



**SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DEL CICLO DE
VIDA PARA PLANTAS DE PROCESO ASISTIDO CON
MODELOS ELECTRÓNICOS 3D INTELIGENTES**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN
DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA**

PRESENTA

**ING. MARIO ALBERTO AYALA BURELO
ASESOR: M. EN C. LUIS ARTURO PORTALS MARTINEZ**

VILLAHERMOSA, TABASCO, JUNIO 2019

Carta de liberación del Asesor



Villahermosa, Tabasco.
21 de Diciembre de 2018

Mtro. Geovany González Carlos
Coordinador Académico

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del alumno ING. MARIO ALBERTO AYALA BURELO, una vez revisada la Tesis titulada: "SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DEL CICLO DE VIDA PARA PLANTAS DE PROCESO ASISTIDO CON MODELOS ELECTRÓNICOS BIDIMENSIONALES Y TRIDIMENSIONALES INTELIGENTES", autorizamos que el citado trabajo sea presentado por el alumno para la revisión del mismo con el fin de alcanzar el grado de MAESTRO EN DIRECCIÓN Y GESTIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERÍA durante el Examen de Titulación correspondiente.

Y para que así conste se firma la presente a los 21 días del mes de Diciembre del año 2018.



M. EN C. LUIS ARTURO PORTALS MARTINEZ
Asesor Académico

Grado y nombre completo
Asesor en Planta

Carta de liberación del Revisor



Villahermosa, Tab.
21 de Junio del 2019

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora
Posgrado CIATEQ
PRESENTE.

Por medio de la presente me estoy dirigiendo a Ud. de la manera más atenta, de que fui designado como revisor del trabajo de tesis del **Ing. Mario Alberto Ayala Burelo**, del trabajo titulado:

“SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN DEL CICLO DE VIDA PARA PLANTAS DE PROCESO ASISTIDO CON MODELOS ELECTRÓNICOS 3D INTELIGENTES”

Después de haber leído, corregido e intercambiado información con el estudiante antes mencionado, el trabajo de tesis que me fue entregado y haciendo resaltar que el estudiante realizó todos los cambios que le fueron sugeridos a la tesis, ésta puede ser autorizada para su publicación y que de ésta manera pueda iniciar los trámites correspondientes para iniciar el proceso de titulación.

Sin otro particular por el momento y en espera de que mis sugerencias sean tomadas en cuenta y en beneficio del estudiante y la institución, agradezco la atención que se sirva prestar a la presente,

A T E N T A M E N T E

MC. IGNACIO MAURICIO CABRERA TEPOX

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por darme la vida de cada día y por colocar con perfección, cada elemento en el camino de mi existencia.

A mi esposa Gaby, mi más grande y único amor, por brindarle fortaleza a mi espíritu.

A mi hijo Mario Gabriel, por ser un joven talentoso y disciplinado, que me inspira cada día.

A mis suegros, por todo su apoyo incondicional y su invaluable amor.

A mis padres, por haberme dado la vida y un hogar amoroso.

Al Ing. Salvador Ochoa Crisóstomo, por integrarme a la extraordinaria industria petrolera de la Región Marina.

Al M. en C. Antonio González Ruiz, hombre visionario que sembró en mí, la semilla del conocimiento de este trabajo.

Al M. en C. Oscar Quiroz Carrillo, mentor, jefe de proyecto y gran amigo.

Al M. en C. Luis Arturo Portals Martínez, por su tutoría para la complementación de este trabajo, y su valiosa amistad.

Al M. en C. Ignacio Mauricio Cabrera Tépo, por sus enseñanzas, conocimientos y amistad brindados.

A todo el personal de CIATEQ por las facilidades y el apoyo, así como al CONACYT por la oportunidad de realizar este posgrado.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de tesis es establecer las bases de un sistema de gestión de información del ciclo de vida de las plantas de proceso, asistido por los modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes, para facilitar las fases de ingeniería para plantas de proceso, así como para la administración de su información técnica, desarrollado para la compañía SIICOM y con ello mejorar su cartera de servicios.

Actualmente en el desarrollo de proyectos, existen costos significativos para los propietarios de plantas industriales de proceso, ya que manipulan la información técnica (planos y documentos técnicos) de manera individual y aislada; por lo tanto, la información no se mantiene actualizada de acuerdo al dinamismo de los proyectos del tipo CAPEX y OPEX, y los esfuerzos son costosos al tratar de mantener la información actualizada.

El Sistema de Gestión propuesto sienta las bases para mantener la información almacenada, jerarquizada, clasificada, controlada y administrada eficientemente, de tal manera que sea confiable, suficiente y oportuna, conservando su integridad en todo momento. Al lograr esto, con apoyo de técnicas y buenas prácticas internacionales, las instalaciones de proceso industriales estarán preparadas para afrontar los eventos que pudieran presentarse en la planta en materia legal, ambiental, de seguridad, y de salud ocupacional.

Palabras clave: Planta de Proceso, Ciclo de vida, modelo bidimensional, modelo tridimensional, Ingeniería de Calidad, Ingeniería Concurrente, Gestión de la información, DTI, Flujo de Trabajo, Intercambio y distribución de datos, control de cambios. **Repositorio Nacional:** Ingeniería y Tecnología – Tecnología Industrial – Ingeniería de Procesos.

ABSTRACT

The objective of this thesis is establish the basis for a management system of life cycle information for process plants, supported by two-dimensional and three-dimensional intelligent electronic models, in order to facilitate the engineering development stages for process plants as well as technical information management, developed for SIICOM enterprise and get better services portfolio.

Nowadays, in Projects development, exist significant costs to the industrial process plant owner, as the handle of technical information (drawings and technical documents) is realized in an individual and isolated way; Therefore, the information is not updated according to the dynamism of the CAPEX and OPEX projects, and efforts have high costs when trying to kept information updated.

The proposed Management System stablish the basis for maintain the information stored, hierarchized, classified, controlled and managed efficiently, in such way that be reliable, sufficient and oportune, keeping its integrity any time. When achieving this, with the support of techniques and international good practices, industrial process facilities shall be prepared for deal with events that could occur in the plant, in legal, environment, security and ocupational healthness matter.

Keywords: Process Plant, Life cycle, 2D CAD Model, 3D CAD model, Quality Engineering, Concurrent Engineering, Information Management, P&ID, Workflow, Data Exchange and sharing, Control of changes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
GLOSARIO	VIII
ABREVIATURAS	X
CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
1.4 OBJETIVO	4
1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5 HIPÓTESIS.....	5
CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO	7
2.1 PLANTAS DE PROCESO Y CICLOS DE VIDA	7
2.1.1 Plantas de Proceso	8
2.1.2 Ciclo de Vida de una Planta de Proceso	9
2.1.3 Ciclo de Vida del documento	11
2.2. SISTEMAS DE GESTIÓN, GUÍAS Y NORMATIVIDAD RELACIONADAS CON LA ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA DE PLANTAS.....	12
2.2.1 Tecnología de Proceso y Administración de Cambios a la Tecnología del Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA)	12
2.2.2 PDRI para proyectos industriales.....	18
2.2.3 ISO	20
2.2.3.1 ISO 15288 – “Ingeniería de Sistemas – Procesos del ciclo de vida de un Sistema”	21
2.2.3.2 ISO 15288 – “Procesos de Gestión de la Información”	21
2.2.3.3 ISO 15926 – “Sistemas de automatización industrial y su integración – Integración del ciclo de vida de datos para plantas de proceso incluyendo instalaciones de producción de petróleo y gas”	23

2.2.3.4 ISO 10303-242 – “Sistemas de integración industrial y su automatización, Gestión de ingeniería basada en un modelo 3D”	24
2.2.4 PMBOK (Project Management Body of Knowledge)	28
2.2.4.1 Grupo de Procesos de Inicio	29
2.2.4.2 El Ciclo de Vida del Proyecto	30
2.3.- Ingeniería, ingeniería concurrente y flujo de trabajo.....	31
2.3.1.- Definiciones de Ingeniería	31
2.3.1.1 Visualización.....	32
2.3.1.2 Ingeniería Conceptual	32
2.3.1.3 Ingeniería Básica	33
2.3.1.4 Ingeniería Básica Extendida	33
2.3.1.5 Ingeniería de Detalle	34
2.3.2 Ingeniería Concurrente	35
2.3.3 Flujo de Trabajo	37
2.3.4 Ontología	39
2.3.5 Reutilización del conocimiento entre miembros de un equipo de ingeniería	40
2.4 Software disponible de METI y MEBI para plantas de proceso	42
2.4.1 PDMS	42
2.4.2 CATIA.....	44
2.4.3 Plant 4D.....	45
2.4.4 Smart Plant 3D.....	46
2.4.5 AutoPlant.....	47
2.4.6 AutoCAD Plant3D.....	48
2.5 TEORÍA DE SISTEMAS	49
2.5.1 La Teoría General de Sistemas	49
2.5.2 Sistemas Dinámicos.....	51
CAPITULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN	53
3.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	53
3.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO	53
3.3 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS	55
3.4 POBLACIÓN ESTUDIADA	55
3.5 SELECCIÓN, ELABORACIÓN Y DESARROLLO DE INSTRUMENTOS	55
3.6 DESARROLLO	56
4. RESULTADOS	63
CONCLUSIONES.....	64

APORTACIÓN DE LA TESIS.....	65
RECOMENDACIONES.....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Integración del marco teórico	7
Figura 2.- Planta industrial [2].....	8
Figura 3.- Diagrama del ciclo de vida de un proyecto [12].....	19
Figura 4.- Los procesos del ciclo de vida de un sistema [4]	23
Figura 5.- Modelo de actividades del ciclo de vida de la planta de proceso [5]	25
Figura 6.- Límites del Proyecto [17]	30
Figura 7.- Ciclo de vida de un proyecto según PMBOK [17]	31
Figura 8.- Interacción de normativa, guías y estándares con el ciclo de vida de la planta.	35
Figura 9.- Diseño del Flujo de Trabajo diseñado para GTDH Pemex.....	38
Figura 10.- Programa AVEVA PDMS.....	43
Figura 11.- Programa CATIA de Dassault Systèmes.....	44
Figura 12.- Programa Plant 4D.....	45
Figura 13.- Programa SmartPlant 3D de Intergraph.....	46
Figura 14.- Programa AutoPlant de Bentley.....	47
Figura 15.- Programa AutoCAD Plant3D de Autodesk.....	49
Figura 16.- Necesidades que atiende la Teoría General de Sistemas [34]	50
Figura 17.- Representación gráfica de un sistema dinámico [35]	52
Figura 18.- Relaciones entre elementos del PDRI influenciados por un DTI.....	56
Figura 19.- Interacción de dos efectos [37]	60
Figura 20.- No interacción de dos efectos [37]	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Tratamiento en el diseño experimental tipo [37]	54
Tabla 2.- Check List PDRI Sección I.....	57
Tabla 3.- Check List PDRI Sección II	58
Tabla 4.- Check List PDRI Sección III	59
Tabla 5.- Diseño experimental para una muestra.....	61

GLOSARIO

Atributos: Características intrínsecas que definen a los elementos o componentes de un equipo o instalación industrial.

CAPEX: Capital Expenditure que en la práctica se conoce como proyectos de capital son los proyectos que agrupan a las etapas de ingeniería, procura y construcción, como del tipo EPC.

Ciclo de vida de un sistema: Es la evolución con el paso del tiempo de un sistema desde su concepción hasta su retiro o desmantelamiento.

Modelo Electrónico Tridimensional Inteligente: (METI) por sus siglas, es la representación gráfica a escala 1:1 de una instalación industrial realizada en tres dimensiones, mediante un sistema CADD o CAE y conformada por un conjunto de elementos con atributos asociados a una base de datos relacional.

Modelo Electrónico Bidimensional Inteligente: (MEBI) por sus siglas, es la representación gráfica en dos dimensiones de los sistemas de una instalación, mediante un sistema CADD o CAE y una simbología estandarizada, a la cual se le asocia información con características y propiedades de inteligencia en forma de atributos asociados a una base de datos relacional.

OPEX: Operational Expense que en la práctica se conoce como la fase de operación (de una planta), el cual involucra las etapas de operación y mantenimiento.

Sistema de Gestión: Conjunto de elementos de una organización interrelacionados o que interactúan para establecer políticas y procesos para lograr sus objetivos.

ABREVIATURAS

2D	Dos Dimensiones
3D	Tres Dimensiones
CAD	Diseño Asistido por Computadora
CADD	Dibujo y Diseño Asistido por Computadora
CAM	Manufactura Asistida por Computadora
CAE	Ingeniería Asistida por Computadora
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
PLG	Plano de Localización General

CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de proceso son instalaciones industriales que tienen como objetivo crear uno o varios productos a través de diversos procesos que transforman, adecúan o tratan a las materias primas o a la energía. Deben operar de forma segura, generar valor al negocio, en consecuencia, ser rentables para los propietarios.

Existen tres tipos de plantas de proceso con relación a la materia, como lo son los procesos físicos en donde no se cambia la estructura molecular de la materia, procesos químicos en donde si se cambia la estructura molecular de la materia y los procesos biológicos en donde se emplea material vivo.

