regulaciones relevantes para la industria en la que se aplique así como ser un canal de sostenibilidad ambiental (Rudolphi, 2022). Además, se debe llevar a cabo de manera interdisciplinaria, involucrando a profesionales de diferentes áreas, como ingenieros, técnicos, y especialistas en seguridad, para garantizar un proceso exitoso y seguro. La metodología de comisionamiento es esencial para lograr una transición suave desde la construcción hasta la operación de una planta industrial.

En última instancia, los proyectos industriales de gran envergadura son complejos y requieren una planificación y ejecución cuidadosas. El comisionamiento es una fase crítica de estos proyectos, ayuda a prolongar la vida útil de los activos al identificar y corregir problemas potenciales antes de que ocurran. También ayuda a reducir los costos de reemplazo y mantenimiento al garantizar que los activos se operen dentro de sus parámetros de diseño, ya que es responsable de poner en funcionamiento la planta de manera segura y eficiente. Asegura que la planta cumpla con los requerimientos técnicos necesarios y garantiza la confiabilidad de los equipos, lo que se traduce en

bajos costos operativos y equipos altamente operativos. Este proceso elimina los costos ocultos asociados con la falta de producción debida a diversas razones, como fallas en los equipos.

Este artículo se centrará en la importancia del comisionamiento y su influencia en la gestión de activos y mantenimiento. En particular, se explorará cómo el comisionamiento impacta la generación de una operación exitosa, permitiendo la identificación temprana de problemas y evitando retrasos y sobrecostos. Asimismo, se abordará cómo el comisionamiento incide en la gestión de activos, prolongando la vida útil de los activos y reduciendo los costos de reemplazo y mantenimiento (*¿Qué es ISO 55001?*, s. f.). Además, se analizará su influencia en la gestión de mantenimiento, proporcionando información valiosa sobre el funcionamiento de los equipos y sistemas como factor crítico para la operación rentable y exitosa de una planta industrial, y su influencia se extiende a todas las etapas del proyecto, asegurando su éxito y eficiencia en desarrollo, operación y mantenimiento.

2. REVISIÓN LITERARIA

El comisionamiento industrial, en la actualidad, se encuentra en el epicentro de la eficiencia operativa y la integridad de los activos en las plantas industriales. Este proceso, que va más allá de la simple puesta en marcha, implica la verificación y ajuste meticuloso de sistemas, equipos y procesos para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. La gestión de activos, por otro lado, se centra en maximizar el valor de los activos a lo largo de su ciclo de vida, asegurando su confiabilidad, disponibilidad y rendimiento sostenible.

A pesar de la evidente interconexión entre el comisionamiento y la gestión de activos, la literatura académica y técnica que aborda esta sinergia específica es sorprendentemente escasa. La mayoría de las publicaciones y artículos disponibles se enfocan en aspectos aislados, como el comisionamiento por un lado y la gestión de activos por otro, sin proporcionar una integración holística de ambas disciplinas. Esta brecha en el conocimiento representa un desafío para los profesionales y académicos que buscan una comprensión completa de cómo el comisionamiento impacta directamente en la gestión de activos y viceversa, además de la operación exitosa. El comisionamiento efectivo, al garantizar que los sistemas y equipos se integren adecuadamente desde el principio, sienta las bases para una gestión de activos más eficiente, una transición sin problemas desde la fase de comisionamiento hasta la operación plena no solo minimiza los tiempos de inactividad no planificados, sino que también optimiza los costos asociados con el

mantenimiento correctivo. La gestión de activos, al integrar el comisionamiento como parte integral de la estrategia, puede maximizar la vida útil de los activos, mejorar la disponibilidad operativa y reducir los costos a lo largo del tiempo.

El comisionamiento en plantas industriales ha experimentado una evolución significativa (Team, 2023b), influenciada por diversos autores cuyas contribuciones han dado forma a esta disciplina crucial en el ciclo de vida de las instalaciones industriales. A lo largo de las décadas, autores como Haque y Al-Mutawa han destacado la importancia del comisionamiento en la puesta en marcha eficiente de plantas, proponiendo metodologías avanzadas y enfoques estratégicos. En sus trabajos, han subrayado la necesidad de un comisionamiento basado en riesgos, que priorice las pruebas en función de la criticidad y probabilidad de fallos con diferentes métodos de análisis y pruebas no destructivas que se realizan o verifican durante estas etapas (*risk-based.pdf*, s. f.), asegurando una asignación eficiente de recursos.

La evolución del comisionamiento ha pasado de enfoques empíricos iniciales a modelos más estructurados y estratégicos. Autores como Smith y O'Brien han abordado la importancia de pruebas funcionales en las décadas de 1950 y 1960, marcando un hito en la transición hacia un comisionamiento integral, que considera la interconexión de sistemas. La llegada de sistemas de control automatizado en la década de 1970, como señalan estos autores, amplió aún más el alcance del comisionamiento para incluir la verificación de sistemas de control distribuido y sistemas de automatización.

En el panorama actual, la tendencia hacia el comisionamiento virtual, respaldada por autores como Williamson y Smith, ha revolucionado la forma en que se abordan las pruebas y verificaciones. La simulación y los modelos 3D permiten la identificación anticipada de problemas, optimizando la eficiencia y reduciendo costos. La sostenibilidad y eficiencia energética es un eje en las construcciones actuales (Team, 2023a), aspectos subrayados por autores contemporáneos, reflejan la creciente conciencia de la importancia ambiental y económica en el comisionamiento de plantas industriales.

La intersección del comisionamiento con tecnologías emergentes como el Building Information Modeling (BIM) (Azhar et al., 2008), como destacado por el National Institute of Building Sciences, ha llevado a una integración más estrecha entre el comisionamiento y la gestión de activos. La representación digital detallada de activos durante el comisionamiento proporciona una plataforma valiosa para la toma de decisiones informadas y la planificación a largo plazo.

En el contexto del comisionamiento industrial, los términos "modelos" y "enfoques" a menudo se utilizan de manera intercambiable, pero hay ciertas distinciones que podrían aclarar su uso:

2.1. Modelos de Comisionamiento:

Se refieren a las estructuras o métodos específicos utilizados para llevar a cabo el comisionamiento. Pueden incluir enfoques específicos, pasos detallados, y protocolos para asegurar que los sistemas industriales se pongan en marcha de manera efectiva.

2.2. Enfoques de Comisionamiento:

Pueden considerarse subconjuntos dentro de los modelos de comisionamiento.

Representan las estrategias particulares que se siguen para realizar la puesta en marcha. Esto puede incluir, por ejemplo, un enfoque secuencial, en paralelo, por fases, entre otros.

La diferencia entre un modelo de commissioning y un enfoque de commissioning puede ser sutil, pero se refiere principalmente a cómo se estructura y aborda el proceso de puesta en servicio en un proyecto.

Los modelos de commissioning se refieren a los diversos métodos o marcos utilizados para organizar y ejecutar el proceso de puesta en servicio. Estos modelos pueden diferir en el orden de las actividades, las responsabilidades del equipo, los resultados esperados y la integración con otras fases del proyecto.

Por otro lado, el enfoque de puesta en servicio se refiere a la filosofía o estrategia general que guía el proceso de puesta en servicio. Estos enfoques incluyen aspectos como la colaboración temprana entre equipos, revisiones continuas durante la construcción y retroalimentación sobre las lecciones aprendidas.

Se puede encontrar una variedad de modelos y enfoques de puesta en servicio en la práctica y la literatura de gestión de proyectos. Algunos de los modelos y enfoques más comunes se describen a continuación:

2.3. Modelo de puesta en servicio:

- 2.3.1. Directriz 0 y 1.1 de ASHRAE: Publicadas por la Sociedad Estadounidense de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE), estas pautas proporcionan un marco para la planificación, diseño, construcción y operación de edificios. La pauta 0 se centra en la planificación de operaciones y mantenimiento, y la pauta 1.1 se centra en la puesta en servicio de sistemas HVAC&R (calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración) (*Guía Estratégica de Commissioning*, s. f.).
- 2.3.2. Modelo LEED (Liderazgo en Diseño Energético y Ambiental): Para proyectos de construcción sustentable, el proceso de puesta en servicio forma parte de los requisitos de certificación LEED. El objetivo de este modelo es garantizar el rendimiento energético y medioambiental del edificio.(Altwies, 2002)
- 2.3.3. Modelo de Puesta en Marcha Integrada (Cx): Este modelo fomenta la colaboración entre propietarios, diseñadores y contratistas desde las primeras etapas de un proyecto. Se pone énfasis en la identificación temprana de los requisitos de desempeño y la resolución proactiva de problemas.

2.4. Enfoque de puesta en servicio:

- 2.4.1. Puesta en marcha basada en riesgos: este enfoque prioriza los sistemas críticos en función de su impacto potencial en las operaciones del proyecto y la seguridad de quienes están dentro una vez que comiencen las operaciones. La atención se centra en minimizar el riesgo mediante la asignación de recursos adecuados.
- 2.4.2. Puesta en servicio continua: La puesta en servicio continua implica el monitoreo y monitoreo continuo de un sistema durante todo el ciclo de vida del proyecto con el objetivo de mantener un rendimiento óptimo, en lugar de un evento único al final del proyecto. Se realizarán ajustes.
- 2.4.3. Comisión de retroalimentación: este enfoque se centra en recopilar datos y retroalimentación sobre el desempeño de proyectos en curso para mejorar los procesos de diseño, construcción y operación de proyectos futuros.

Profundizando en la explicación de los modelos y enfoques de comisionamiento industrial:

- 2.4.4. **Comisionamiento Secuencial:** El comisionamiento secuencial implica una cuidadosa activación y prueba de cada componente o sistema de manera ordenada y lógica. Este enfoque busca asegurar que cada parte esté completamente operativa antes de avanzar a la siguiente. Es particularmente valioso en sistemas donde la interdependencia entre componentes es crítica. Este método ayuda a identificar y abordar problemas de manera secuencial, facilitando un diagnóstico más preciso y eficiente.
- 2.4.5. **Comisionamiento en Paralelo:** El comisionamiento en paralelo implica la ejecución simultánea de pruebas en diferentes partes del sistema. Múltiples equipos trabajan de manera independiente pero coordinada. Este enfoque se destaca por su eficiencia temporal, ya que no se espera a que un componente esté completamente operativo antes de avanzar a otro. Sin embargo, requiere una comunicación efectiva entre los equipos para garantizar la coherencia y la integridad del sistema.
- 2.4.6. **Comisionamiento por Fases:** El comisionamiento por fases divide el proyecto en etapas específicas, centrándose en la puesta en marcha de una fase antes de pasar a la siguiente. Este enfoque es valioso en proyectos grandes y complejos, ya que permite la identificación temprana de problemas en cada fase antes de avanzar, reduciendo así los riesgos y facilitando la corrección o ajuste oportuno.
- 2.4.7. **Comisionamiento Funcional:** En el comisionamiento funcional, la atención se centra en la funcionalidad de los sistemas y subsistemas. Se asegura que cada función cumpla con los requisitos especificados antes de avanzar. Este enfoque es especialmente crítico en sistemas de control y automatización, donde la correcta ejecución de funciones específicas es esencial para el rendimiento general del sistema.
- 2.4.8. **Comisionamiento Integrado:** El comisionamiento integrado destaca la colaboración estrecha entre diferentes disciplinas y equipos, como ingeniería, operaciones y mantenimiento. Este enfoque busca aprovechar la experiencia de cada equipo para optimizar el rendimiento global del sistema, asegurando una transición fluida desde la fase de construcción hasta la operación plena.

2.4.9. Comisionamiento Retroactivo: El comisionamiento retroactivo implica ajustes y mejoras después de que la instalación ha estado en operación durante un tiempo. Este enfoque se basa en la retroalimentación de la experiencia operativa real, permitiendo la optimización continua y la adaptación a condiciones cambiantes.

3. DESAFIO DEL COMISIONAMIENTO

La gestión efectiva de la puesta en servicio en proyectos a menudo se subestima y no recibe la atención que merece (Mills, 2011). Uno de los desafíos fundamentales radica en la dificultad para cuantificar su valor, aunque se sugiere que este puede justificarse mediante un análisis cualitativo, similar a la evaluación de riesgos en un proyecto. La asignación insuficiente de recursos a la puesta en marcha, un problema recurrente, se atribuye a su omisión en la planificación del proyecto y a la dificultad para ajustarse a estructuras generales de gestión de proyectos.

Los marcos existentes, como el PMBOK, son criticados por abordar la puesta en servicio de manera superficial y confiar en que los profesionales la identifiquen como una parte esencial del proyecto. La falta de reconocimiento de la importancia de la puesta en servicio y la asignación insuficiente de recursos pueden resultar en una finalización deficiente del proyecto. En este contexto, se propone que la incorporación de un modelo conceptual amplio de puesta en servicio en las prácticas de gestión de activos sería un paso lógico. Dado que la puesta en marcha se basa en diversas áreas de conocimiento del proyecto, como la integración, la comunicación y la gestión de riesgos, integrarla en el ciclo de vida del proyecto, específicamente entre las fases de ejecución y cierre, sería beneficioso para una gestión más efectiva de los activos.

Las metas del proceso de Commissioning incluyen:

- Documentar los objetivos y requerimientos del propietario.
- Mantener al equipo de proyecto enfocado en las metas del propietario.
- Identificar y abordar proactivamente problemas de diseño y construcción.
- Reducir el Costo Global del proyecto.

En la ilustración 1 se muestra una gráfica que resalta una de las ventajas clave del commissioning. El eje horizontal representa el tiempo del proyecto, mientras que el eje vertical muestra el costo.

Se observan dos curvas: una que representa los ahorros potenciales al incluir el commissioning, y otra que muestra el costo de corregir problemas

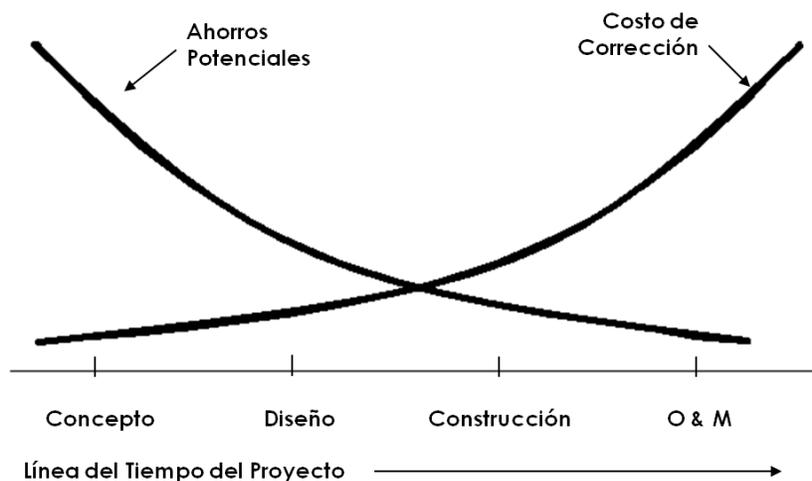


Ilustración 1 COSTO EN EL TIEMPO

La primera curva de ahorros muestra que implementar el proceso de Commissioning cuanto antes resulta en mayores ahorros potenciales, en comparación con contratarlo durante la etapa de construcción. Por otro lado, la segunda curva revela que corregir el proyecto en etapas tempranas es mucho más económico; a medida que avanza el proyecto, los costos aumentan.

4. METODOLOGÍA

Iniciamos este estudio reconceptualizando el proceso de puesta en servicio en términos amplios, reconociendo la importancia crítica del comisionamiento en proyectos industriales. Para estructurar nuestra conceptualización del commissioning, categorizamos las estrategias de puesta en marcha en cuatro enfoques: secuencial, paralela, funcional e integrada, considerando el riesgo operacional asociado. Esta clasificación se basa en un análisis exhaustivo de la literatura y la experiencia acumulada. Posteriormente, aplicamos una metodología de sistemas para integrar estas estrategias en el contexto más amplio de gestión de proyectos. Para validar la aplicabilidad de nuestro enfoque, lo implementamos de forma general, como caso de estudio, demostrando cómo un comisionamiento adecuado impacta directamente en la eficiencia operativa, reduciendo tiempos de

inactividad, mejorando la vida útil de los activos y optimizando costos de mantenimiento, además de la integridad de las personas y recursos naturales.

Esta combinación de análisis teórico respaldado por la práctica concreta, fortalece nuestro concepto metodológico y resalta la relevancia tangible del comisionamiento en la gestión efectiva de activos y operaciones industriales.

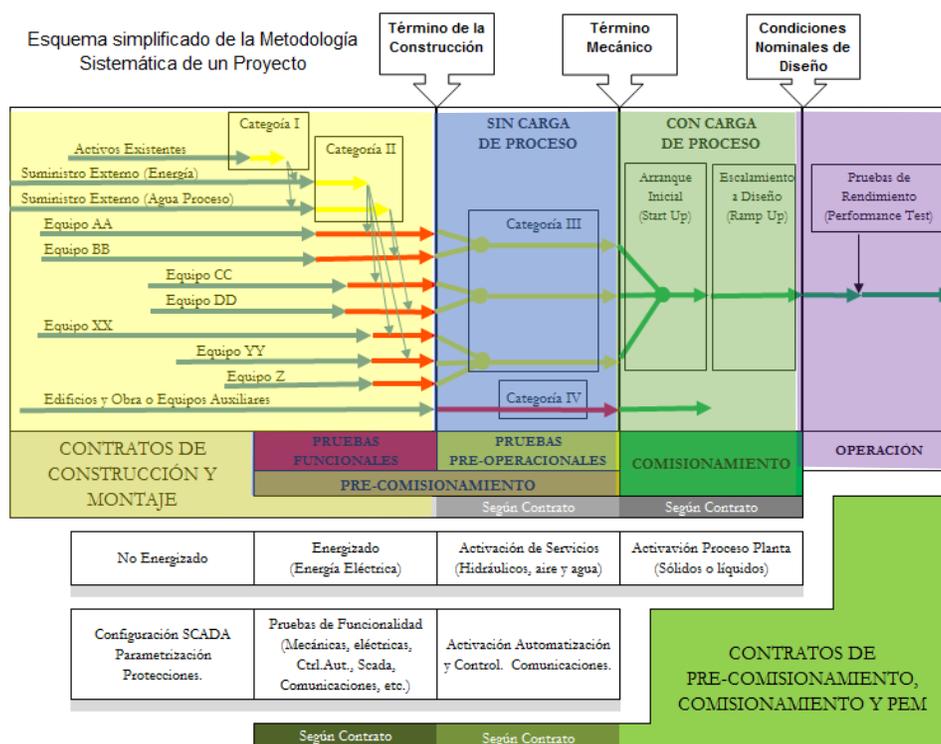


Ilustración 2 ESQUEMA SISTEMATICO DE LA EJECUCION DE UN PROYECTO

Fuente: <https://comisionamiento.wordpress.com/tag/commissioning/>

Este texto presenta una guía práctica sobre el proceso de comisionamiento en la industria, destacando las etapas que lo conforman y cómo estas se relacionan entre sí para facilitar una transición fluida desde el inicio del proyecto hasta una operación confiable. Estas etapas están definidas por el flujo del proceso y se distinguen principalmente en etapas energizadas y no energizadas, separadas entre ellas por la finalización y culminación tanto en ejecución de mano de obra, como en la entrega de la documentación que cada una de ellas requiere.

CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE (en amarillo):

Preparación e instalación física de los equipos, materiales y estructuras, siguiendo los documentos de diseño y los procedimientos técnicos del proyecto. Se llevan a cabo todas las verificaciones y procedimientos necesarios para garantizar el control de pérdidas, así como para asegurar la calidad y confiabilidad requeridas.

TÉRMINO DE CONSTRUCCIÓN. (Construction Completion, en azul):

Se refiere al estado en el cual todas las obras han sido construidas y los equipos montados conforme a las especificaciones técnicas estipuladas en el contrato de construcción y montaje electromecánico. En este punto, todo está listo para dar inicio a las pruebas de pre-comisionamiento o pruebas sin carga, en esta etapa no se tienen equipos energizados, pero se realizan pruebas de carga eléctrica y se realizan pruebas en equipos de control .

TÉRMINO MEÁNICO. (Mechanical Completion, en verde):

Este estado marca la culminación satisfactoria de las etapas de terminación de la construcción y pre-comisionamiento, incluyendo pruebas pre-operacionales, de todas las instalaciones. Ahora, están preparadas para el proceso de comisionamiento, en esta etapa ya se tienen equipos energizados y es donde comienza a ponerse carga de prueba para realizar la simulación de la operación, tanto en equipos mecánicos, eléctricos y de control.