Las plantas de proceso tienen dos etapas generales, la primera concebida como Proyecto de Capital (CAPEX), comprendiendo la Ingeniería, Procura, Construcción y Puesta en Marcha, la segunda etapa general, concebida como Operacional (OPEX), comprende la operación y mantenimiento durante la vida útil de la planta.

A partir de estos dos enfoques, comienza la manera en que se debe tratar la información.

Sin embargo, cuando la planta de proceso entra en su etapa Operacional (operación y mantenimiento), resurgen subetapas del tipo Proyecto CAPEX, debido a las mejoras que requiera la planta, ya sea para ampliar o diversificar su producción, mejorar la calidad de sus productos o cumplir con las nuevas regulaciones gubernamentales y ambientales.

1.1 ANTECEDENTES

Cualquier proyecto que se realice, dependiendo de su tamaño, genera información de manera proporcional y esta puede ser guardada por el propietario del proyecto. En los macro proyectos, en cada una de las etapas

del ciclo de vida, se van generando amplios volúmenes de información la cual no sólo debe ser almacenada, sino que además debe ser jerarquizada, clasificada, controlada y administrada eficientemente, de tal manera que sea confiable, suficiente y oportuna conservando su integridad en todo momento.

En el desarrollo de proyectos las empresas propietarias o administradoras de plantas de proceso, tratan la información técnica de manera individual y aislada, provocando que la actualización de la información sea una tarea costosa, por lo que, el motivo de realización del presente proyecto es diseñar las bases de un "Sistema de Gestión de Información del ciclo de vida para plantas de proceso asistido con modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes", que permita la actualización de la información del proyecto de las diferentes áreas que lo conforman.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A medida que la planta de proceso se expande, surgen distintas áreas que son administrados por diferentes Gerencias; Realizan mejoras o modificaciones a la planta con diversos contratistas, proveedores y personal propio, generando cada uno, un plano o documento técnico de uno o varios de los sistemas que conforman la planta, pero sin interacción con otros elementos o sistemas con los cuales están vinculados. Como estos elementos se encuentran interrelacionados entre sí y se afectan mutuamente, el Sistema de Gestión es concebido para que la información técnica de la planta sea concurrente, con reglas definidas para tratar la información y uso de sistemas informáticos.

Existen metodologías que pueden coadyuvar a estos objetivos de gestión de la información de una planta de proceso, por ejemplo, los elementos de "Tecnología de Proceso" y "Administración de Cambios a la Tecnología" del Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA) de Petróleos Mexicanos, pero no cubren todas las necesidades, ya que estas metodologías

o sistemas son muy generales, y no cuentan con mecanismos de control esenciales para la administración de la información

Teniendo como premisa que el documento rector de una planta de proceso es su Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) [1], uno de los problemas comunes es, que se actualiza de manera aislada, sin tomar en cuenta los demás documentos vinculados a éste, tales como: Lista de Líneas, Lista de Instrumentos, Lista de Equipos, Hojas de Datos de los Instrumentos y Equipos, Arreglos de Tuberías, Isométricos, Planos en Planta, Planos en Elevación y en algunos casos, los Planos de Localización General.

En consecuencia, al realizar actividades en la Planta como, por ejemplo: Análisis de Riesgo de Procesos, Reaseguro, Análisis de Causa Raíz, Integridad Mecánica, Plan de Respuesta a Emergencias, Mejoramiento o Ampliación del Proceso, etc., se presentan problemas de inconsistencias entre los documentos mencionados.

Un problema en costos, se tiene cuando se paga por la actualización manual de cada uno de los documentos, lo que genera retrasos y costos adicionales. No obstante, lo más significativo es que, cuando las actividades se realizan al mismo tiempo, se genera información inconsistente y duplicada [1], afectando aspectos como la rentabilidad y los tiempos de desarrollo de las actividades en la planta de proceso.

Por lo que se proponen las bases para un Sistema de Gestión de Información del ciclo de vida para plantas de proceso asistido con modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes para contar con información técnica esencial actualizada en tiempo real, de los sistemas principales que conforman la planta.

1.3 JUSTIFICACIÓN

El potencial de inversión de capital para las nuevas plantas de proceso y la actualización de las existentes, se cuantifica en miles de millones de dólares, además los costos de operación y mantenimiento de las plantas de proceso, tienen la misma magnitud de costos [1]. En este trabajo se presentan las metodologías y herramientas de ingeniería concurrente, modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes, para economizar en la administración de la información del ciclo de vida de las plantas de proceso.

Existen programas de computadora que manejan la ingeniería concurrente, pero no uno que permita la gestión de plantas de proceso con soluciones hacia la integridad de la información y la colaboración entre los sistemas que conforman la planta, a través de las diferentes etapas del ciclo de vida.

El presente trabajo de investigación tiene como aportación la identificación de criterios homogéneos para la gestión de información de plantas de proceso, además demostrar la correlación entre la información que debe tener la planta con las relaciones entre los mismos; lo cual será origen de ahorro en costos y tiempo en la administración de la información técnica de la planta de proceso.

1.4 OBJETIVO

1.4.1 Objetivo general

Diseñar las bases para un Sistema de Gestión de Información del ciclo de vida para plantas de proceso asistido con modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes.

1.4.2 Objetivos específicos

- Establecer un índice de Definición de Información Esencial de una planta.

- Determinar las relaciones esenciales entre los planos y documentos técnicos.
- Caracterizar las etapas del ciclo de vida de la planta de proceso.
- Describir el enfoque de intervención en cada etapa del ciclo de vida de manera colaborativa con roles, privilegios, perfiles y grupos de trabajo.
- Definir la filosofía de trabajo para el sistema de gestión de la información del ciclo de vida para plantas de proceso asistido con modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes.
- Diseño del experimento.
- Análisis de resultados.

1.5 HIPÓTESIS

Establecer un parámetro base para la integridad de la información con los índices de puntaje del PDRI IR 113- "Industrial Projects", con la variables de entrada "puntaje del PDRI" y el "puntaje de relaciones", que nos indique la existencia de correlación.

Variable de entrada "Puntaje del PDRI": Es un puntaje obtenido de la ponderación de cada elemento de una ingeniería (planos y documentos técnicos) enlistada y definida por el CII. Este puntaje indica el grado de definición de un proyecto, entre más bajo sea el puntaje, incrementa la probabilidad de éxito del proyecto. CII recomienda la obtención de un puntaje de 200 o menos. Si es mayor a 200, incrementa gradualmente el riesgo de falla del proyecto.

Variable de entrada "Puntaje de relaciones": Es un puntaje obtenido a través de la ponderación de la relación entre los planos y documentos técnicos de la planta, basados en los puntajes de PDRI.

Se propone establecer las bases para un "Sistema de Gestión de Información del ciclo de vida para plantas de proceso asistido con modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes", con el cual se busca mantener actualizada en todo momento, aquella información técnica

esencial de una planta de proceso. El parámetro base para la integridad de la información estará basado en las Índices de Puntaje del PDRI IR 113-2 "Industrial Projects" y sus criterios para medir el grado de definición del proyecto. Se construirán las interrelaciones predominantes en los documentos técnicos esenciales.

CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

La Figura 1 muestra la visión general para la integración del marco teórico.

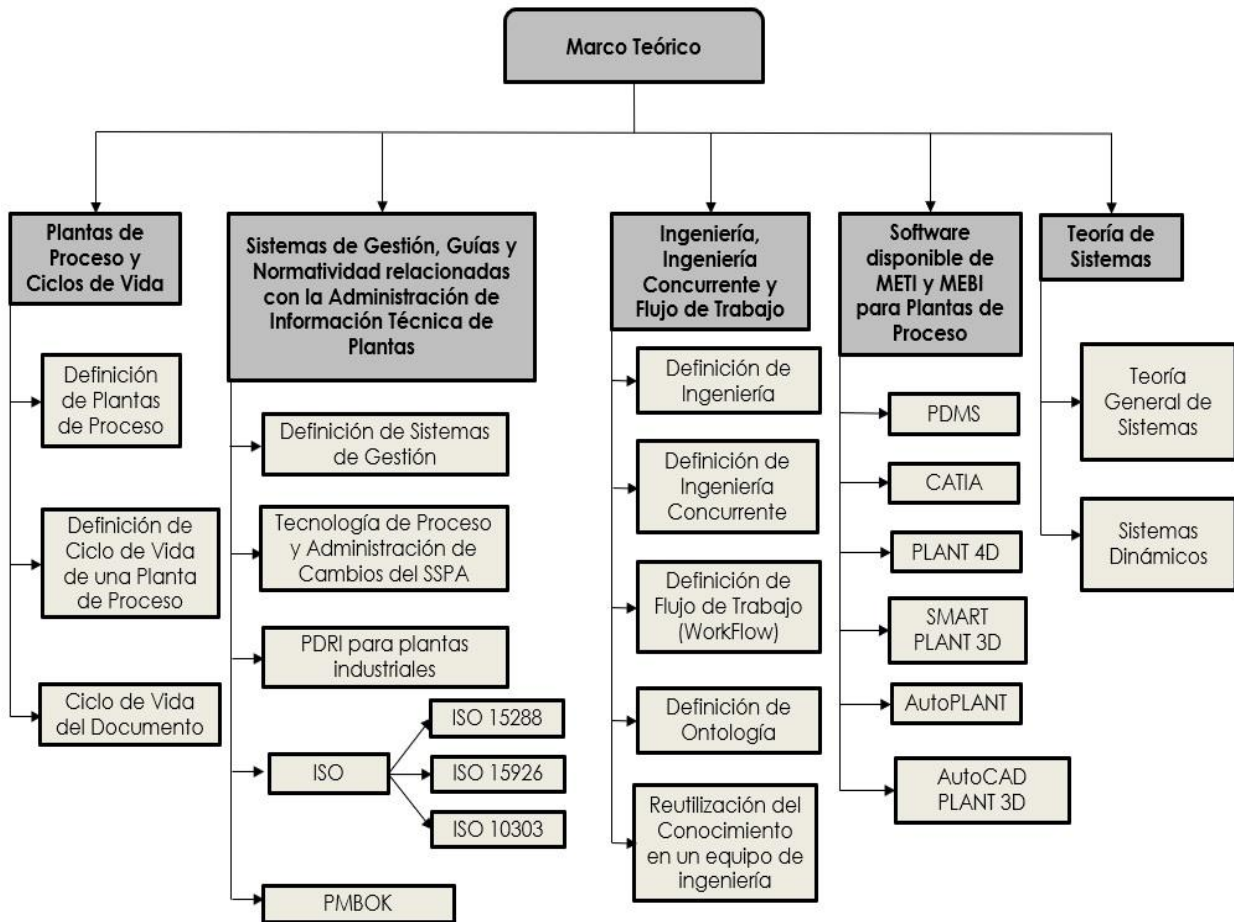


Figura 1.- Integración del marco teórico

2.1 PLANTAS DE PROCESO Y CICLOS DE VIDA

En este apartado se enuncian los conceptos involucrados en el desarrollo de la investigación.

2.1.1 Plantas de Proceso

Una planta industrial (ver Figura 2) es una *“instalación industrial compleja constituida por diferentes secciones o sectores, físicamente separados en áreas, donde los edificios pueden tener un carácter secundario o no existir, en los que se integra no sólo las funciones de producción, sino también elementos auxiliares, y donde todo debe estar dirigido hacia la satisfacción de las necesidades impuestas por este proceso industrial de producción. Así pues, dichas instalaciones son sólo un medio importante de producción”* [2].



Figura 2.- Planta industrial [2]

Como su nombre lo indica, una planta de proceso, involucra uno o más procesos. Concebido el término proceso, de acuerdo a ISO 9001:2015 como un *“conjunto de actividades mutuamente relacionadas o que interactúan, las cuales transforman elementos de entrada en resultados”* [3].

Estas interrelaciones entre los procesos se pueden encontrar en una planta química, la cual combina y convierte componentes o compuestos en productos; una refinería para la obtención de diferentes derivados del petróleo o una planta de limpieza y acondicionamiento de gas natural para su utilización como combustible.

Por otro lado, en la industria de la biomasa, alimentaria, agrícola y ganadera, existen plantas de proceso de donde se obtienen productos tales como alimentos congelados y empacados, productos lácteos, golosinas, entre otros. En las industrias vinícola y cervecera se elaboran bebidas alcohólicas a través

del proceso de fermentación. Otras plantas de proceso elaboran bebidas embotelladas saborizadas y agua purificada.

Así mismo, la industria farmacéutica es otra amplia industria de procesos. Las compañías de biotecnología operan plantas de proceso que tratan con células humanas, virus y otros microorganismos para la elaboración de nuevos medicamentos para la cura de enfermedades. La industria minera, utiliza plantas de proceso para la producción de cobre, plata y otros elementos en estado natural.

En el área energética se operan plantas que generan energía eléctrica a partir de carbón, petróleo, gas, fuentes nucleares o energías alternas. En varios países, el gobierno opera plantas de proceso para manufactura de explosivos, municiones y armamento [1].