5. ENFOQUE

Al reconsiderar el concepto de puesta en servicio en un marco más amplio, centrándonos especialmente en la gestión eficiente de activos durante la ejecución general de proyectos industriales y basado en la norma UNE-ISO 55000 2015, donde se define la gestión de activos como, proceso coordinado y sistemático de optimizar el valor y el rendimiento de los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida o dicho de otra manera, “la actividad coordinada de una organización para obtener valor a partir de los activos. La obtención del valor generalmente implicara balance de costos, riesgos, oportunidades y beneficios de desempeño. El término “actividad” tiene un significado amplio y puede incluir por ejemplo la planificación, los planes y su implementación”. Esta actividad se realiza a lo largo de todo el ciclo de vida del activo y tiene entre otros, los siguientes objetivos:

- Buscar la optimización de los costos de inversión, así como de los costos operativos y de mantenimiento a lo largo de todo el ciclo de vida de los activos.
- Tener un plan de mantenimiento adecuado que garantice una mayor disponibilidad del activo, cumpliendo con el nivel de rendimiento establecido para satisfacer las expectativas del usuario.
- Mitigar los riesgos asociados con la propiedad y operación de activos, incluyendo riesgos de seguridad, ambientales y financieros.

Para alcanzar estos y otros objetivos, es fundamental que las actividades que se realizan desde el inicio del ciclo de vida, como la gestión de proyectos y el commissioning, estén alineadas. El proceso de commissioning se enfoca en garantizar la calidad al obtener, verificar y documentar que el rendimiento de las instalaciones, sistemas y montajes cumple con los criterios y objetivos del diseño (*Commissioning and Qualification – An Overview*, 2022).

Para profundizar en la comprensión, clasificamos las estrategias de puesta en marcha según el riesgo operacional, prestando atención a su impacto en la gestión efectiva de activos a lo largo de todo el proyecto. Posteriormente, implementamos los métodos de modelado de sistemas para integrar estas estrategias en el contexto más extenso de la ejecución del proyecto, con el objetivo de visualizar de manera completa y detallada los procesos vinculados a la gestión de activos. Este enfoque sistemático destaca la importancia crítica de la gestión de activos en la optimización del rendimiento operativo durante todas las fases del proyecto industrial. Al proporcionar una visión más clara de cómo la gestión de activos se integra con la ejecución del proyecto, subrayamos su relevancia y aplicabilidad en diversos entornos industriales.

5.1. INTEGRACIÓN DE LA GESTIÓN DE ACTIVOS, EFICIENCIA OPERATIVA Y COMISIONAMIENTO PARA EL ÉXITO DE LA OPERACIÓN

La gestión efectiva de activos físicos no solo es esencial para optimizar la eficiencia operativa, sino que también desempeña un papel fundamental en el éxito general de las organizaciones. Al centrarse en el cuidado, mantenimiento y mejora de los activos tangibles, las empresas pueden mejorar significativamente su capacidad para alcanzar objetivos operativos y estratégicos. Evaluar el rendimiento de los activos, implementar estrategias de mantenimiento eficaces y tomar decisiones informadas son componentes cruciales de una gestión de activos eficiente. La medición efectiva de la gestión de activos y la eficiencia operativa se potencian significativamente cuando

se integran con los enfoques estratégicos del comisionamiento. Evaluar la eficacia en la gestión de activos, mediante indicadores clave como disponibilidad y confiabilidad (Moubray, s. f.), se alinea directamente con los objetivos del comisionamiento, que busca garantizar el funcionamiento óptimo de activos durante su ciclo de vida. Del mismo modo, la medición de la eficiencia operativa, utilizando KPI como productividad laboral y tiempos de ciclo de producción, se ve enriquecida cuando se consideran los protocolos de comisionamiento diseñados para maximizar la integración sin problemas de activos en operaciones cotidianas. En este contexto, la categorización de proyectos adquiere una dimensión estratégica más profunda. Los enfoques específicos de comisionamiento se adaptan a la diversidad de proyectos, desde instalaciones industriales hasta desarrollos urbanos, proporcionando una respuesta ágil y personalizada a las demandas de cada categoría. La meticulosa sincronización entre la medición de la gestión de activos, la eficiencia operativa y los procesos de comisionamiento se traduce en una sinergia dinámica que fortalece la capacidad de la organización para lograr resultados óptimos en todas las fases de sus proyectos.

5.2. VENTAJAS DEL PROCESO DE COMMISSIONING

El proceso de commissioning ofrece múltiples beneficios para la gestión de activos. Al aplicarse a todas las instalaciones, asegura que respondan eficazmente a las necesidades del usuario y funcionen de manera óptima en diversas condiciones. Desde la fase de proyecto, el commissioning garantiza la correcta especificación de las pruebas de puesta en marcha y la integración de elementos clave para su ejecución. El desarrollo de un plan director de puesta en marcha establece un marco claro de responsabilidades y alcance, facilitando la coordinación y el seguimiento. Durante las pruebas, se verifica la obtención de los parámetros de diseño y se asegura el cumplimiento de las condiciones de funcionamiento. Finalmente, el proceso valida la capacitación del personal de operación y ajusta los parámetros operativos según las necesidades reales de los usuarios.

- Reduce la documentación de aprobación del proyecto para el cliente.
- Control electrónico del proceso de gestión de las etapas del proyecto.
- Planificación de la estructura de inspección y pruebas.
- Estandariza procedimientos y métodos.

- Aumenta la competencia del personal con entrenamiento mínimo requerido, proporcionando así confianza al operador.
- Disponibilidad de condiciones ambientales higiénicas y sanitarias adecuadas.
- Reducir los consumos energéticos y los costos de operación.
- Optimización del funcionamiento, mantenimiento y vida útil de equipos y sistemas.

Podemos, por tanto esquematizar el Proceso de Commissioning, con ayuda de la siguiente figura:

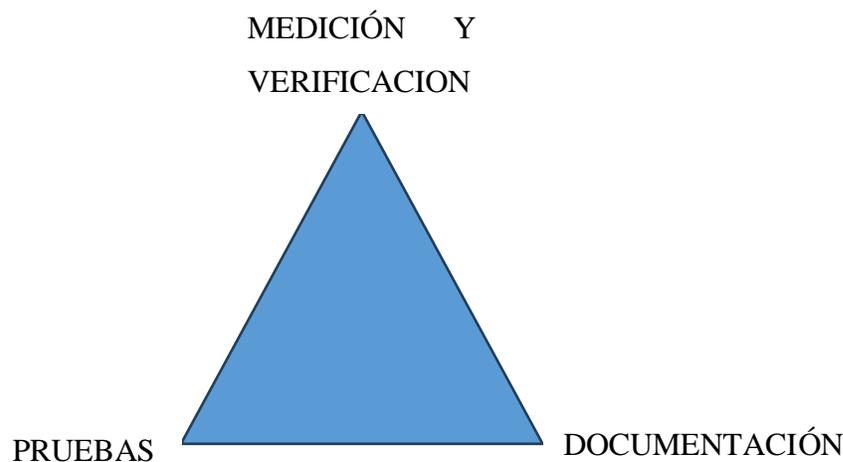


Ilustración 3 OPTIMIZACION DEL COMMISSIONING SINTESIS DE MEDICION

6. PREMISA INICIAL

Como punto de partida es importante entrar en contexto con los activos y analizar más específicamente, el valor del activo, el cual desde un punto de vista intrínseco, está vinculado al desempeño y la condición del activo, basado en un diseño específico, una construcción adecuada, una puesta en marcha eficiente y un modelo de operación y mantenimiento. Estos elementos determinan cómo evolucionará la condición del activo a lo largo del tiempo. Este valor del activo ha dado lugar a un indicador (FCI), Facility Condition Index o Índice de Condición de las Instalaciones en español, es un indicador utilizado en la gestión de activos y el mantenimiento de instalaciones para evaluar el estado general de un activo o conjunto de activos. Este índice proporciona una medida cuantitativa de la condición de las instalaciones en relación con su estado físico y funcional.

El FCI se calcula típicamente dividiendo el costo estimado de las reparaciones necesarias en un momento dado por el costo total de reemplazo de las instalaciones. La fórmula general para calcular el FCI es la siguiente:

$$FCI = \frac{\text{COSTO DE REPARACIONES}}{\text{COSTO TOTAL DE REEMPLAZO}}$$

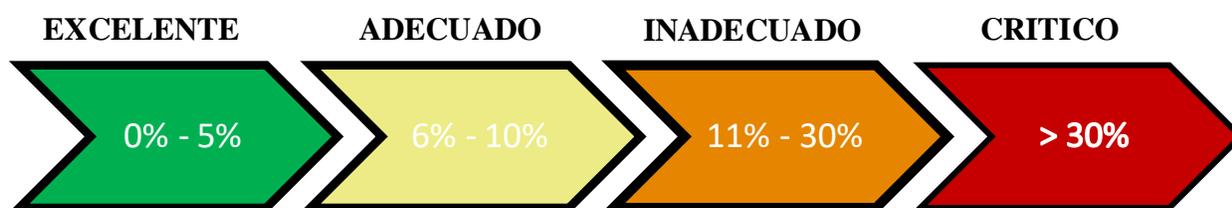


Ilustración 4 ANALISIS DEL FCI DE ACTIVOS

El resultado del cálculo del FCI suele expresarse como un valor porcentual, donde un valor más bajo indica una mejor condición de las instalaciones y un valor más alto indica una peor condición. El Facility Condition Index se utiliza comúnmente en la gestión de activos para ayudar a las organizaciones a tomar decisiones informadas sobre la asignación de recursos para el mantenimiento y la renovación de las instalaciones. Al monitorear el FCI a lo largo del tiempo, las organizaciones pueden identificar tendencias en el estado de las instalaciones y planificar intervenciones de mantenimiento de manera proactiva para evitar la degradación o el deterioro significativo de los activos. (Sebastiano et al., s. f.)

A lo largo de todas las fases del ciclo de vida de un proyecto, incluyendo la planificación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, así como el commissioning, pueden surgir una serie de factores que contribuyen al impacto negativo en el Índice de Condición de las instalaciones (FCI). En la fase de planificación y diseño, decisiones de fase de ingeniería como la selección de materiales de baja calidad o especificaciones inadecuadas pueden predisponer a los activos a un mayor riesgo de deterioro prematuro. Durante la construcción, un bajo standard técnico del trabajo y un mal control de calidad pueden influir directamente en la condición inicial de los activos. Una

vez en operación, la falta de mantenimiento adecuado, capacitación insuficiente del personal o un enfoque reactivo en lugar de preventivo, puede acelerar el deterioro de los activos y aumentar su FCI. Además, el commissioning, si no se lleva a cabo de manera efectiva, puede resultar en problemas de funcionamiento que afectan negativamente la condición de los activos y aumentan su FCI, lo cual sería contradictorio, teniendo en cuenta que en el buen desempeño de los activos se tiene una recuperación de la inversión y que además estos se tienen para la generación de valor. Ahora bien, es importante tener claro dos conceptos fundamentales cuando de activos se trata y que están estrechamente relacionados y que en oportunidades se confunde

- Gestión de activos
- Mantenibilidad de activos

La confiabilidad de los activos y su ciclo de vida son aspectos fundamentales para el éxito de una organización. La confiabilidad se refiere a la capacidad de los activos para funcionar correctamente cuando se requieren, dentro de su contexto operativo adecuado. Esta confiabilidad debe ser construida desde las etapas iniciales de adquisición de los activos y mantenida a lo largo de todo su ciclo de vida.

La construcción de la confiabilidad comienza en la fase de adquisición, donde las decisiones tomadas tienen un impacto significativo en el desempeño futuro de los activos. Por otro lado, la sostenibilidad de la confiabilidad se enfoca en las etapas de operación y mantenimiento, donde interactúan tanto los equipos como el personal humano. Durante estas etapas, se observa cómo los activos son operados, mantenidos y renovados, lo que tiene un efecto considerable en su confiabilidad a lo largo del tiempo.(Rausand et al., 2020)

La Gestión de Activos Físicos abarca todo el ciclo de vida de estos activos, desde su adquisición hasta su disposición, implica el desarrollo de políticas, procedimientos y roles estratégicos, esta área es responsable de establecer políticas y determinar los tipos de mantenimiento a implementar en la organización, ya sea reactivo, preventivo o predictivo.

De este modo, la gestión de mantenimiento se encarga de planificar y asignar tareas de mantenimiento a los activos físicos, supervisar su ejecución y programar las actividades necesarias para su cuidado.(Parra & Crespo, 2012)

¿Cuál es entonces la diferencia entre la gestión de mantenimiento y la gestión de activos físicos?

La gestión de activos físicos, aunque relacionada, se enfoca en diseñar políticas y estrategias para asegurar la colaboración entre los departamentos de la empresa en la consecución de objetivos organizacionales. El mantenimiento es solo uno de los departamentos que se integran en esta labor, alineándose con los objetivos del negocio. Ambos contribuyen al rendimiento óptimo de los activos físicos, reduciendo costos operativos y maximizando el retorno de la inversión (*Komplett_Maintenance_in_asset_management_and_the_influence_of_ISO_55_000_27.10.16.pdf*, s. f.).

De este modo y teniendo en cuenta que el commissioning se involucra en todas las etapas del proyecto, no es una excepción con los activos del mismo, con el fin de obtener una eficiencia en su operación y como ya se dijo anteriormente en la obtención de valor.

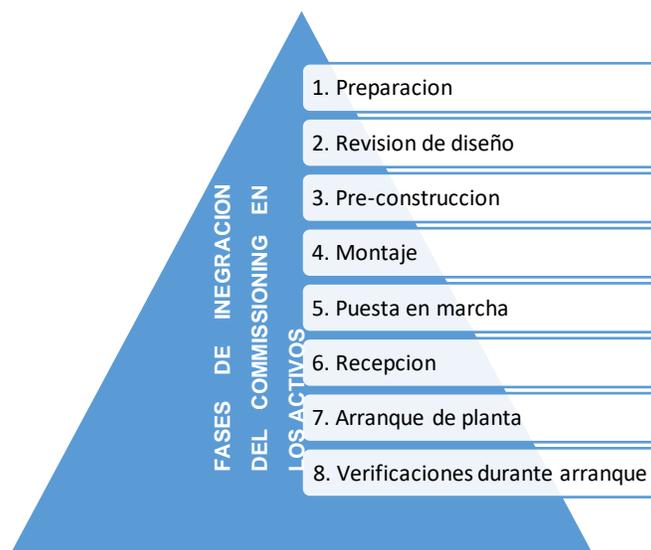


Ilustración 5 INTEGRACION POR FASES COMMISSIONING ACTIVOS

El mantenimiento y el commissioning son componentes esenciales en el ciclo de vida de un proyecto, una construcción o en la vida útil de un activo en particular. Durante el proceso de commissioning, se llevan a cabo pruebas exhaustivas para garantizar que todos los sistemas y equipos funcionen correctamente al inicio de la operación, estableciendo estándares de rendimiento y procedimientos operativos. El mantenimiento, por otro lado, entra en juego después de la finalización del commissioning, asegurando que los sistemas continúen operando de manera

eficiente y segura a lo largo de su vida útil (Ángel et al., 2017). Esto implica la implementación de programas de mantenimiento preventivo, inspecciones periódicas, ajustes de parámetros y formación del personal. Ambos procesos se complementan entre sí para garantizar el rendimiento óptimo y la fiabilidad a largo plazo de los sistemas y equipos instalados («El ciclo de vida y la gestión de activos.», 2019).

Es crucial reconocer la importancia de ambas fases para garantizar la vida útil de los activos. Durante las pruebas y la fase de commissioning, se pueden realizar los primeros acondicionamientos e instalación de instrumentos de medición. Esto permite establecer mediciones y recopilar datos clave que servirán como base para implementar metodologías de mantenimiento predictivo y mantenimiento basado en condición (Predictiva21, 2019).

Estos datos iniciales proporcionan información valiosa sobre el comportamiento operacional de los activos desde el inicio de la operación. Esto permite tomar decisiones informadas y proactivas en relación con el mantenimiento, identificar tendencias tempranas de deterioro o desviaciones en el rendimiento, y planificar intervenciones de mantenimiento de manera más eficiente. Además, la integración de sistemas de monitoreo continuo durante la fase de commissioning facilita la recopilación continua de datos, lo que alimenta aún más las estrategias de mantenimiento predictivo y basado en condición a lo largo de toda la vida útil de los activos

7. VALIDACIÓN ESTRATÉGICA DEL PROYECTO Y CLAVES PARA EL CICLO DE VIDA

Las expectativas del dueño del proyecto son el punto de partida para la gestión estratégica del mismo, ya que determinan qué tipo de activo se desea tener y qué tipo de gestión debe llevarse a cabo. Es crucial revisar los aspectos de valor del activo y las estrategias de manejo, especialmente en los apartados de Operación y Mantenimiento, con el objetivo de optimizar los costos a lo largo de su Ciclo de Vida.

Para lograr esto, es necesario responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué rendimiento se espera del activo físico? Esta pregunta es esencial tanto para garantizar la disponibilidad del activo como para satisfacer las demandas del cliente.
- ¿Cuáles serán los costos totales del Ciclo de Vida? Esto debe evaluarse desde dos perspectivas:

- a. Como criterio de selección entre diferentes opciones de diseño, en todos los procesos de selección de equipos.
- b. Para anticipar las necesidades de capital, tanto en términos de CAPEX como de OPEX, y verificar que sean compatibles con la estrategia del propietario.

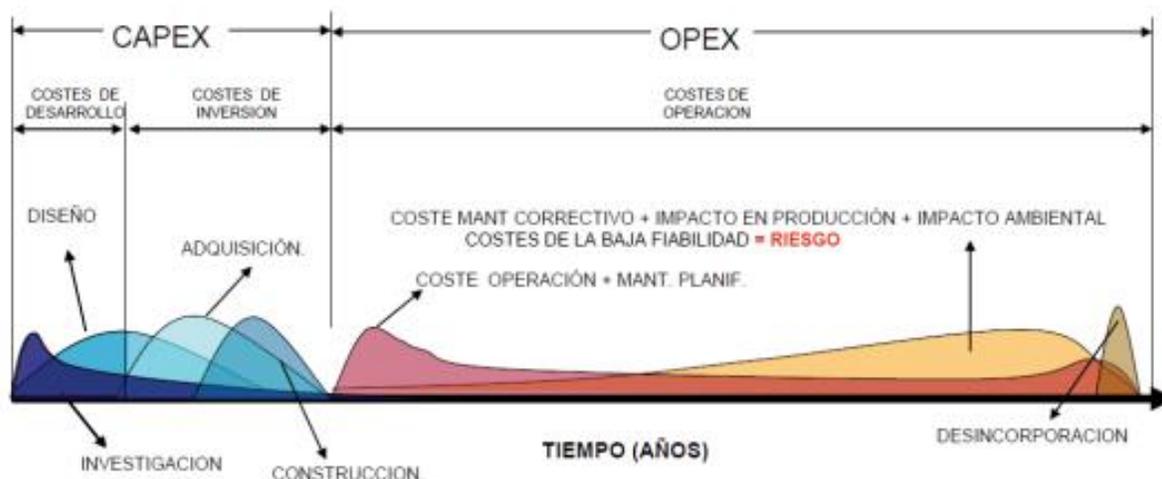


Ilustración 6 COSTOS DEL CICLO DE VIDA

Durante la etapa de OPEX, que se caracteriza por una duración prolongada del proyecto, es fundamental asegurar una operación confiable y eficiente. Esta confiabilidad se logra mediante un adecuado desarrollo del commissioning durante la etapa de CAPEX.

El CAPEX (Gastos de Capital) se refiere a los costos asociados con la adquisición inicial de activos, equipos y tecnologías necesarias para la puesta en marcha del proyecto. Por otro lado, el OPEX (Gastos Operativos) comprende los costos recurrentes relacionados con la operación y mantenimiento continuo del proyecto durante su vida útil. Es en esta fase donde se busca maximizar la confiabilidad del sistema a través de un adecuado desarrollo del commissioning durante la etapa de CAPEX. (Fuenmayor, 2020)

La Gestión de Proyectos, se define como la aplicación de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas para cumplir con los requisitos del proyecto. Se logra mediante la adecuada aplicación e integración de los procesos de dirección de proyectos, agrupados en 5 grupos: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y control, y cierre. Dirigir un proyecto implica identificar

requisitos, abordar necesidades y expectativas de los interesados, y equilibrar restricciones como alcance, calidad, cronograma, presupuesto, recursos y riesgo.

En la gestión de activos físicos, la gestión de proyectos es crítica en la fase de construcción, pero influye notablemente en la Operación y Mantenimiento del Activo. Destaca el papel de la gestión de proyectos en relación con los requerimientos de proyecto de la propiedad, documentos contractuales, bases de diseño, documentos de construcción, planos de coordinación y coste del ciclo de vida.

En proyectos para restablecer condiciones operativas en plantas existentes, la dirección de proyectos considerará los requerimientos actuales del mismo.