2.1.2 Ciclo de Vida de una Planta de Proceso

El ciclo de vida de un sistema, es *“la evolución con el paso del tiempo de un sistema desde su concepción hasta su retiro o desmantelamiento”* [4]. La información referente a ingeniería, construcción y operación de una planta de proceso es creada, utilizada y modificada por muchas organizaciones diferentes, a través de la vida de la planta. Las consideraciones en términos económicos, ambientales y de seguridad, requieren que esta información esté disponible de manera consistente y de una forma integrada, para los propietarios y operadores de las instalaciones, los contratistas y entidades regulatorias [5].

Algunos autores coinciden en la definición de 6 etapas del ciclo de vida de una planta industrial, sin embargo, el Instituto Industrial de la Construcción (CII), la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y el Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA), consideran adicionalmente una séptima etapa. Bajo estas premisas, el ciclo de vida de una planta de proceso está constituido por siete etapas, los cuales son:

1. Diseño del Proceso
2. Ingeniería Front-End
3. Ingeniería de Detalle
4. Procura
5. Construcción
6. Operación y Mantenimiento
7. Desmantelamiento

En las Etapas 1 "Diseño del Proceso" y 2 "Ingeniería Front-End", los propietarios y los operadores de la planta, dictan los requerimientos de proceso y desarrollan los estudios de ingeniería para mostrar la factibilidad y justificación de costos en el desarrollo de la planta. Esto puede incluir especificaciones de productos de los procesos, requerimientos de desempeño proyectados, calendario de costos y tiempos estimados para la planta, proyección de costos operacionales, y otros elementos según se requiera [1]. En estas etapas hay metodologías y guías que intervienen de manera individual o combinada, tales como:

- FEED (Front End Engineering Design)
- Metodología FEL (Front End Loading)
- PDRI (Project Definition Rating Index)
- PMBOK (Project Management Body of Knowledge)

Las etapas de "Ingeniería de Detalle", "Procura" y "Construcción", son agrupadas en una fase denominada *Proyecto de Capital* (CAPEX- Capital Expenditure por sus siglas en inglés) [1], esta fase agrupada puede ser ejecutada mediante un contrato o combinación de contratos, de acuerdo a los resultados obtenidos de las etapas 1 y 2:

- Llave en Mano (Turn Key)
- EPC (Engineering, Procurement and Construction)
- EPCM (Engineering, Procurement and Construction Management)
- D&B (Design & Built)
- BOT (Built, Operation and Transfer)

Cuya forma de contratación puede ser por Suma Alzada, Precio Unitario o Costos Reembolsables [6].

Después de la Etapa de "Construcción", viene la terminación mecánica y pruebas de arranque de la planta, los propietarios y operadores inician la operación de la planta y la producción de los productos, inicia la etapa de "Operación y Mantenimiento", esta etapa es conocida como *Fase Operacional* (OPEX – Operational Expense por sus siglas en inglés) [1] del ciclo de vida de la planta.

La etapa 7 "Desmantelamiento", surge cuando existen cambios en los requerimientos del negocio del tipo económico o en muchos casos por presiones de la invasión urbana en sitios industriales, resultando en el cierre de la instalación industrial y la venta de tierras para su reutilización. El proceso de cierre, desmantelamiento, remediación de contaminación y reclamación de tierras industriales para convertirlas en propiedades aprovechables para otros propósitos, se le conoce como desmantelamiento o desincorporación. Para iniciar esta etapa, se tiene que contar con información de la planta, ya que el primer paso para el desmantelamiento de un sistema o planta, inicia con una evaluación de la información disponible del sitio [7].

2.1.3 Ciclo de Vida del documento

El ciclo de vida del documento es la secuencia de etapas que un documento atraviesa desde su creación hasta su eventual archivado o destrucción. Los procedimientos apropiados a través del ciclo de vida del documento son una parte importante de la administración de contenido empresarial [8].

A través del ciclo de vida de una planta de proceso, la información es generada, distribuida y utilizada por cada grupo de trabajo. Un elemento crítico de la administración de la información es el aseguramiento en la integridad de la información [1], lo cual significa que la información debe ser completa, precisa y actualizada. Como la información generada y liberada por un grupo de trabajo será utilizada por un subsecuente grupo, el proveedor

de la información tiene que garantizar que la información cumpla con estos tres requisitos. Sin embargo, la información puede cambiar con el tiempo, así que el elemento tiempo debe ser asociado con la información, y las diferentes versiones o actualizaciones deben ser documentadas con fechas de liberación.

2.2 SISTEMAS DE GESTIÓN, GUÍAS Y NORMATIVIDAD RELACIONADAS CON LA ADMINISTRACIÓN DE INFORMACIÓN TÉCNICA DE PLANTAS.

2.2.1 Tecnología de Proceso y Administración de Cambios a la Tecnología del Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA)

El Sistema de Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA), es un sistema de gestión implementado en Petróleos Mexicanos integrado por las 12 mejores prácticas internacionales (MPI) que son las bases de tres subsistemas: Administración de la Seguridad de los Procesos (SASP), Administración de Salud en el Trabajo (SAST) y Administración Ambiental (SAA).

Estos subsistemas tienen como objetivo fundamental, lograr una mejora continua en el desempeño de la empresa en materia de seguridad, salud y protección ambiental y coadyuvar en la reducción de incidentes, lesiones y enfermedades en el trabajo, así como consolidar una cultura de prevención en Petróleos Mexicanos (PEMEX) [9].

Dentro del Libro Azul "Administración de la Seguridad de los Procesos" existen dos elementos de importancia para la Gestión de la información técnica denominados "Tecnología del Proceso" y "Administración de Cambios a la Tecnología".

La guía de Tecnología del Proceso, tiene por objeto establecer un sistema de control de la documentación técnica, de manera que siempre esté actualizada, aprobada y disponible para su consulta por el personal que opera y mantiene los procesos y equipos, incluyendo al personal técnico de

las áreas de ingeniería, mantenimiento, operación y seguridad. En esta guía se define al Paquete de Tecnología de Proceso como *“un conjunto de documentos que describen el proceso químico u operación y tiene las bases para la identificación y comprensión de los riesgos involucrados en el diseño del proceso, en las bases del diseño de los equipos, así como sus parámetros de control y sus puntos críticos, se encuentra integrado en tres partes”* [10]:

- **Información de los riesgos de los materiales** (materias primas, insumos, servicios, productos intermedios y finales, incluyendo residuos y efluentes): Estos documentos y archivos contienen información relativa a las propiedades de los materiales, ya que contienen los datos recopilados de cada sustancia involucrada en el proceso. La información incluye las propiedades físicas y químicas de los materiales tales como inflamabilidad, estabilidad térmica, reactividad, corrosividad, explosividad, toxicidad y/o biológico infeccioso, y cualquier otra característica de interés que represente un riesgo determinado.

- **Datos básicos del proceso:** Son los documentos y archivos que describen la tecnología utilizada en el diseño del proceso, la ruta crítica del proceso, la manera en que se debe llevar a cabo la operación segura, los límites de operación, así como las consecuencias de operar fuera de los parámetros con respecto a los límites establecidos. La información debe incluir lo siguiente:
 - Diagrama de flujo en bloques o simplificado del proceso.
 - Descripción del proceso.
 - Límites de operación de cada etapa, incluyendo condiciones máximas, normales y mínimas de parámetros tales como temperatura, presión, flujo, nivel, concentración, composición, y otros.
 - Descripción de las secuencias de operación del proceso durante el arranque o paro, que son rutinarios y de emergencia.
 - Inventario planeado de sustancias peligrosas.
 - Evaluación de las consecuencias de las desviaciones, respecto a los parámetros máximos y mínimos en cada etapa del proceso.

- Balance de materia y energía del proceso.
 - Manuales de Operación.
 - Manuales de los sistemas de control distribuido y avanzado según sea el caso.
 - Manuales de los sistemas de respaldo ininterrumpido de energía.
- **Datos básicos del diseño de equipos e instalaciones para la seguridad de los procesos**, Son los documentos y archivos que contienen información y datos de ingeniería, planos, cálculos del diseño de los procesos y equipos, al igual que sus especificaciones en las cuales están incluidas las características técnicas de las instalaciones propias para la seguridad de los procesos.
 - Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI).
 - Diagrama de localización de equipos, de la instalación (Plot Plan).
 - Plano de sistema de seguridad de desfogue a quemador.
 - Planos de sistema de drenaje.
 - Planos de cimentación de equipos.
 - Planos de arreglo de equipos.
 - Plano de arreglo de tuberías.
 - Planos isométricos de tuberías.
 - Especificaciones de tuberías, accesorios, válvulas y conexiones.
 - Especificaciones de aislamiento térmico (frío y caliente).
 - Estrategia de control de proceso y descripción funcional del sistema de control.
 - Diagramas de lazos de control.
 - Especificaciones de instrumentos y sistemas instrumentados de protección SIL, sistemas de monitoreo y control.
 - Bases de cálculo, condiciones de diseño y especificaciones de equipos.
 - Bases de cálculo y hojas de datos de válvulas de seguridad, discos de ruptura y sistemas de alivio de presión.
 - Bases de cálculo y hojas de datos de válvulas automáticas de control.

- Bases de diseño, cálculos y especificación de sistemas de protección de equipos e instalaciones (contra incendio, pararrayos, tierras, absorción de gases, diques, etc.).
- Planos de los sistemas de aspersión y de mitigación.
- Manuales de sistemas de supresión de incendios
- Planos mecánicos de recipientes.
- Manuales de los sistemas de detección (humo, fuego, explosividad, oxígeno y toxicidad) instalados.
- Planos de localización de los sistemas de detección.
- Manuales de fabricantes de equipos.
- Diagramas eléctricos (unifilares, esquemáticos eléctricos, tierras, rutas de cables, etc.).
- Planos de la clasificación de áreas para la selección de equipo eléctrico.
- Fabricación de equipos, incluyendo sus controles de calidad y pruebas en fábrica.

La información del Paquete de Tecnología del proceso hace énfasis en los equipos críticos los cuales son sistemas, maquinaria, equipos, instalaciones o componentes cuya falla resultaría, permitiría o contribuiría a una liberación de energía (por ejemplo fuego o explosión) capaz de originar una exposición al personal a una cantidad suficiente de sustancias peligrosas, lo cual resultaría en una lesión, un daño irreversible a la salud o la muerte, así como un daño significativo a las instalaciones y al ambiente.

En esta guía técnica de Tecnología del Proceso, destaca una Figura importante: el Guardián de la Tecnología del Proceso, quien es la persona designada por la Máxima Autoridad del Centro de Trabajo para el control y resguardo físico y virtual del Paquete de Tecnología del Proceso, en la cual, esta Figura debe poseer un amplio conocimiento y experiencia en los procesos de las instalaciones. A continuación, se listan algunas de las responsabilidades del guardián de la tecnología:

- Desarrollar un procedimiento operativo para la administración y control de la información de Tecnología de Proceso.
- Mantener actualizada, validada y disponible toda la información de Tecnología de Proceso.
- Asegurar que los cambios a la tecnología que se propongan, se registren y controlen hasta su aprobación.
- Asegurar que los cambios de tecnología aprobados, sean incorporados a la información del paquete de tecnología de proceso y que estos sean comunicados a las partes interesadas mediante los mecanismos de Disciplina Operativa establecidos en el centro de trabajo.
- Interactuar con los responsables de las diferentes disciplinas de las áreas internas, para asegurar el control y actualización de la información de la tecnología del proceso.

Además, en esta guía se propone establecer un sistema para la administración y el control de la documentación del Paquete de Tecnología del Proceso considerando las siguientes actividades:

- a) Identificación de la documentación
- b) Estandarización de la documentación
- c) Archivo de documentación efectiva

La guía de Tecnología de Proceso cuenta también con un cuestionario de autoevaluación que cuantifica el estado de la integración del Paquete de Tecnología del Proceso.

Otro elemento de interés es la "Administración de cambios de tecnología" del Subsistema de Administración de la Seguridad de los Procesos, que tiene por objeto establecer un sistema de control para administrar los cambios que se realicen a la Tecnología del Proceso, con el propósito de identificar y controlar oportunamente los riesgos asociados que se puedan introducir, al realizar este tipo de cambios y que puedan ser causa de incidentes.

La Administración del Cambio es la aplicación sistemática de políticas, prácticas y procedimientos de la organización para las actividades de

identificación, evaluación, autorización e instalación de cualquier tipo de cambio o alteración, permanente o temporal, a la tecnología e instalaciones que modifique el riesgo o altere la seguridad y confiabilidad de las instalaciones o sistemas. Y un cambio de la Tecnología se define como los cambios realizados a la Tecnología de Proceso documentada y aprobada, incluye: cambios en los Riesgos de los materiales e insumos, además de cambios en las bases de diseño del equipo, del proceso, especificaciones de las condiciones operativas y los sistemas de monitoreo y control del proceso. Los cambios de tecnología pueden invalidar los análisis de riesgo del proceso efectuados previamente, dado que pueden tener un impacto cualitativo o cuantitativo sobre los riesgos y la efectividad de las medidas de control adoptadas antes de la aplicación del cambio [11].