Las prestaciones de un activo son cruciales para su desempeño a lo largo de su vida útil. Estas prestaciones, que satisfacen las necesidades del cliente y permiten una explotación exitosa del activo, deben ser trazables desde su origen hasta su fase de operación y mantenimiento. Aquí es donde entra el proceso de commissioning, que comienza desde que el cliente establece las prestaciones deseadas.

El commissioning se divide en dos etapas:

- Etapa de Construcción / Adquisición del Activo: En el caso de construcción, el proceso se centra en verificar y documentar que el proyecto y todos sus sistemas cumplen con los requisitos de rendimiento. En el caso de plantas existentes, se llama Retrocommissioning, que busca cumplir con los requisitos actuales de la planta y sus sistemas.
- Etapa de Operación y Mantenimiento: En esta etapa, el commissioning se convierte en un proceso continuo, que verifica que el proyecto sigue cumpliendo con los requisitos actuales y evolucionados. Optando por sistemas del tipo Building automation and control systems (BACS) para medir continuamente las prestaciones de las instalaciones.

8. GESTIÓN INTEGRAL DE PUESTA EN MARCHA Y PRUEBAS EN PROYECTOS DE INGENIERÍA DE INFRAESTRUCTURA.

Considerando la relevancia del desarrollo de la gestión de proyectos y del commissioning para lograr una operación exitosa y activos con una vida útil prolongada, que a su vez representen una satisfacción para la organización, se presenta un modelo de gestión para el arranque de una planta.

8.1. DEFINICIONES DE INICIO

El commissioning efectivo de una planta industrial comienza en las primeras etapas del proyecto, durante la fase de diseño y construcción. Esta estrategia garantiza una planificación integral y una identificación temprana de posibles problemas. Al involucrar a todas las partes interesadas relevantes desde el principio, se fomenta una colaboración efectiva y una comprensión compartida de los objetivos del commissioning. Durante esta fase inicial, se desarrolla un plan detallado que establece objetivos claros, actividades específicas y un cronograma de ejecución. Esto proporciona una guía clara para el proceso de commissioning y asegura que se cumplan los requisitos operativos y de seguridad con pruebas para revisar los riesgos asociados. Además, iniciar el commissioning temprano permite la realización de pruebas preliminares en sistemas y equipos individuales, lo que facilita la identificación y resolución temprana de problemas potenciales. En última instancia, esta metodología de inicio temprano reduce la probabilidad de retrasos y costos adicionales, garantizando un commissioning eficiente y exitoso.

Una práctica recomendable es establecer una taxonomía clara de la planta (Correa-Correa & Franco-Cardona, 2021), respaldada por un diagrama de flujo del proceso. Esto permite definir secuencias lógicas en los procesos y obtener un entendimiento completo de su composición y los activos que conforman el proyecto. De esta manera, se pueden establecer prioridades adecuadas según la complejidad de cada sistema y subsistema. Es importante destacar que este proceso se enmarca en el commissioning, que puede diferir significativamente del marco de operación y mantenimiento.

La importancia de definir la taxonomía está enmarcada de la siguiente manera, la taxonomía de una planta industrial en el contexto del commissioning se refiere a la clasificación y organización sistemática de todos los componentes, sistemas y procesos dentro de la planta, con el fin de facilitar la planificación, ejecución y seguimiento del proceso de commissioning. Esta taxonomía debe abordar una serie de criterios para garantizar una implementación exitosa del commissioning.

Algunos de los aspectos más importantes de esta taxonomía incluyen:

- **Identificación de sistemas y subsistemas:** La taxonomía debe incluir una lista exhaustiva de todos los sistemas y subsistemas presentes en la planta industrial, desde equipos individuales hasta sistemas interconectados.
- **Definición de interfaces:** Es crucial definir las interfaces entre los diferentes sistemas y subsistemas para garantizar una integración adecuada durante el commissioning.

- Documentación detallada: Se deben incluir descripciones detalladas de cada sistema, incluyendo especificaciones técnicas, diagramas de flujo, listas de equipos, entre otros documentos pertinentes.
- Asignación de responsabilidades: La taxonomía debe especificar claramente quién es responsable de cada sistema o subsistema durante el proceso de commissioning, incluyendo contratistas, subcontratistas y personal interno.
- Planificación de pruebas y verificaciones: Debe contener un plan detallado para las pruebas y verificaciones que se llevarán a cabo durante el commissioning, incluyendo criterios de aceptación y procedimientos de retroalimentación.

La taxonomía se debe desarrollar en las etapas iniciales del proyecto, durante la fase de diseño conceptual y detallado de la planta industrial. Sin embargo, se revisará y actualizará continuamente a lo largo del ciclo de vida del proyecto, a medida que se realicen modificaciones y mejoras en la planta.

Para la realización de esta taxonomía, se requiere un amplio conjunto de materiales de apoyo, que incluyen:

- Especificaciones técnicas de los equipos y sistemas.
- Planos de ingeniería detallados.
- Documentación de diseño, como diagramas de flujo de proceso y diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).
- Informes de análisis de riesgos y seguridad.
- Procedimientos operativos estándar (SOP).
- Planes de mantenimiento preventivo y predictivo.

Y en cuanto a activos debe proporcionar información relevante como:

- Función y ubicación: Clasificar los activos según su función específica dentro del proceso industrial y su ubicación física en la planta.
- Tipo de equipo: Organizar los equipos y sistemas de la planta según su tipo, como bombas, compresores, intercambiadores de calor, etc.
- Interconexiones: Identificar y documentar las interconexiones entre los diferentes equipos y sistemas mediante el uso de diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) y diagramas de flujo de procesos.

-
- Estado y condición: Evaluar el estado y la condición de los activos para determinar si están listos para la puesta en marcha y operación.
 - Requerimientos de mantenimiento: Clasificar los activos según sus requerimientos de mantenimiento y las estrategias de mantenimiento que se aplicarán durante el ciclo de vida del proyecto.

También de acuerdo a una categorización:

- Equipos principales: Esta categoría incluye los equipos principales de la planta que son críticos para el proceso de producción. Esto puede abarcar desde reactores y tanques de almacenamiento hasta intercambiadores de calor y unidades de destilación.
- Sistemas de control y automatización: Aquí se agrupan todos los sistemas de control y automatización utilizados para monitorear y controlar los procesos en la planta. Esto puede incluir sistemas de control distribuido (DCS), sistemas de seguridad instrumentados (SIS), sistemas de control de motores, entre otros.
- Utilidades: Esta categoría abarca los sistemas y equipos utilizados para suministrar servicios auxiliares necesarios para el funcionamiento de la planta, como agua, vapor, aire comprimido, energía eléctrica, entre otros.
- Instrumentación y sensores: Se refiere a los dispositivos de medición y control utilizados para monitorear las variables de proceso y garantizar un funcionamiento óptimo de la planta. Esto puede incluir transmisores de presión, caudalímetros, termopares, entre otros.
- Infraestructura civil y eléctrica: Aquí se incluyen todas las estructuras civiles y sistemas eléctricos necesarios para soportar las operaciones de la planta, como edificios, cimentaciones, sistemas de iluminación, sistemas de distribución eléctrica, entre otros.
- Servicios de apoyo: Esta categoría engloba los servicios y recursos necesarios para el mantenimiento y soporte de la planta, como el departamento de mantenimiento, el almacén de repuestos, el laboratorio de análisis, entre otros.

8.2. PUESTA EN MARCHA EN PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA: METODOLOGÍA Y ETAPAS

De acuerdo con la metodología presentada, se expone la propuesta de commissioning, basada en la experiencia acumulada y los logros alcanzados en proyectos anteriores. Se establecen criterios

de aceptación para progresar de una fase a otra del proceso, con el objetivo de entregar un proyecto optimizado desde el inicio de la operación.

Es importante reconocer la gestión de commissioning como una práctica crucial en proyectos de infraestructura, aunque no esté definida explícitamente por el PMI. Incorporar profesionales con experiencia en construcción y montaje desde las etapas iniciales del proyecto es una estrategia comúnmente adoptada por grandes compañías.

La metodología de commissioning se basa en un enfoque de sistemas, utilizando la Estructura de desglose del trabajo (WBS) y los planos P&ID y unilineales para unificar unidades, equipos e instalaciones en sistemas funcionales. Se establece una categorización estándar para clasificar los sistemas según sus características funcionales y la taxonomía.

Las pruebas pre-operacionales, que incluyen pruebas de funcionamiento de los equipos a nivel de sistemas y sistemas de soporte, se llevan a cabo utilizando líquidos y materiales sustitutos. Luego, se procede al pre-comisionamiento, donde se prueban los equipos e instalaciones como un conjunto, pero sin carga real. Posteriormente, se alcanza la terminación mecánica, indicando que todas las obras y equipos están listos para iniciar las pruebas de pre-comisionamiento.

La etapa de comisionamiento implica probar los equipos e instalaciones como un conjunto con carga real, verificando su funcionalidad y sincronización. Finalmente, se realizan pruebas de rendimiento para garantizar el cumplimiento de los criterios establecidos en los contratos tecnológicos de ingeniería.

Este proceso, aunque complejo, es fundamental para garantizar el éxito de los proyectos de infraestructura. Las definiciones y procedimientos deben ser claros y bien documentados para evitar malentendidos y garantizar una ejecución efectiva.

Para este propósito, se implementa una categorización estándar con el fin de clasificar los sistemas según sus características funcionales en el contexto de los proyectos. La asignación numérica será realizada por la empresa de ingeniería o comisionamiento, siguiendo sus criterios organizacionales. Categoría I: Engloba los equipos de planta (activos) destinados a proyectos "Brownfield" que requieren repotenciación, actualización o sustitución, y que generalmente contribuyen al proceso de construcción y montaje. En esta categoría, se incluyen principalmente elementos como grúas, tecles, servicios existentes y estanques. No obstante, también se pueden encontrar otros activos o instalaciones del mandante que deben ser clasificados en esta categoría.

Sistemas de Categoría II: comprenden los servicios externos de utilidad, que brindan apoyo al proceso sin formar parte integral del mismo. Esta categoría engloba sistemas como suministro eléctrico, suministro de agua (de diferentes tipos), suministro de aire, suministro hidráulico para accionamientos, así como sistemas de control, monitoreo, muestreo y comunicación.

Sistemas de Categoría III: comprenden todos los sistemas de proceso, donde se integran equipos e instalaciones para formar un sistema funcional. En estos casos, es recomendable subdividir el Sistema de Proceso en Subsistemas, basados en áreas productivas dentro de la planta. Esta subdivisión facilita la gestión y el control eficientes del proceso. Además, se incluyen los equipos unitarios que aportan reactivos u otros elementos al proceso.