En donde se considera lo siguiente:

- a. Cambios de capacidad de procesamiento
- b. Cambio en el servicio de los equipos o instalaciones
- c. Cambios en las bases de diseño del proceso
- d. Cambios en las bases de diseño de los equipos y/o instalaciones
- e. Empleo de nuevos catalizadores, a los considerados en el diseño original
- f. Cambio de la filosofía original de un sistema interlocks
- g. Instalación de un sistema de interlocks
- h. Empleo de nuevas sustancias químicas peligrosas, o cambios de especificación de las materias primas de las sustancias químicas en general
- i. Cambio en el tipo de sellos de bombas y compresores
- j. Modificaciones realizadas en los circuitos de tuberías de proceso y servicios auxiliares
- k. Cambio en los rangos seguros, de una variable de proceso
- l. Instalación de válvulas de bloqueo de emergencia y corte rápido
- m. Cambio en el tipo de válvulas consideradas en el diseño original
- n. Cambio en la presión de ajuste de válvulas de relevo de presión
- o. Cambios en el arreglo físico (Layout) de equipos, instalaciones, tuberías, bloqueos temporales o permanentes de accesos, entre otros

- p. Cambio en los puntos de ajuste de alarmas y/o disparos de los sistemas de protección de equipos
- q. Otros cambios que de manera significativa alteran las variables del proceso (presión, temperatura, flujo, nivel)

Por lo que para realizar un cambio se deben de realizar los siguientes pasos:

1. Solicitud de cambio de tecnología
2. Aplicación del proceso de cambio de tecnología
3. Elaboración del proyecto del cambio
4. Análisis de riesgo de proceso de la instalación
5. Autorización del proyecto de cambio
6. Planeación del proyecto de cambio
7. Ejecución del cambio
8. Revisión de seguridad de prearranque
9. Autorización para el inicio de operación
10. Seguimiento y cierre del cambio

2.2.2 PDRI para proyectos industriales

A mediados de la década de los noventa el Instituto de la Industria de la Construcción (CII) de Estados Unidos, desarrolló el PDRI (Project Definition Rating Index) para proyectos. Es una herramienta robusta y fácil de usar que ofrece un método para medir la definición del alcance de un proyecto para su completamiento, ya que se ha demostrado que el éxito de los mismos está directamente relacionado con el hecho de haber alcanzado un buen grado de definición [12].

Existen tres recursos de implementación del PDRI que están enfocados en un sector industrial específico [13]:

- **Proyectos Industriales.** La plantilla industrial tiene como objetivo proyectos de plantas que proveen una salida tales como ensambles, subensambles, compuestos químicos, electricidad, alimentos y otros bienes

comercializables. Por ejemplo, plantas de energía, plantas químicas, producción de petróleo y gas, refinerías, tratamiento de aguas y desechos, así como instalaciones de manufactura.

- **Proyectos de Edificación.** La plantilla de edificación está diseñada para proyectos de edificación comercial. Por ejemplo, oficinas, escuelas, instalaciones médicas, edificios institucionales, almacenes, estacionamientos e instalaciones de investigación.
- **Proyectos de Infraestructura.** La plantilla de infraestructura está diseñada para proyectos que involucran construcciones con una interacción pública extensa y consideraciones ambientales. Por ejemplo, vías ferroviarias, autopistas, así como redes de transmisión, distribución y ductos.

Es de interés el PDRI 113-2 "Proyectos industriales" puesto que identifica y describe con precisión cada elemento crítico en un paquete de definición del alcance y permite a un equipo de proyecto rápidamente predecir factores que impacten en los riesgos del proyecto, ya que está orientado para evaluar el completamiento de la definición del alcance en cualquier punto previo a la ingeniería de detalle y la construcción [12].

El PDRI está diseñado para ser utilizado durante la planeación de tipo Front End (Ingeniería FEED y/o Metodología FEL) el cual abarca las actividades del proyecto mostradas en la Figura 3.

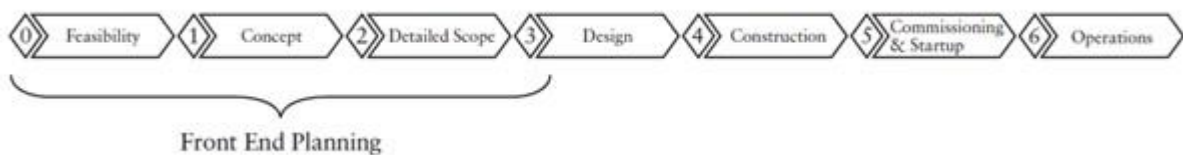


Figura 3.- Diagrama del ciclo de vida de un proyecto [12]

El PDRI 113-2 ofrece un checklist conformado por 70 elementos de definición de alcance en un formato de puntuación. Cada elemento está tasado, basado en una importancia relativa hacia los otros elementos. El puntaje del PDRI se relaciona con el riesgo por lo que aquéllas áreas que necesitan ser

más trabajadas, pueden ser fácilmente aisladas. Es aplicable a proyectos del tipo industrial que se enlistan a continuación [12]:

- Instalaciones de producción de petróleo y gas
- Industria Textil
- Planta Químicos
- Planta Farmacéutica
- Industria Papelera
- Fábricas de Aluminio/Acero
- Plantas de Generación Eléctrica
- Instalaciones de Manufactura
- Plantas de procesadoras de alimentos
- Refinerías
- Infraestructura Civil/Industrial
- ReconFiguración o Modernización de Plantas

2.2.3 ISO

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) y la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) forman un sistema especializado de estandarización a nivel mundial. Las entidades internacionales que son miembros de ISO o IEC participan en el desarrollo de los estándares internacionales a través de comités técnicos establecidos por la organización para tratar con una actividad técnica en especial o algún campo en particular. Los comités técnicos de ISO e IEC colaboran en campos de interés mutuo.

Otras organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, en enlace con ISO e IEC, forman parte complementaria en la colaboración. Los estándares internacionales son preparados en concordancia con las reglas dadas en las directivas de ISO/IEC [4].

2.2.3.1 ISO 15288 – “Ingeniería de Sistemas – Procesos del ciclo de vida de un Sistema”

Este estándar internacional establece un marco común para describir el ciclo de vida de los sistemas creados por humanos y un conjunto de procesos bien definidos con una terminología asociada. Un conjunto seleccionado de estos procesos puede ser aplicado a través del ciclo de vida para la administración y desempeño de las etapas del ciclo de vida de un sistema. Esto se logra a través de la participación de todas las partes interesadas con el objetivo final de lograr la satisfacción del cliente.

Este estándar provee además procesos que soportan la definición, control y mejora del ciclo de vida de los procesos utilizados en una organización o un proyecto. Este estándar internacional concierne a aquellos sistemas que son hechos por el hombre y están configurados por uno o más de los siguientes elementos: hardware, software, procesos asociados, procedimientos, instalaciones y entidades que ocurren naturalmente. El modelo de referencia de proceso es aplicable a una organización que evalúa los procesos necesarios para el éxito de la organización y la posterior mejora continua de estos procesos [4].

2.2.3.2 ISO 15288 – “Procesos de Gestión de la Información”

El propósito de los procesos de gestión de la información es proveer información relevante, a tiempo, completa, válida, confidencial (en caso de requerirse), a las diferentes partes durante y después de la vida de un sistema (ver Figura 4). Estos procesos generan, recolectan, procesan, retienen, recuperan, diseminan y disponen de información pertinente a un sistema. Administra la información designada, incluyendo la información técnica, de proyecto, empresarial, contractual y del usuario [4]. Los resultados de una implementación exitosa de los procesos de gestión de la información son:

- a. Toda la información manejada está identificada
- b. Los productos del trabajo y datos de los esfuerzos del proyecto se capturan, mantienen y rastrean.
- c. Las formas de las representaciones de la información están definidas
- d. El estado de la información está registrado
- e. La información se mantiene actualizada, completa y válida
- f. La información está disponible a las partes concernientes.

El proyecto deberá implementar las siguientes actividades en concordancia con las políticas y procedimientos de la organización aplicables con respecto a los procesos de gestión de la información:

- a. Definir los elementos de información relacionados con el sistema que se administrarán durante su ciclo de vida y, de acuerdo con la política o legislación de la organización, en un período posterior definido.
- b. Designar autoridades y responsabilidades considerando el origen, generación y captura de los elementos de información
- c. Definir los derechos, obligaciones y compromisos considerando la retención, difusión y acceso a los elementos de información.
- d. Definir los contenidos, semánticas, formatos y medios para la representación, retención, transmisión y recuperación de la información.
- e. Generar o recopilar los elementos identificados de información
- f. Almacenar y registrar el almacenamiento de los elementos de información de acuerdo a su integridad, seguridad y requerimientos de privacidad.
- g. Definir las acciones para el mantenimiento de la información.
- h. Recuperar y distribuir información a usuarios autorizados, partes interesadas según se requiera por acuerdos o circunstancias definidas.
- i. Archivar información designada, consistente con la auditoría y propósitos de retención del conocimiento, seleccionar el medio, localización y protección de la información en cumplimiento con los periodos de recuperación y almacenamiento especificados y con las políticas de la organización, acuerdos y legislación.

- j. Identificar y eliminar la información no requerida, inválida o no verificable de acuerdo a las políticas de la organización y a sus requerimientos de privacidad y seguridad [4].

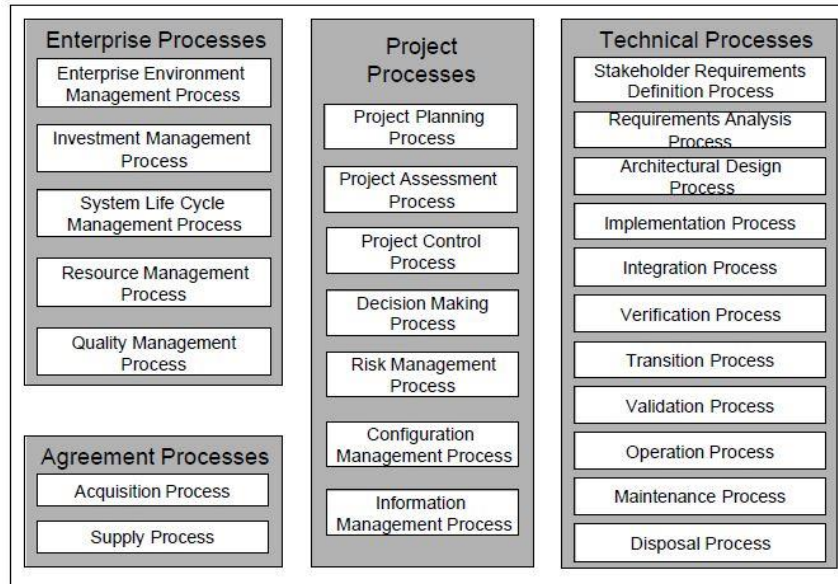


Figura 4.- Los procesos del ciclo de vida de un sistema [4]

2.2.3.3 ISO 15926 – “Sistemas de automatización industrial y su integración – Integración del ciclo de vida de datos para plantas de proceso incluyendo instalaciones de producción de petróleo y gas”.

La información concerniente a la ingeniería, construcción y operación de las plantas de proceso es creada, utilizada y modificada por diferentes organizaciones a través de la vida de la planta (ver Figura 5). Los aspectos económicos, de seguridad y ambientales demandan que esta información esté disponible para los propietarios y operadores de las instalaciones, contratistas y cuerpos regulatorios, de una manera integrada. Estos requerimientos pueden ser satisfechos por especificaciones que establecen la estructura y el sentido de los datos que son compartidos por organizaciones y disciplinas involucradas en todas las etapas del ciclo de vida de la planta. La necesidad de incrementar la eficiencia de los costos de las plantas de proceso está llevando a los negocios a prácticas que dependen de compartir

e integrar información de una manera procesable por computadora. Estas prácticas de negocio incluyen lo siguiente [5]:

- Muchas necesidades de los usuarios abarcan más de una de las tradicionales maneras de ver la información. La seguridad y el medio ambiente son dos ejemplos de esto.
- La ingeniería concurrente requiere de diseñar trabajos para progresar en paralelo, con la disponibilidad del estado del diseño electrónicamente, en una manera procesable por computadora, para otras actividades como ingeniería, planeación, compras y logística.
- La estandarización de especificaciones de componentes deriva en significativos ahorros en costos. La información relacionada con tales especificaciones es requerida de una manera procesable por computadora para una fácil incorporación en requerimientos y diseño de la planta.
- En el pasado, la entrega de la información de diseño de la planta fue a menudo restringida por los planos de diseño y documentos en papel. El uso de esta información en la gestión de la operación y modificación de la planta fue restringida a procesos manuales, o la información tuvo que ser redefinida en un formato adecuado a la aplicación requerida. Teniendo el diseño de la planta y la información de equipos en un formato procesable por computadora, incrementa la eficiencia y eficacia de la fase operacional de la planta.
- La precisión de la información procesable por computadora con relación al desempeño de la planta a través del su tiempo de vida es de alto valor, para la optimización de modificaciones futuras para la planta y para el diseño de nuevas plantas, de acuerdo a la experiencia de plantas existentes.

2.2.3.4 ISO 10303-242 – “Sistemas de integración industrial y su automatización, Gestión de ingeniería basada en un modelo 3D”

ISO 10303 *“Sistemas de integración industrial y su automatización – Representación e intercambio de datos de un producto”*, es un estándar

internacional para la representación de la información de un producto interpretable por computadora y para el intercambio de datos. El objetivo es proveer un mecanismo neutral capaz de describir productos a través de sus ciclos de vida. Este mecanismo es adaptable, no solo para archivos neutros intercambiables, sino también como una base para la implementación e intercambio de bases de datos de productos, así como su almacenaje y archivo.

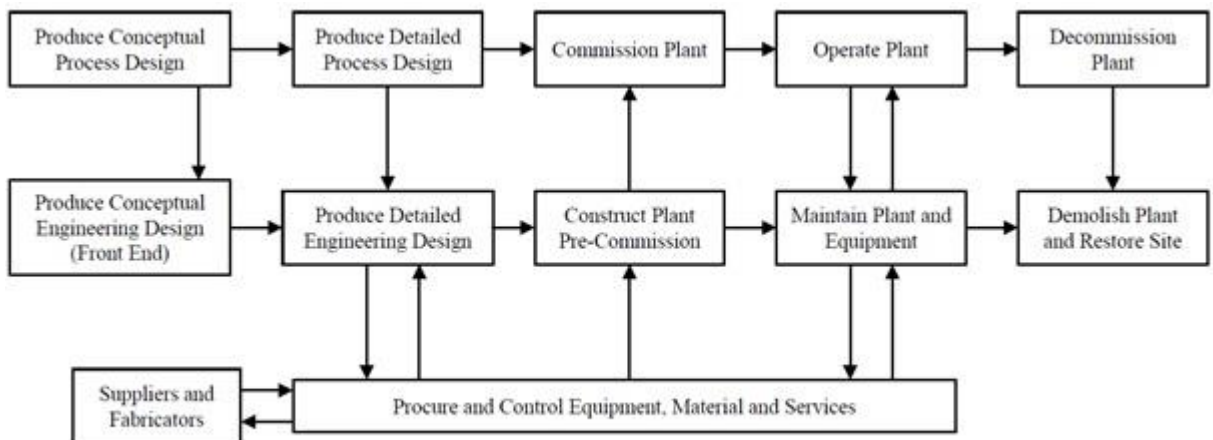


Figura 5.- Modelo de actividades del ciclo de vida de la planta de proceso [5]

Esta norma se crea en 1984 con la finalidad de desarrollar un estándar comprensible para el intercambio electrónico de los datos de los productos entre sistemas de cómputo basados en ciclos de vida de un producto. La norma ISO 10303 es conocida de manera informal con el acrónimo STEP estándar para el intercambio del modelo de datos de un producto, su alcance es muy amplio, por ejemplo comparado con IGES especificación para el intercambio de gráficos inicial, que fue desarrollado primordialmente para el intercambio de datos puramente geométricos entre sistemas de diseño asistido por computadora CAD, STEP por su parte está orientado al manejo mucho más amplio de datos relacionados con un producto cubriendo su ciclo de vida.

ISO 10303 cubre una extensa variedad de diferentes tipos de producto en las áreas de electrónica, electromecánica, mecánica, láminas metálicas, compuestos de fibras, barcos, arquitectura, plantas de proceso, muebles,

etc.) y etapas del ciclo de vida tales como diseño, análisis, planeación, manufactura, etc. esta variedad de usos está en constante expansión en zonas donde el estándar se ha publicado. Actualmente el estándar está compuesto por 40 partes, aunque muchas más están en desarrollo [14].

El ISO 10303 en su parte 242: "*Protocolo de Aplicación: Gestión de ingeniería basada en un modelo 3D*" es parte de una serie de protocolos de aplicación (AP), los cuales sirven para la representación de la ingeniería y los datos de un producto que está basado en un modelo tridimensional. Así mismo, se especifica el uso de recursos integrados necesarios para el alcance y los requerimientos de información para la configuración controlada del diseño tridimensional de partes mecánicas y ensambles. Dentro del alcance de esta parte del ISO 10303 se considera lo siguiente [15]:

- Productos de fabricantes automotrices, aeroespaciales y de piezas mecánicas, así como de sus proveedores, incluyendo partes, ensambles de partes, herramientas, ensambles de herramientas y materias primas.
- Ingeniería y datos de producto para el archivado y recuperación a largo plazo.
- Gestión de datos del producto:
 - Los datos que definen al producto y configuración del control de datos para la administración de grandes cantidades de variantes del producto durante la fase de diseño
 - Los datos que describen los cambios que han ocurrido durante la fase de diseño, incluyendo la rastreabilidad de las versiones del producto y de los datos relacionados con la documentación de los procesos de cambio.
 - Identificación de partes estandarizadas, basadas en normatividad internacional, nacional o industrial.
 - Liberación y aprobación de datos de un producto.
 - Datos que identifiquen al proveedor de un producto y la información relativa a su respectivo contrato.
 - Propiedades de las partes o de las herramientas

- Referencias a la documentación del producto representados en un formato aparte de los especificados en ISO 10303.
- Información de manufactura de un producto, cubriendo las fases de diseño y planeación de la manufactura.
- Identificación de los productos realizados físicamente y registro de los resultados de pruebas.
- Planeación del proceso
 - Información de la planeación del proceso describiendo las relaciones entre las partes y las herramientas utilizadas para su manufactura y la gestión de las relaciones entre las etapas intermedias de una pieza o herramienta desarrollada.
- Diseño mecánico
 - Los diferentes tipos de modelos de geometría, incluyendo
 - Modelo geométrico de alambre 2D y 3D.
 - Modelo geométrico de superficie delimitada geoméricamente.
 - Modelo geométrico de superficie delimitada topológicamente.
 - Modelo geométrico delimitado por facetas.
 - Modelo geométrico con forma compuesta.
 - Modelo geométrico sólido constructivo.
 - Modelo geométrico restringido y paramétrico.
 - Modelo de bosquejo 2D.
 - Modelo geométrico teselado.
 - Representación de la forma de partes o herramientas que son una combinación de dos o más tipos de modelos geométricos.
 - Datos que pertenecen a la presentación de la forma del producto.
 - Representación de porciones de la forma de una parte o de una herramienta con características de manufactura.
 - Datos que definen las condiciones de superficie.
 - Datos de tolerancia geométrica y dimensional.

- Criterios de calidad y resultados de inspección de productos tridimensionales en forma de datos.
- Documentación del producto con comentarios tanto en modelo 3D como en sus planos.
- Cinemática
 - Simulación de datos para la descripción de estructuras de cinemática y de movimiento
- Diseño de composición
 - Definición de partes estructurales compuestas.
 - Asociación de componentes de partes metálicas y compuestas con elementos de modelo de formas.
 - La descripción de tablas laminadas compuestas describiendo el material, secuencia de apilado y orientación del laminado.
 - Los elementos de la composición o de una porción de la composición con una forma definida.
 - La identificación de las especificaciones de los materiales desde fuentes internas y externas, así como sus propiedades para un ambiente específico de operación.

2.2.4 PMBOK (Project Management Body of Knowledge)

El Project Management Institute (PMI), es una organización sin fines de lucro que avanza la profesión de la dirección de proyectos a través de estándares y certificaciones reconocidas mundialmente, a través de comunidades de colaboración, de un extenso programa de investigación y de oportunidades de desarrollo profesional [16]. El PMI desarrolla los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK) el cual describe los conocimientos de la profesión de lo que se denomina la dirección de proyectos. Las prácticas tradicionales comprobadas y ampliamente utilizadas, así como prácticas innovadoras emergentes para la profesión son parte de los fundamentos para la dirección de proyectos, concentrados en una "Guía del PMBOK", sobre la cual las organizaciones pueden construir metodologías, políticas, procedimientos, reglas, herramientas y técnicas, y fases del ciclo de vida necesarios para la ejecución práctica de la dirección de proyectos [17].

- PMBOK, define al proyecto como “*un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único*”, por su naturaleza temporal un proyecto tiene un principio o final definidos. Según PMBOK, los proyectos pueden ser, por ejemplo:
- Desarrollar un nuevo compuesto farmacéutico para el mercado.
- Extender un servicio de guía turístico.
- Fusionar dos organizaciones.
- Mejorar un proceso de negocio dentro de una organización.
- Adquirir e instalar un nuevo sistema de hardware informático para su uso en una organización.
- Buscar petróleo en una región.
- Modificar un programa de software informático usado en una organización.
- Realizar investigaciones para desarrollar un nuevo proceso de fabricación.
- Construir un edificio.

2.2.4.1 Grupo de Procesos de Inicio

El grupo de procesos de Inicio en PMBOK, son *aquéllos procesos realizados para definir un nuevo proyecto o una nueva fase de un proyecto existente al obtener la autorización para iniciar el proyecto o fase*. Requiere previamente de los documentos de negocio, que son documentos que se originan fuera del proyecto. Por definición según PMBOK, los documentos de negocio del proyecto, es “*el estudio de viabilidad económica documentado utilizado para establecer la validez de los beneficios de un componente seleccionado que carece de una definición suficiente y que se usa como base para la autorización de otras actividades de dirección del proyecto*”. Entre los ejemplos de documentos de negocio se incluyen el caso de negocio y el plan de gestión de beneficios, este último definido como “*Explicación documentada que define los procesos para crear, maximizar y mantener los beneficios proporcionados por un proyecto*” [17].

La Figura 6 muestra un diagrama con los límites del Proyecto según PMBOK.

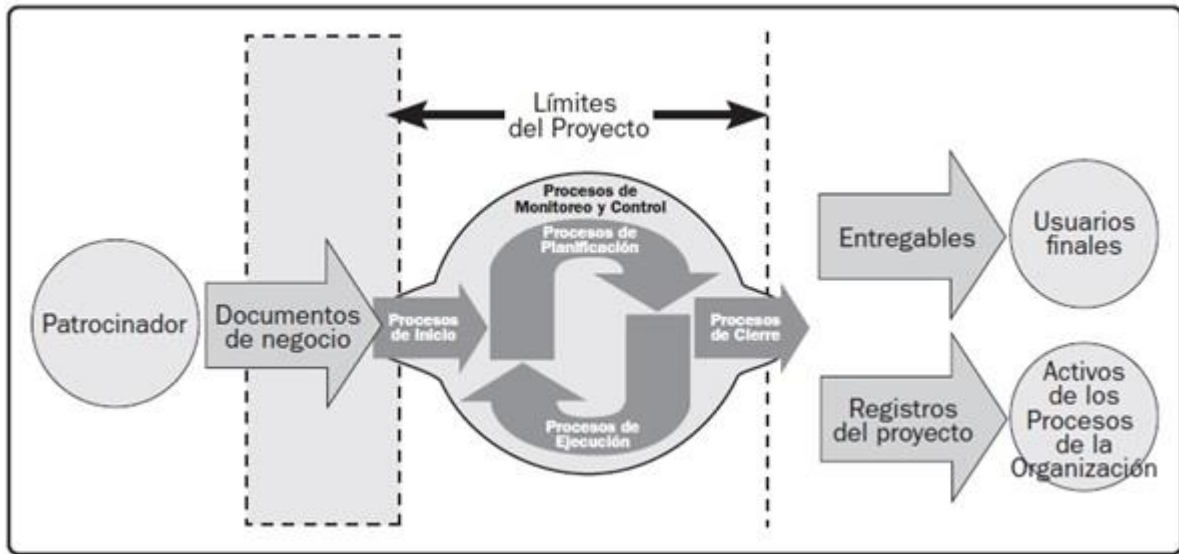


Figura 6.- Límites del Proyecto [17]

2.2.4.2 El Ciclo de Vida del Proyecto

PMBOK define el ciclo de vida de un proyecto como *“la serie de fases que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su conclusión”* (ver Figura 7). Así también, la fase del proyecto es *“un conjunto de actividades del proyecto, relacionadas de manera lógica, que culmina con la finalización de uno o más entregables en donde las fases pueden ser secuenciales, iterativas o superpuestas”*. De acuerdo a las necesidades de gestión y control de la o las organizaciones que participan en el proyecto, se determinan los nombres, número y duración de las fases de un proyecto. Tales fases son acotadas en el tiempo, con un inicio y un final o punto de control en el que se denomina también revisión de fase, punto de revisión de fase, revisión de control u otro término similar. En el punto de control, el acta de constitución del proyecto y los documentos de negocio se vuelven a examinar de acuerdo al entorno actual. Aquí se compara el desempeño del proyecto con el plan para la dirección del proyecto para determinar si se debe cambiar, terminar o continuar tal y como se había planeado [17].