Sistemas de Categoría IV: se refieren a las edificaciones e instalaciones auxiliares de la planta. Esta categoría engloba tanto los edificios como las utilidades asociadas, así como los equipos de respaldo, ya sean eléctricos o basados en combustibles.

8.3. PROPUESTA DE ETAPAS DEL COMMISSIONING

8.3.1. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE:

Este proceso implica la preparación e instalación física de equipos, materiales y edificaciones conforme a los documentos de diseño y procedimientos técnicos del proyecto. Durante esta etapa, se llevan a cabo todas las verificaciones y procedimientos necesarios para garantizar el control de pérdidas, la calidad y la confiabilidad de la obra.

8.3.2. PRUEBAS FUNCIONALES:

Las pruebas funcionales implican la verificación del funcionamiento, nivelación y tolerancias de los equipos montados de manera individual. Estas pruebas se llevan a cabo a nivel de los componentes y elementos constructivos respectivos, e incluyen verificaciones de la continuidad de los circuitos de control de motores e instrumentos, así como la dirección de giro de los motores, pruebas de vibración y pruebas hidrostáticas para cañerías, entre otros aspectos.

Sin embargo, es importante señalar que en la literatura y práctica del campo, se pueden encontrar términos como "Pre-Comisionamiento", "Pre-Operacionales", "Funcionales" e incluso "Puesta en Marcha", que a veces pueden generar confusiones debido a la traducción y a la variabilidad de esquemas encontrados en diferentes aplicaciones, como las industrias petroquímica, farmacéutica, energética y de edificaciones.

8.3.3. TÉRMINO DE CONSTRUCCIÓN:

El "Término de Construcción" se refiere al estado en el que todas las obras han sido completadas y los equipos montados de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en el contrato de construcción y montaje electromecánico. En este punto, las instalaciones están listas para iniciar las pruebas de pre-comisionamiento. Se espera que, después de realizar caminatas y revisar el "Listado de Observaciones o Hallazgos" (Punch List), todos los puntos pendientes que puedan afectar la seguridad de las personas o equipos, o que impidan su funcionamiento normal, estén resueltos. Además, se espera que todos los protocolos de construcción y montaje estén disponibles para su revisión por parte del equipo responsable de la etapa de pre-comisionamiento.

Es importante destacar que, si bien esta definición proporciona una guía general, en la práctica, la realidad puede diferir debido a factores como prioridades dictadas por costos y estado de pago. Esta discrepancia es particularmente evidente en contratos EPCM, donde la construcción se subcontrata por sistemas o áreas dependientes, lo que puede generar complicaciones debido a las dependencias entre subcontratistas. Por ejemplo, retrasos en la finalización de obras civiles pueden impactar en el cronograma de montaje electromecánico.

Además, se observa una confusión entre el "Término Mecánico", que ocurre posteriormente a las pruebas pre-operacionales, y el "Término de Construcción". Ambas pruebas funcionales y pre-operacionales son parte integral del proceso de pre-comisionamiento y requieren la energización de las instalaciones. Por lo tanto, es fundamental abordar estas complejidades durante la fase de ingeniería de detalles y definición de alcances en la "Fase Oficina" del proceso

8.3.4. PRUEBAS PRE-OPERACIONALES:

Las pruebas pre-operacionales implican la verificación de los equipos a nivel de sistemas, principalmente en sistemas de categoría III, aunque también se consideran los sistemas de categoría I y II, de manera anticipada. Estas pruebas comprenden la evaluación de todos los comandos y controles de proceso, así como de los enclavamientos y otras funciones de seguridad.

Se trata de pruebas de operación que involucren un conjunto de equipos que conforman el sistema, realizadas para cada sistema específico. Durante estas pruebas, se emplean líquidos y materiales sustitutos diferentes a aquellos que se utilizarán en el proceso industrial. Es importante destacar que estas pruebas se realizan sin carga de proceso, es decir, antes de que la planta entre en operación comercial.

En situaciones donde no es posible realizar pruebas con materiales sustitutos, se enfoca la verificación en los enclavamientos y otras funciones de seguridad, como paradas de emergencia y señales de niveles u otras emergencias.

Es relevante señalar que tanto las pruebas funcionales como las pruebas pre-operacionales son parte integral del proceso de pre-comisionamiento. Sin embargo, se diferencian en que las pruebas pre-operacionales se realizan a nivel de conjuntos que conforman sistemas o subsistemas, mientras que las pruebas funcionales son unitarias.

8.3.5. PRE-COMISIONAMIENTO:

El pre-comisionamiento es una etapa crítica en la ejecución de proyectos de ingeniería, donde los equipos y componentes son sometidos a pruebas individuales en vacío o con materiales sustitutos que simulan la carga real. Durante esta fase, se llenan las líneas de cañerías de agua de proceso para verificar estanqueidades y se realiza la primera energización para probar motores e instrumentos.

Estas pruebas, denominadas estáticas para el proceso, deben llevarse a cabo de acuerdo con procedimientos específicos, y se deben generar protocolos correspondientes para documentar los resultados. Durante el pre-comisionamiento, también se pueden realizar los primeros chequeos de partida y detención de equipos mediante el sistema DCS (Sistema de Control Distribuido), aunque no se llega a probar la lógica de control en esta etapa.

Es importante destacar que durante el pre-comisionamiento pueden surgir puntos adicionales de "Punch List", los cuales deben ser abordados antes de avanzar a la etapa de comisionamiento o pre-operacional, especialmente si estos puntos afectan la seguridad de las personas o equipos, o impiden su funcionamiento normal.

Durante esta etapa, es fundamental identificar los equipos más importantes mediante tarjetas de evidencia (típicamente color amarillo) para documentar la realización de pruebas. Esta etapa también se conoce como "Puesta en Marcha en Vacío o sin Carga".

A pesar de su importancia, el pre-comisionamiento puede presentar desafíos debido a la falta de claridad en el alcance del contratista ejecutante del montaje, la disponibilidad de personal capacitado para desarrollar procedimientos adecuados, y la disponibilidad de suministros externos como energía eléctrica o agua de proceso.

Por lo tanto, es crucial abordar el pre-comisionamiento durante la fase de ingeniería de detalles para garantizar una gestión eficiente de la puesta en marcha del proyecto.

8.3.6. TÉRMINO MECÁNICO:

El "Término Mecánico" es un estado crucial en el desarrollo de proyectos de ingeniería, que marca el final de las etapas de Construcción y Pre-Comisionamiento, incluyendo las pruebas Pre-Operacionales. En este punto, todas las instalaciones han completado satisfactoriamente estas etapas y están listas para ser comisionadas.

Para alcanzar el "Término Mecánico", no debe haber puntos pendientes de "Punch List" que puedan afectar la seguridad de las personas o equipos, ni impedir su funcionamiento normal. Además, toda la documentación de pruebas debe haber sido completada de acuerdo con el plan de control de calidad y aseguramiento de la calidad del proyecto.

En algunos casos, el "Término Mecánico" puede ser un hito contractual importante, que puede ser certificado mediante un documento firmado por ambas partes: el Contratista y el Dueño del proyecto si así se requiere, esto dependiendo del tipo contractual que se maneje en el proyecto. Al alcanzar este hito, todos los Paquetes de Entrega (Turn Over Package, TOP) deben estar preparados y entregados al cliente.

Es importante destacar que alcanzar el término mecánico puede ser complejo debido a los intereses contractuales y las necesidades específicas del proyecto para avanzar a las pruebas con carga. En algunos contratos, el contratista es responsable de los daños de los equipos desde que los retira de las bodegas internacionales del gente del EPCM hasta la entrega formal mediante el documento de término mecánico.

Por lo tanto, es fundamental validar y confirmar los alcances del término mecánico en los contratos de construcción durante la etapa de Ingeniería de Detalles, para asegurar un proceso de finalización del proyecto fluido y exitoso.

8.3.7. COMISIONAMIENTO O PUESTA EN MARCHA:

El comisionamiento es una etapa crucial en la ejecución de proyectos de ingeniería, donde los equipos e instalaciones se prueban como un conjunto, con carga real, para verificar su funcionalidad y la sincronización de todos sus componentes. Durante esta etapa, todas las pruebas de comisionamiento se realizan de acuerdo con procedimientos específicos, y se generan protocolos correspondientes para documentar los resultados.

Este proceso produce dos estados distintos: primero, el arranque inicial con carga, donde se realizan pruebas para obtener los movimientos y señales correspondientes, incluyendo los re-chequeos de lazos de control y las pruebas de la lógica de control mediante el Sistema de Control Distribuido

(DCS); segundo, el proceso de escalamiento de producción, donde se aumenta gradualmente la carga hasta alcanzar las condiciones nominales de diseño.

Durante el comisionamiento, es común utilizar tarjetas de color (típicamente verde) en los equipos e instalaciones principales para indicar que se encuentran en esta etapa del proceso. También se le suele denominar puesta en marcha con carga.

Sin embargo, el comisionamiento puede ser complejo debido a diversos factores. Por ejemplo, la responsabilidad del contratista de montaje puede haber terminado, pero aún se requiere personal de apoyo para supervisión y actividades de reparación. Además, es fundamental asegurar una buena coordinación entre los diferentes contratistas involucrados en proyectos para garantizar que todos alcancen aproximadamente el mismo estado al mismo tiempo.

Es prioritario que en esta etapa se prueben y validen los sistemas de control, así como la filosofía de control establecida para el proyecto. No puede permitirse continuar si no se han validado los estudios de protecciones o los lazos de control, ya que esto podría resultar en sobrecostos significativos.

8.3.8. ARRANQUE INICIAL (START-UP):

El arranque inicial es el proceso que inicia cuando se toman acciones para probar con carga y poner en operación la planta o unidad. Se considera completado cuando la planta o unidad funciona a su capacidad inicial o mínima de diseño y produce de acuerdo con las especificaciones determinadas por las pruebas de funcionamiento.

Una vez finalizadas las pruebas pre-operacionales y entregados los paquetes de entrega (TOPs), con una lista de pendientes ("Punch List") únicamente con puntos de prioridad que permitan dar arranque y posteriormente cerrarlo, la planta o unidad está lista para iniciar el arranque inicial propiamente dicho. Para esto, se requiere un procedimiento específico donde se estipule claramente la secuencia de partida, las responsabilidades específicas y los recursos necesarios. Es fundamental verificar antes de iniciar el proceso que todos los servicios requeridos estén disponibles, como energía, aire, instrumentación, agua de proceso, así como insumos y reactivos.