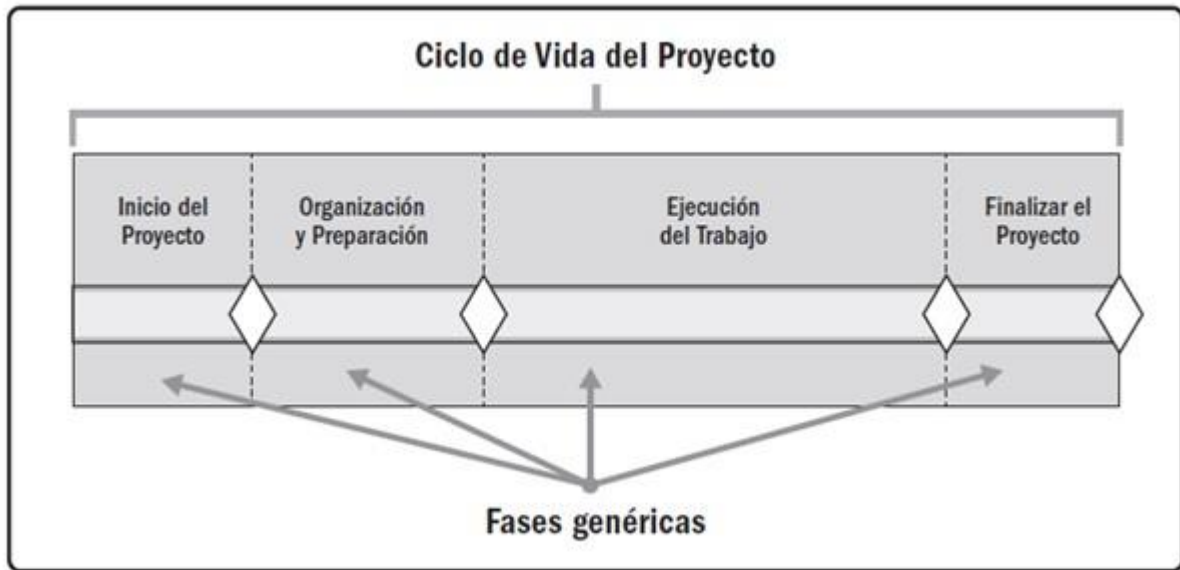


Figura 7.- Ciclo de vida de un proyecto según PMBOK [17]

2.3 Ingeniería, ingeniería concurrente y flujo de trabajo.

2.3.1 Definiciones de Ingeniería

El Consejo de Acreditación para la ingeniería y la tecnología de Estados Unidos de América, define a la ingeniería como *“la profesión en la que los conocimientos de matemáticas y ciencias naturales, obtenidos a través del estudio, la experiencia y la práctica, se aplican con juicio para desarrollar diversas formas de utilizar, de manera económica, las fuerzas y los materiales de la naturaleza en beneficio de la humanidad”* [18].

El objetivo del desarrollo de ingeniería se concentra en materializar o construir un bien, en este caso, en una planta de proceso. En este sentido, se conforman distintas fases de ingeniería a fin de aproximarse progresivamente a la definición del alcance, así como su estimación de inversión. El desarrollo de cada fase de ingeniería, genera un conjunto de documentos o entregables que permiten lograr la definición requerida por la fase y su alcance, para establecer la estrategia de la(s) fase(s) siguiente(s), establecer los plazos del proyecto, desarrollar el cronograma y estimar el costo del proyecto, los cuales

permitirán analizar la factibilidad económica y/o rentabilidad del proyecto [19].

2.3.1.1 Visualización

La visualización es también conocida como estudio de factibilidad, y tiene por objeto determinar si la oportunidad de negocio tiene el potencial suficiente para justificar la inversión. En esta etapa se conforman varias alternativas técnicamente factibles, sus ventajas y desventajas, las cuales sirven para conformar una breve lista de opciones a analizar con más detalle en las siguientes fases. En esta fase se fijan las bases del negocio, los productos y su inserción o comercialización en el mercado. Aquí se propone la capacidad de procesamiento para alimentar la economía de escala y las ubicaciones que cuentan con las condiciones idóneas para el desarrollo del proyecto. La etapa de Visualización se considera de Clase 5 de acuerdo a la Asociación Americana de Ingeniería de Costos (AAEC) No. 18R-97 con el objetivo de evaluar la oportunidad de negocio [19].

2.3.1.2 Ingeniería Conceptual

La ingeniería conceptual es la fase en la cual se realiza la selección de la opción más viable para los escenarios establecidos, a partir del desarrollo de varias alternativas denominadas "casos". La Ingeniería conceptual tiene por objeto identificar la viabilidad técnica y económica de las opciones visualizadas y con ello determinar las bases para el desarrollo de las siguientes etapas de ingeniería.

La ingeniería conceptual define los objetivos deseados por el cliente, se estudia las tecnologías aplicables, las normas nacionales e internacionales que regularán los diseños, los sistemas que serán parte del proyecto, los requerimientos de espacio, las especificaciones técnicas elementales y la filosofía general de operación de la planta. Esta etapa se considera de Clase 4 de acuerdo a la Asociación AAEC No. 18R-97 con el objetivo de someter a

evaluación la viabilidad del proyecto y la obtención de una aprobación preliminar del presupuesto asociado [19].

2.3.1.3 Ingeniería Básica

El objetivo de la Ingeniería Básica es complementar el alcance de la alternativa seleccionada durante la fase de Ingeniería Conceptual y con ello elaborar un plan de ejecución del proyecto que permita consolidar el presupuesto o iniciar la gestión para obtener el financiamiento necesario. En esta fase se determina el alcance del proyecto de manera clara y precisa, las capacidades y características de los productos y servicios que genera el proyecto, los aspectos relativos al medio ambiente y la seguridad, las filosofías de operación y la selección de materiales documentando los resultados obtenidos de forma completa y estructurada. Se establecen las especificaciones detalladas que se complementan en las etapas subsecuentes. Esta fase se define de Clase 3 de acuerdo a la AACE No. 18R-97 con el objetivo de solicitar la aprobación presupuestaria del proyecto [19].

2.3.1.4 Ingeniería Básica Extendida

La ingeniería Básica Extendida o también conocida como Front End Engineering Design (FEED) [20], complementa lo que es el paquete de entregables elaborados en la etapa anterior y a la vez que se desarrolla la planeación para la ejecución del proyecto, capaz de comprometer los fondos y obtener el financiamiento necesario que cubra los requerimientos para la ejecución de las etapas siguientes del proyecto. Las actividades a desarrollar en esta etapa van enfocadas a detallar el alcance del proyecto, obtener el diseño de los equipos, análisis para su constructibilidad, el diseño de los servicios y sistemas auxiliares. El paquete de información producida en esta fase sirve para definir los costos de mercado de los componentes principales o de aquellos equipos cuya adquisición requieren de largo plazo en su fabricación o entrega, y con ello considerar los tiempos en el programa del proyecto previniendo los requerimientos propios de las etapas de procura y

construcción. Se considera esta fase de Clase 2, de acuerdo a la AACE No. 18R-97 con el objetivo de solicitar la aprobación del proyecto. Un paquete de ingeniería básica extendida completo debe permitir preparar una oferta clara y concisa para formular un contrato del tipo IPC (Ingeniería, Procura y Construcción) sin una relevante elaboración adicional del diseño [19].

2.3.1.5 Ingeniería de Detalle

En la etapa de Ingeniería de Detalle, tal como su nombre lo indica, se desarrollan las actividades necesarias para complementar un paquete de información técnica con toda la ingeniería del proyecto capaz de proporcionar un nivel de detalle tal, que haga posible su construcción. Las estimaciones económicas asociadas a esta etapa sirven para verificar y precisar las consideraciones realizadas anteriormente. Se establece como la estimación de costo asociada al proyecto, de Clase 1 de acuerdo a la AACE No. 18R-97 con el objetivo de retroalimentar estimaciones económicas previas. Los entregables de la ingeniería de detalle deben ser suficientes para [19]:

- Definir los materiales, conjuntos prefabricados y equipos a adquirir de tal modo que su cotización y proveeduría sea unívoca.
- Definir los métodos constructivos, criterios de aceptabilidad, pruebas, ensayos, etc. de las instalaciones a construir.
- Definir todos los aspectos geométricos y dimensionales necesarios para la fabricación y montaje de los componentes del proyecto.
- Definir todos los requerimientos de ensayos y pruebas de equipos y sistemas que comprenden las instalaciones.

En la Figura 8 se observa la interacción de los estándares, guías y normas durante el ciclo de vida de la planta:

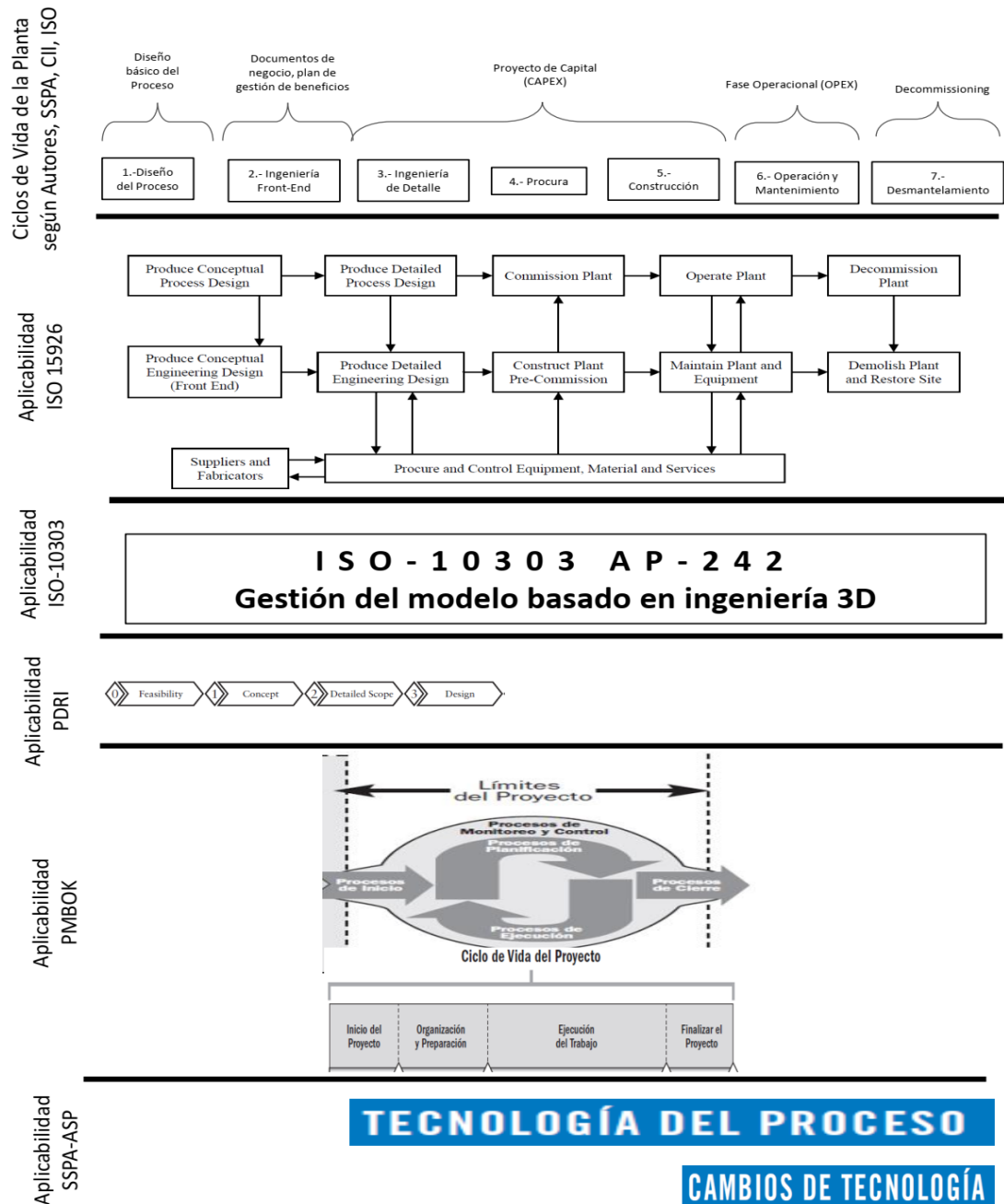


Figura 8.- Interacción de normativa, guías y estándares con el ciclo de vida de la planta.

2.3.2 Ingeniería Concurrente

La ingeniería concurrente es una filosofía de trabajo sistemático para el diseño de productos de forma integrada y simultánea, incluyendo los procesos relacionados con el producto, su manufactura y las actividades de apoyo.

Éste enfoque tiene por objeto que el desarrollador considere desde un principio, todos los elementos del ciclo de vida del producto desde su concepción hasta su retiro o destrucción, incluyendo aspectos de calidad, costos, programas y requerimientos de los usuarios [21].

La ingeniería concurrente mejora el enfoque secuencial de la producción tradicional mediante tres elementos principales [22]:

- a. Una arquitectura computacional distribuida que permita la sincronización, la programación optimizada de actividades y el manejo correcto de flujos de información.
- b. Una representación unificada de toda la información de diseño y manufactura, de forma que pueda visualizarse comprenderse desde puntos de vista heterogéneos.
- c. Herramientas computacionales que permiten desarrollar prototipos a bajo costo, de forma óptima e inteligente.

La ingeniería tradicional tiene un enfoque secuencial y aunque es posible volver a las fases anteriores de desarrollo del producto, las tareas deben realizarse una a la vez. Por el contrario, el enfoque concurrente permite la ejecución simultánea de varias tareas de desarrollo hasta la fabricación del prototipo. La ingeniería concurrente también se caracteriza por modificar el enfoque de trabajo tradicional en los aspectos de cultura organizacional, en los equipos de trabajo multidisciplinarios y enfatizando los flujos de trabajo de la información, más que la estructura jerárquica de la organización.

El Internet y la inteligencia artificial permiten crear nuevas aplicaciones para un mejor aprovechamiento de la ingeniería concurrente propiciando el fomento del desarrollo de tareas en paralelo, los equipos de trabajo multidisciplinarios y el intercambio eficiente de información. Además, con el uso de agentes computacionales y lenguajes para el manejo de conocimiento, junto con nuevas ontologías, puede proveer de una base confiable y flexible para crear plataformas de desarrollo de bajo costo para

la ingeniería concurrente, aprovechando la infraestructura desarrollada en los últimos años para Internet [22].

2.3.3 Flujo de Trabajo

La gestión del flujo de trabajo (WorkFlow), se define como un sistema semi-automatizado que comunica, coordina y controla de manera efectiva, la información a través de módulos identificados y rutas preestablecidas con la menor intervención humana. El éxito de un sistema de flujo de trabajo puede atribuirse a su eficiencia en el efectivo monitoreo de los procesos y sistemas de una organización en donde el ambiente para compartir el conocimiento es distribuido, heterogéneo y parcialmente automatizado. El flujo de trabajo se representa por colores, con un gráfico dirigido, conectado por nodos y arcos los cuales en la mayoría de los casos son acíclicos. Este flujo de trabajo, engloba actividades condicionales y no condicionales los cuales son representados por nodos y el flujo de datos entre ellos son representados por arcos precedidos por un Inicio y terminados por la condición Fin. En la Figura 9 se muestra una representación del diseño de flujo de trabajo [23].

La operación del Flujo de Trabajo, distingue actividades de trabajo independientes y las convierte en tareas propiamente definidas con roles identificados, procedimientos y reglas preestablecidas, las cuales forman un mapa de acuerdo a la metodología de trabajo de la organización. Las reglas preestablecidas de un flujo de trabajo, hacen que un usuario inicie las tareas, que un supervisor las evalúe y que una herramienta final indique el estado de la terminación del trabajo, a través de un correo electrónico autogenerado como un aviso predeterminado. Con este proceso, el conocimiento se puede gestionar, compartir, transferir y dirigir con una completa autenticación del usuario.

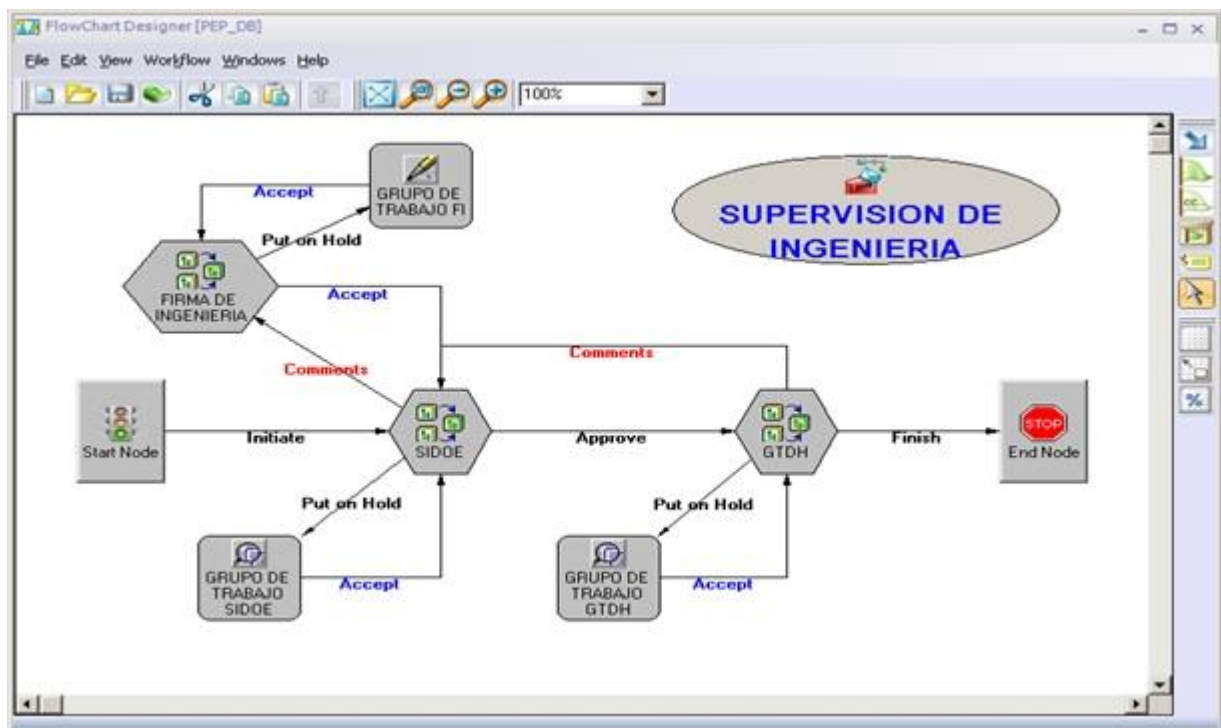


Figura 9.- Diseño del Flujo de Trabajo diseñado para GTDH Pemex

La operación del Flujo de Trabajo se disemina de manera implícita o por procesos definidos, que pueden aplicarse en el proceso de una planta, en el producto, en la administración de los cambios o en la gestión de planos y documentos. Una modalidad del Flujo de Trabajo puede ser orientado a procesos, en donde el Flujo de Trabajo dispersa las actividades en varias tareas relacionadas con recursos identificados y con un factor cuantificable asignado para cada etapa, para dar de este modo, una visión del porcentaje de avance del trabajo. La modalidad del Flujo de Trabajo orientado a productos muestra el estatus presente, basado en el progreso del trabajo o su liberación, según sea el caso, durante el ciclo de vida correspondiente. En un ambiente de procesos de cambios, el flujo de trabajo toma el proceso o documento a través de una fase completa de administración de cambios el cual arranca con el inicio del cambio, su aprobación, control de versiones, notas de cambio y finalmente el control de la revisión [23].

Por último, el Flujo de Trabajo ayuda como un mapa de ruta en cuanto a la gestión de planos y documentos de ingeniería iniciando con la creación, y continuando con la aprobación, operaciones de check in / check out,

actualizando el historial de versiones y finalmente liberando el plano o documento a una bóveda de información [23].

2.3.4 Ontología

Ontología en Ingeniería de Sistemas, como un entendimiento o vocabulario común y compartido de un dominio, que puede ser comunicado entre personas y sistemas de aplicación. Las ontologías han ganado popularidad en los últimos años de la investigación científica computacional, ya que los volúmenes de datos y servicios con los que se interactúa, cada día rebasa la capacidad de manejo de las técnicas y herramientas tradicionales informáticas. Uno de los objetivos de las ontologías es alcanzar la interoperabilidad entre múltiples representaciones de la realidad que residen en un sistema de cómputo y la percepción de la realidad humana [24].

De acuerdo a un estudio realizado en Estados Unidos, los costos anuales debido a una inadecuada interoperabilidad en los proyectos de capital de instalaciones industriales, son de aproximadamente 15 mil 800 millones de dólares en el 2002. La inadecuada interoperabilidad se refiere a una naturaleza fragmentada de la industria, con prácticas de negocio basadas en papel, la ausencia de una estandarización y la adopción de tecnologías inconsistentes entre los interesados del proyecto [25].

Los problemas de interoperabilidad en el área de ingeniería de sistemas, esta última conocida como "Procesos del ciclo de vida de los sistemas", se define en el estándar ISO 15288. La implementación de la ingeniería de sistemas generalmente tiene problemas de integridad y consistencia, debido a que la interpretación de la ISO 15288 es abstracta en la descripción de los procesos, por ello el estándar ISO 15926 identifica las entidades relevantes en los procesos del ISO 15288, define relaciones explícitas entre las entidades asociadas, terminando en un conjunto de modelos de información construidos sobre entidades definidas y sin ambigüedades, con sus respectivas relaciones. Este enfoque ha mostrado mejoras significativas en la integridad y

consistencia en las descripciones de los procesos de ingeniería de sistemas y por lo tanto minimiza la barrera conceptual de la interoperabilidad [26].

Los usos de ontologías son los siguientes:

Para comunicaciones:

- Entre sistemas computacionales implementados.
- Entre humanos.
- Entre humanos y sistemas computacionales implementados.

Para inferencias computacionales:

- Para representar y manejar internamente planes y su información asociada
- Para análisis de estructuras internas, algoritmos, entradas y salidas de sistemas implementados en términos conceptuales y teóricos.

Para reutilización (y organización) de conocimiento:

- Para la estructuración y organización de librerías o repositorios de planos, programas de planeación e información de dominio.

La ontología no sólo provee las bases para la inferencia de datos computacionales, sino que además ayuda a mejorar la interacción entre múltiples actores humanos y las interacciones de los humanos con sistemas computacionales [24].

2.3.5 Reutilización del conocimiento entre miembros de un equipo de ingeniería

Uno de los mayores problemas para la administración del conocimiento en un ambiente de proyectos es el escaso análisis de éxito del proyecto y la ausencia de documentación apropiada en los resultados de proyectos previos, esto debido a que cada proyecto es presentado como temporal y con un tiempo de vida relativamente corto. El equipo ingeniería en una típica organización basada en proyectos, necesita combinar profesionales con

diferentes conocimientos y habilidades. Reutilizar el conocimiento de proyectos previos significa ahorrar tiempos en el diseño; Por ejemplo, cuando se diseñan proyectos similares se pueden registrar las lecciones aprendidas de situaciones de éxito, lo cual reduce la inversión en capital humano además de evitar errores similares.

En el equipo de ingeniería, la heterogeneidad del conocimiento se intensifica constantemente, y se refiere a la diversidad en habilidades y conocimientos representados en un equipo de trabajo, algunas veces expertos con diferentes conocimientos proveen mejores soluciones a un problema que de manera individual. Sin embargo, la heterogeneidad del conocimiento puede impactar negativamente en el desempeño del equipo de ingeniería, ya que éste desempeño está influenciado directamente por tres procesos del equipo:

- Comunicación y colaboración
- Manejo de conflictos
- Proactividad

Cuando el grado de heterogeneidad del conocimiento es muy alto, se incrementan las dificultades de comunicación y colaboración del equipo al grado que impacta el entusiasmo, provocando un bajo rendimiento.

A través de la reutilización del conocimiento existente, un individuo ahorra tiempo y esfuerzo asegurando la calidad del conocimiento. La reutilización del conocimiento es capaz de coordinar diferentes recursos desde varios aspectos, lo cual facilita a los diseñadores a mejorar los análisis y resolver problemas, para la creación de nuevas soluciones. La reutilización del conocimiento además puede proveer una referencia en proyectos similares y mejorar la calidad del diseño de la ingeniería. Actualmente en los ambientes de diseño de ingeniería, los diseñadores están limitados en su habilidad para maximizar la reutilización del conocimiento por el hecho de que existen obstáculos para la búsqueda, acceso e integración de información de diseño reutilizable en múltiples fuentes. La reutilización del conocimiento proporciona más tiempo para la innovación, provoca que la organización sea más

creativa, acelera la velocidad para compartir y transferir conocimiento, mejora la agilidad del equipo.

Los diseñadores pueden utilizar el conocimiento adquirido de experiencias previas para tomar decisiones al momento de enfrentarse a información inadecuada; Algunas veces los empleados no comparten sus conocimientos por temor a perder su ventaja competitiva.

El incremento de importantes activos en la empresa se debe a una efectiva reutilización de la experiencia adquirida y las lecciones aprendidas, ya que representan fuentes de ventajas competitivas en varias áreas. Desafortunadamente, incluso en grandes compañías constructoras no cuentan con mecanismos de captura, almacenamiento y reutilización para la generación de conocimiento. La reutilización del conocimiento es cuando *“un individuo o grupo de individuos utilizan el conocimiento producido por otros individuos, a fin de ser más efectivo y productivo en su trabajo”*, por lo que no sólo se incrementa el conocimiento completo de la organización, sino que además mejora la calidad del conocimiento [27].

2.4 Software disponible de METI y MEBI para plantas de proceso

Existen aplicaciones certificadas para el desarrollo del modelado bidimensional y tridimensional inteligente de una planta industrial de procesos, que cumplen con la utilización de la filosofía de ingeniería concurrente y los protocolos de aplicación de ISO. Bajo tales criterios, se presentan los programas de cómputo más representativos a nivel mundial.