Es importante destacar que el arranque inicial es un estado temporal de inicio con partidas con carga en las mínimas condiciones de operación. Es necesario distinguir este proceso del escalamiento a condiciones nominales de diseño o Ramp Up, donde se logra operar la planta o unidad con condiciones controladas, cumpliendo una curva de escalamiento programada de acuerdo a características específicas, como minerales, reactivos seleccionados, calidad y

disponibilidad de insumos externos. Estos parámetros son establecidos por los ingenieros de procesos o, en esta etapa, el ingeniero procesista.

8.3.9. ESCALAMIENTO A CONDICIONES NOMINALES DE DISEÑO (RAMP-UP):

Es un proceso que se inicia al finalizar el arranque inicial de la planta, sin parametrizar estados de producción. Consiste en aumentar el proceso productivo bajo ciertas condiciones establecidas por un análisis del proceso, generando una curva de escalamiento y estabilización de control hasta alcanzar las condiciones nominales de diseño en el tiempo establecido, de acuerdo a la disponibilidad y calidad de los insumos externos.

El ritmo de escalamiento puede variar contractualmente y puede ser prolongado, dependiendo de la ingeniería final, calidad de la construcción y el procedimiento de puesta en marcha. A menudo se define una curva de "Ramp Up" para cumplir en un período de tiempo determinado, o con períodos de estabilidad de planta. El cumplimiento del 100% del nivel de producción nominal de diseño puede ser un hito contractual, asociado a premios o castigos y al cierre final del contrato y proyecto.

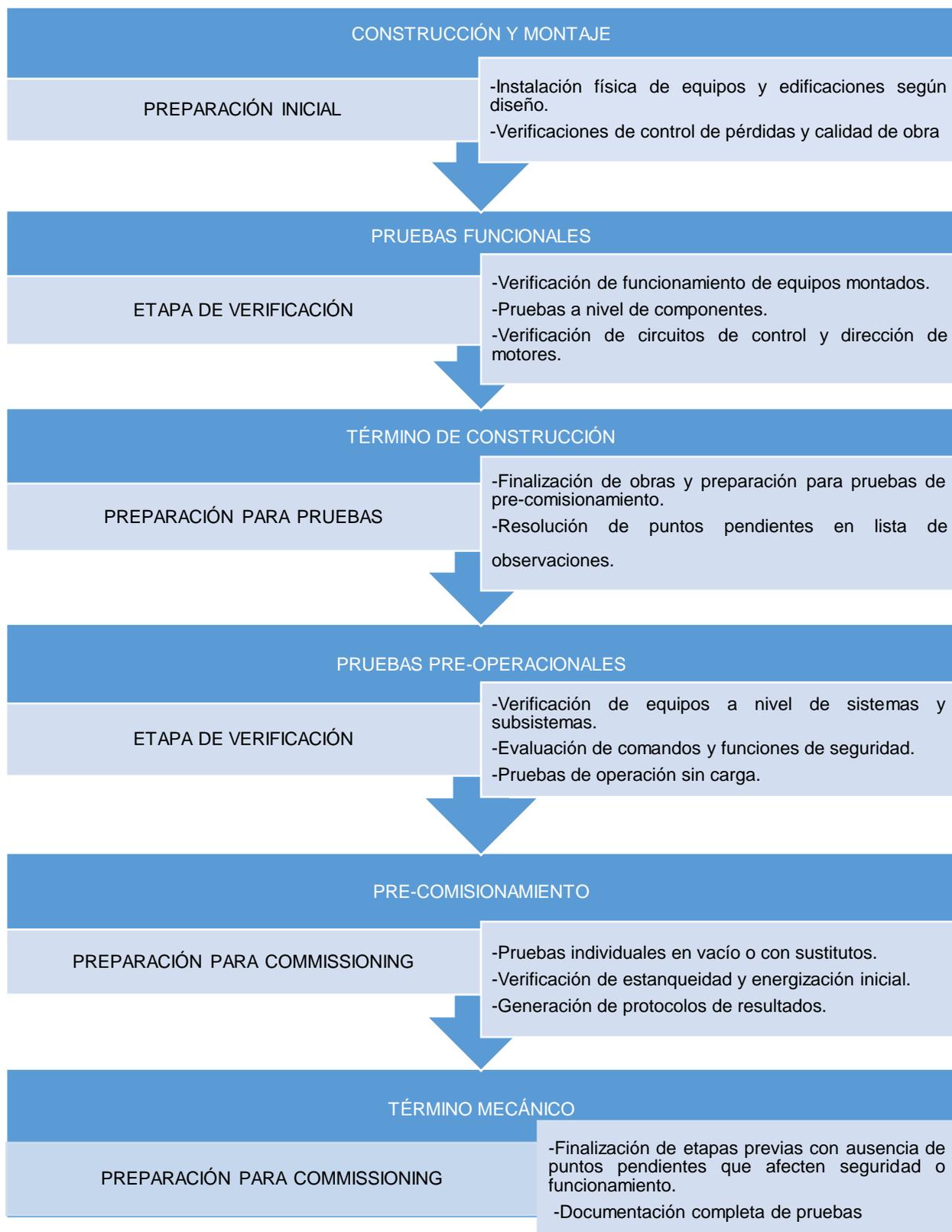
Esta etapa es responsabilidad de los Ingenieros de Proceso, quienes deben monitorear el comportamiento del proceso paso a paso. Además, es el momento en que los mantenedores, ya sean propios de la organización o externos, deben iniciar los planes de mantenimiento previamente establecidos y confirmar los FMECA realizados con anterioridad. Estas bases sirven para generar el control estadístico de mantenimiento a través de programas como SAP, MIMS, PAS, entre otros.

8.3.10. PRUEBAS DE RENDIMIENTO (PERFORMANCE TEST):

Representan la etapa final de la gestión de puesta en marcha, donde se llevan a cabo las pruebas finales de rendimiento según lo establecido en los alcances de los contratos tecnológicos de ingeniería.

Estas pruebas son exigidas cuando han sido ofrecidas por el proveedor de equipos o tecnologías globales de procesos. En estos casos, el proveedor establece condiciones del proceso que deben cumplir los equipos o instalaciones, dejando una garantía monetaria por ello o estableciendo el último estado de pago, lo que cierra el contrato tipo EPC.

(Killcross, 2011)



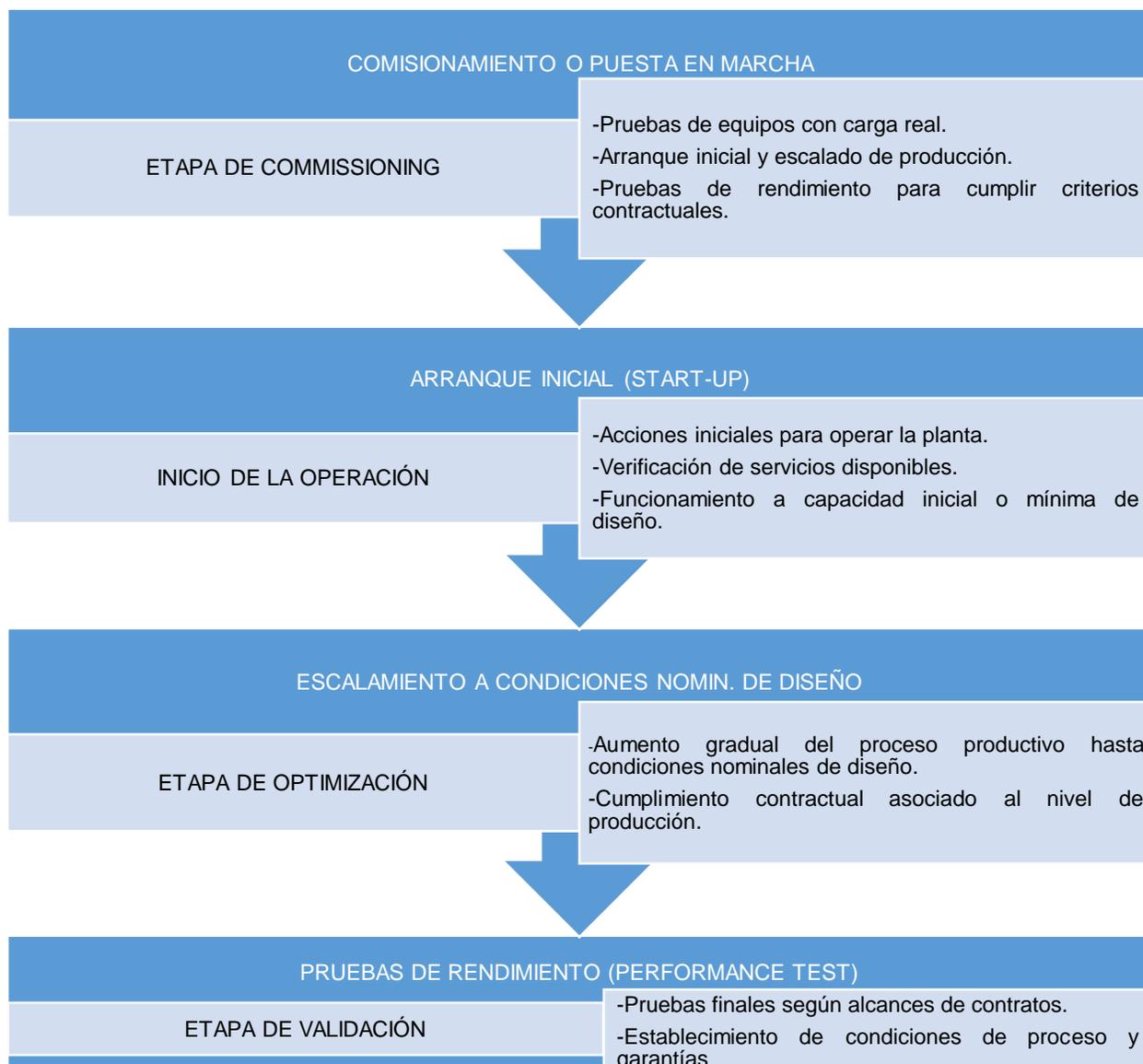


Tabla ETAPAS DE PROPUESTA DEL COMMISSIONING

9. INTEGRACIÓN DEL COMMISSIONING EN EL MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN: HERRAMIENTAS Y METODOLOGÍAS

Durante el proceso de commissioning, se emplean diversas herramientas e instrumentos para llevar a cabo mediciones precisas de las condiciones de funcionamiento de los equipos, siguiendo las especificaciones del fabricante y adaptándose a las necesidades operativas de la planta. Estas mediciones se documentan de manera exhaustiva para obtener una comprensión detallada del

desempeño de los equipos durante todas las etapas del proceso y bajo las condiciones operativas y particulares de la planta en cuestión. Esta información proporciona una base sólida para implementar un sistema de monitoreo de condiciones en tiempo real, lo que a su vez permite desarrollar una metodología de mantenimiento basado en condición (Moblely, 2002).

Entre las herramientas utilizadas durante el commissioning y que luego se integran al sistema de mantenimiento basado en condición se encuentran:

- Multímetros termográficos, que permiten detectar puntos calientes en los equipos, indicativos de posibles problemas de sobrecalentamiento.
- Cámaras termográficas, que ofrecen una visión térmica completa de los equipos, facilitando la identificación de anomalías térmicas.
- Cámaras acústicas industriales, que detectan ruidos anormales en los equipos, sugiriendo posibles fallas en funcionamiento.
- Analizadores de vibraciones, que evalúan la vibración de los equipos para detectar desalineaciones, desbalances u otras irregularidades.
- Videoscopios de inspección, que permiten visualizar áreas de difícil acceso para identificar posibles problemas.
- Analizadores de motores, que evalúan el rendimiento y la eficiencia de los motores eléctricos.
- Analizadores de redes y calidad eléctrica, que monitorean la calidad del suministro eléctrico, identificando posibles fluctuaciones o perturbaciones que puedan afectar el funcionamiento de los equipos.

Estas herramientas, utilizadas durante el commissioning para garantizar un arranque efectivo y eficiente de la planta, se convierten luego en componentes clave del sistema de mantenimiento basado en condición. Permiten realizar un monitoreo continuo de los equipos, identificar posibles fallos o degradaciones en su funcionamiento y tomar medidas preventivas o correctivas de manera oportuna. Esto contribuye significativamente a prolongar la vida útil de los equipos, reducir los tiempos de inactividad no planificados y optimizar los costos de mantenimiento. (Jiménez, 2022)

10. CONCLUSIONES

- La importancia del commissioning en la ejecución de proyectos no puede subestimarse. Este proceso crítico garantiza que cada aspecto del proyecto esté alineado con los requisitos operativos y de seguridad, lo que sienta las bases para una operación exitosa a lo largo de su ciclo de vida. Más allá de la entrega dentro del tiempo y el presupuesto, el éxito de un proyecto se mide por su capacidad para operar de manera segura y eficiente a largo de su ciclo operativo. La interrelación entre la gestión de proyectos y la gestión de commissioning es esencial. Esta conexión intrínseca proporciona los fundamentos necesarios para mantener activos con una vida útil prolongada y optimizada, así como niveles de seguridad que cumplen con los estándares más exigentes. Durante la fase de commissioning, cada detalle se verifica y ajusta minuciosamente, lo que no solo reduce el riesgo de fallos operativos, sino que también establece una origen sólido para el mantenimiento proactivo. En última instancia, este enfoque integral garantiza la viabilidad y el rendimiento a largo plazo de los proyectos industriales y de infraestructura.
- La búsqueda de literatura que integre la gestión de proyectos y el commissioning de manera fusionada es esencial para comprender la interdependencia entre ambos procesos en la transición suave de la fase de construcción a la operativa. Esta literatura proporciona una comprensión más holística de cómo estas disciplinas se complementan mutuamente, ofreciendo guías prácticas, casos de estudio y enfoques para optimizar el ciclo de vida completo del proyecto. Al reconocer esta relación integral, los profesionales pueden maximizar la eficiencia, minimizar los riesgos y garantizar el éxito a largo plazo de proyectos industriales y de infraestructura.
- La literatura que aborde esta perspectiva integrada puede ofrecer una serie de beneficios, incluyendo:
 - Comprender la sinergia entre la gestión de proyectos y el commissioning, al explorar cómo estos dos aspectos se entrelazan, los profesionales pueden identificar oportunidades para optimizar la transición de la fase de construcción a la operativa, minimizando los riesgos y maximizando la eficiencia.
 - Guía práctica para la implementación efectiva, la literatura que amalgama ambos procesos puede proporcionar directrices y mejores prácticas para llevar a cabo el

commissioning dentro del marco de gestión de proyectos, lo que facilita su aplicación en situaciones reales.

- Casos de estudio y ejemplos prácticos, los ejemplos de proyectos reales que han integrado con éxito la gestión de proyectos y el commissioning pueden servir como modelos a seguir y proporcionar insights valiosos sobre cómo abordar esta relación en diferentes contextos industriales.
 - Enfoque en la optimización del ciclo de vida del proyecto, al considerar la gestión de proyectos y el commissioning de manera conjunta, la literatura puede ayudar a los profesionales a centrarse en la optimización del ciclo de vida completo del proyecto, desde su concepción hasta su desmantelamiento, garantizando así su viabilidad a largo plazo.
- En un entorno industrial donde la demanda de cero fallas es cada vez más alta, la información precisa obtenida durante la optimización de pruebas de desempeño del commissioning desempeña un papel crucial. Esta información puede guiar al departamento de mantenimiento para proponer una metodología efectiva que aborde los desafíos y logre el objetivo de cero fallas. Una estrategia integral incluiría la implementación de monitoreo y diagnóstico en tiempo real durante el commissioning, programas de mantenimiento predictivo basados en datos históricos, capacitación en resolución de problemas y mejora continua. Además, un enfoque proactivo centrado en la identificación temprana de señales de deterioro y la aplicación de prácticas rigurosas de mantenimiento preventivo sería fundamental para alcanzar este objetivo en las operaciones industriales.
 - La estrecha relación entre el commissioning y la gestión de activos determinará los costos del proyecto una vez que entre en operación. Un proceso de commissioning efectivo garantizará un inicio suave y un conocimiento detallado del estado de los equipos, lo que conducirá a una operación y mantenimiento más eficientes. Con esta base sólida, se puede esperar una mayor productividad de los equipos, menos fallos y, como resultado, un mayor valor económico para la organización en términos de optimización de recursos y reducción de costos operativos.

11. REFERENCIAS

Altwies, J. (2002, mayo 8). *Commissioning for LEED™*.

Ángel, M. M., José, Leví, G. A., Víctor, & Miguel, D. de L. S., Vicente. (2017). *Mantenimiento: Técnicas y aplicaciones industriales*. Grupo Editorial Patria.

Azhar, S., Nadeem, A., Mok, johnny, & Leung, B. (2008, agosto 4). *Building Information Modeling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Projects*.

Commissioning and Qualification – An Overview. (2022, diciembre 7). Performance Validation.
<https://perfval.com/commissioning-and-qualification-an-overview/>

Correa-Correa, E. A., & Franco-Cardona, C. J. (2021). Metodología para Mejorar el Comisionamiento de Plantas Nuevas Integrando las Normas ISO 55000: 2014 y ISO 14224:2016, Caso de Estudio: Plantas de Generación Eléctrica Solar Fotovoltaica y Eólica. *Producción + Limpia*, 16(2), 136-159.

El ciclo de vida y la gestión de activos. (2019, septiembre 9). *Nexon Automation*.
<https://www.nexonautomation.com/es/el-ciclo-de-vida-y-la-gestion-de-activos/>

Fuenmayor, E. (2020, febrero 13). *Selección de un activo físico considerando sus costos en el ciclo de vida*. RELIABILITY CONNECT® en Español.
<https://esp.reliabilityconnect.com/seleccion-de-un-activo-fisico-considerando-sus-costos-en-el-ciclo-de-vida/>

Guía Estratégica de Commissioning. (s. f.).

Guide to commissioning and qualification. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2024, de <https://cleanroomtechnology.com/guide-to-commissioning-and-qualification-154287>

Hickson, R. J., & Owen, T. L. (2022). *Project Management for Mining, 2nd Edition: Handbook for Delivering Project Success*. Society for Mining, Metallurgy & Exploration.

Jiménez, R. C. (2022). *Ajuste, puesta en marcha y regulación de los sistemas mecánicos*. FMEE0208. IC Editorial.

Killcross, M. (2011). *Chemical and Process Plant Commissioning Handbook: A Practical Guide to Plant System and Equipment Installation and Commissioning*. Elsevier.

Komplett_-

_Maintenance_in_asset_management_and_the_influence_of_ISO_55_000_27.10.16.pdf.

(s. f.). Recuperado 30 de abril de 2024, de https://nfv.no/wp-content/uploads/2022/12/Komplett_-

_Maintenance_in_asset_management_and_the_influence_of_ISO_55_000_27.10.16.pdf

Mills, E. (2011). Building commissioning: A golden opportunity for reducing energy costs and greenhouse gas emissions in the United States. *Energy Efficiency*, 4, 145-173.

<https://doi.org/10.1007/s12053-011-9116-8>

Mobley, R. K. (2002). *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.

Moubray, J. (s. f.). *MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD*.

Oberlender, G. D. (2014). *Project Management for Engineering and Construction* (3rd Edition).

McGraw-Hill

Education.

<https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071822312>

Parra, C., & Crespo, A. (2012). *Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada a la Gestión de Activos*. INGECON.

Predictiva21. (2019, octubre 16). Áreas para monitoreo de condición (CML's). *Predictiva21*.

<https://predictiva21.com/optimizacion-areas-monitoreo-condicion-cmls/>

¿Qué es ISO 55001? Sistema de Gestión de Activos. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2024, de <https://www.bsigroup.com/es-ES/iso-55001-Gestion-de-activos/>

Rausand, M., Barros, A., & Hoyland, A. (2020). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. John Wiley & Sons.

Risk-based.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de abril de 2024, de <http://dl.isomanagement.ir/estandard/risk-%20based.pdf>

Rudolphi, A. (2022, abril 22). *The Relationship Between Sustainability and Commissioning. Performance Validation*. <https://perfval.com/the-relationship-between-sustainability-and-commissioning/>

Sebastiano, M., Claudio, D. M., & Cecconi, R. (s. f.). *Dynamic Facility Condition Index calculation for asset management*.

Team, C. S. I. (2023a, julio 21). Embracing the Future: Commissioning, Testing, and Sustainability in the Construction Industry. *Csicx.Com*. <https://csicx.com/embracing-the-future-commissioning-testing-and-sustainability-in-the-construction-industry/>

Team, C. S. I. (2023b, julio 21). The Evolution of Testing and Commissioning Services: Harnessing Technology for Enhanced Efficiency. *Csicx.Com*. <https://csicx.com/the-evolution-of-testing-and-commissioning-services-harnessing-technology-for-enhanced-efficiency/>