2.4.1 PDMS

Plant Design Management System (PDMS) de AVEVA (ver Figura 10), es un programa de computadora con una solución data céntrica y permite el diseño tridimensional multidisciplinario de una planta. Cuenta con módulos para el diseño de equipos, tuberías, ductos de HVAC, estructuras y charolas para cableado. El modelado es llevado a cabo utilizando catálogos y

especificaciones definidos por el cliente, en un ambiente tridimensional a color con el apoyo de herramientas que aseguran un diseño libre de interferencias e inconsistencias.

Un amplio rango de planos, reportes y listas de materiales pueden ser generados directamente desde el modelo 3D, asegurando precisión y consistencia de datos [28].

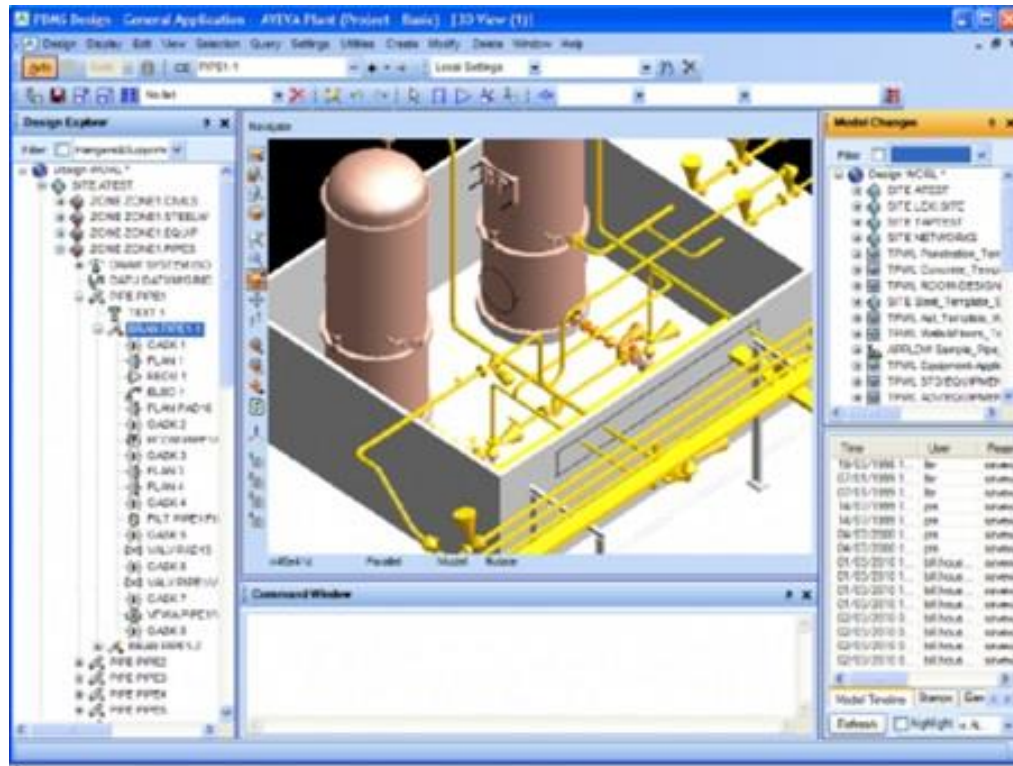


Figura 10.- Programa AVEVA PDMS

AVEVA Diagrams, es un sistema de diagramación inteligente para Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI), esquemas de ductos y diagramas similares. Guarda los elementos de los diagramas directamente en una base de datos, cuando un diagrama es creado o modificado.

Esta tecnología proporciona una integración con productos de diseño tridimensional de AVEVA, generación de reportes y gran capacidad para la administración de datos [28].

2.4.2 CATIA

CATIA (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive Application) de Dassault Systèmes, su módulo de Equipment and Systems Engineering Solutions (ver Figura 11), integra aplicaciones para proyectos de gran escala, con procesos clave en ciclo de vida del diseño de una planta, asegurando el cumplimiento de los estándares del proyecto. Soporta un diseño lógico bidimensional (2D) para ser llevados a definiciones tridimensionales (3D) y conservar la consistencia entre ambos. Provee también herramientas para satisfacer los requerimientos en las etapas del ciclo de vida de la planta, el diseño de sus equipos, tuberías, HVAC y estructural.



Figura 11.- Programa CATIA de Dassault Systèmes

CATIA Piping and Instrumentation Diagrams provee a los clientes las herramientas para crear y administrar diagramas lógicos de sistemas de tuberías utilizando estándares internacionales, terminología y las mejores prácticas. Las herramientas están enfocadas en la creación de diagramas inteligentes que capturan el diseño estándar y la conectividad de rutas de tubería. Esta capacidad del diagrama inteligente habilita a los usuarios para crear y validar sus diseños de tuberías tridimensionales de una manera más productiva [29].

2.4.3 Plant 4D

Plant 4D desarrollado por CEA Asset Flow Solutions (ver Figura 12), es un software para diseño de plantas industriales en 3D utilizado en el sector de diseño de plantas petroleras, químicas, bebidas, alimentos, papel y para el diseño de plataformas marinas. La aplicación está basada en Windows. Asegura la integración con cualquier programa lo que permite iniciar el proyecto en AutoCAD o MicroStation, ayudando en el ahorro de licencias y costos de formación, generando una mayor personalización del proyecto. Plant 4D utiliza una base de datos central que permite el intercambio de datos y la interacción de todas las disciplinas como el diseño de equipos, tuberías, estructural, HVAC, etc. los datos de entrada solo son necesarios una sola vez con actualizaciones automáticas desde otros lugares.

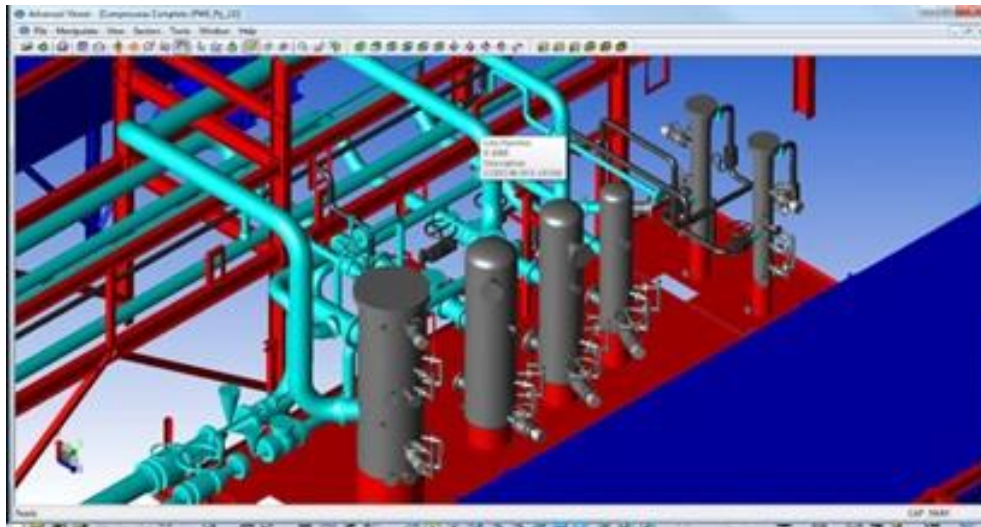


Figura 12.- Programa Plant 4D

Está disponible en base modular, incluyendo: P&ID, Instrumentación, Equipos, Tuberías, Estructurales, Detalle de Isométricos, Paneles Eléctricos, Aire Acondicionado, Ventilación, Charolas y un manejador de especificaciones. Su base de datos también puede ser independiente como Oracle, My SQL o Access. Permite el intercambio de datos entre 2D y 3D así como la administración de la información entre las etapas del ciclo de vida [30].

2.4.4 Smart Plant 3D

SmartPlant 3D de *Intergraph* (ver Figura 13) en sus presentaciones *Process*, *Power* y *Marine* es un software para el modelado de plantas de proceso comprendiendo las capacidades necesarias para diseñar una planta y después mantenerla en estado "como construido" a través de su ciclo de vida. Cuenta con una base de datos, manejada por reglas para mejorar los procesos de diseño de ingeniería mientras se preservan los datos existentes haciéndolos útiles y reutilizables.

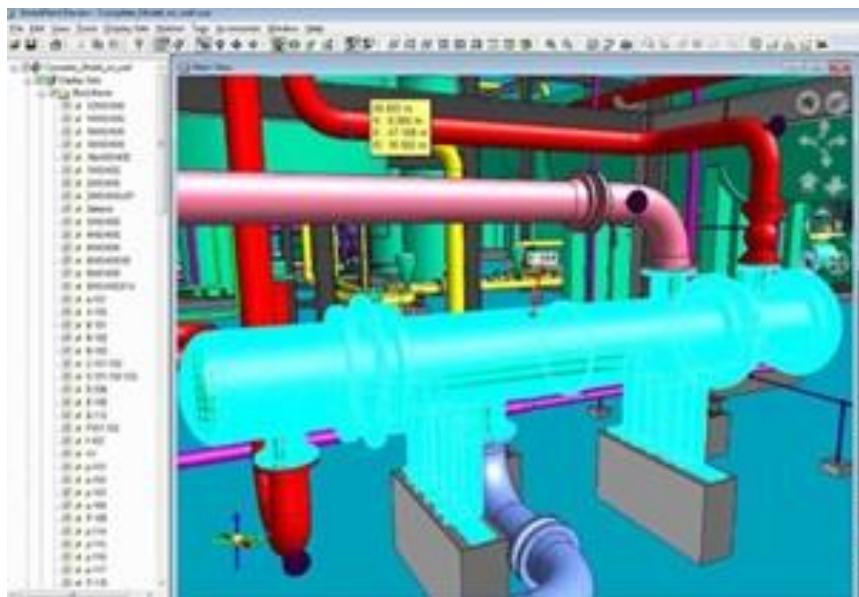


Figura 13.- Programa SmartPlant 3D de Intergraph

Soporta la filosofía de trabajo de ingeniería concurrente en múltiples centros de diseño alrededor del mundo, mientras mantiene un proyecto manejable y dentro de los parámetros de tiempo y costo. Los dueños y operadores de la planta pueden emplear la concurrencia en la planta, para proyectos nuevos, reconfiguraciones mayores y programas de mantenimiento. También tiene la capacidad de reutilizar modelos de plantas anteriores para reducir el ciclo de vida del diseño, mientras continúan presentando información integrada y consistente de la planta como soporte en las actividades de operación y mantenimiento. Con el uso simultáneo de los productos *SmartPlant*

Instrumentation, P&ID y Materials para la información 2D, se puede crear un excelente flujo de trabajo [31].

- Su facilidad de uso aumenta la productividad.
- Herramientas proactivas para administración de cambios.
- Diseño de reglas para incrementar la calidad de los datos y asegurar la integridad del diseño.
- Generación automatizada de planos reduciendo costos de ingeniería.
- Capacidad para ingeniería concurrente a nivel mundial para una óptima ejecución del proyecto.
- Preserva el valor de la información de la ingeniería de la planta.
- Soporta base de datos de Oracle y Microsoft.

2.4.5 AutoPlant

Es un software para el modelado y diseño de plantas en 3D creado por *Bentley* (ver Figura 14), el cual integra herramientas para diseñar tuberías, equipos y conductos eléctricos inteligentes.



Figura 14.- Programa AutoPlant de Bentley

Incluye especificaciones dirigidas al diseño 3D así como herramientas para tuberías, equipos, isométricos, charolas de cableado y diseño de estructuras de acero con la funcionalidad del diseño 2D para la instrumentación y cableado, hojas de datos de procesos y equipos, así como diagramas de tubería e instrumentación, manejo de flujos de trabajo (workflow), mejora la distribución de la información entre los miembros del equipo de diseño, reduce riesgos, facilita una efectiva administración de los cambios y conlleva a la ejecución de los proyectos con alta calidad.

Una característica importante es que soporta la creación de modelos con capacidad para el intercambio de la información de infraestructura abierta lo cual adiciona valor a los proyectos a través de una interoperabilidad con otros programas. Lo que lo convierte en el primer software de modelado de plantas 3D para uso nativo de datos de acuerdo al ISO 15926 como lo especifica la comunidad de datos iRING [32].

2.4.6 AutoCAD Plant3D

AutoCAD Plant 3D (ver Figura 15) desarrollado por Autodesk incorpora características que simplifican el diseño de procesos con la creación de P&ID, integrando el modelo de diseño 3D de la planta y una efectiva colaboración. Los DTI se pueden crear, modificar y validar rápidamente y con precisión incluyendo un manejador de especificaciones para verificar que los componentes de tubería están correctamente mapeados en la especificación mediante un vínculo del plano. Los componentes que no se encuentren en la especificación de la tubería se señalan con banderas para ser identificados fácilmente. AutoCAD Plant 3D permite el diseño de una planta de procesos, a través de flujos de trabajo. Incluye también las herramientas necesarias para el modelado tridimensional de tuberías, estructuras, equipo mecánico y dinámico, instrumentación, charolas de cables, soportes con sus correspondientes catálogos. También permite la generación automatizada de planos e isométricos. Cuenta con una base de datos y permite la ingeniería concurrente entre los miembros del equipo de ingeniería [33].

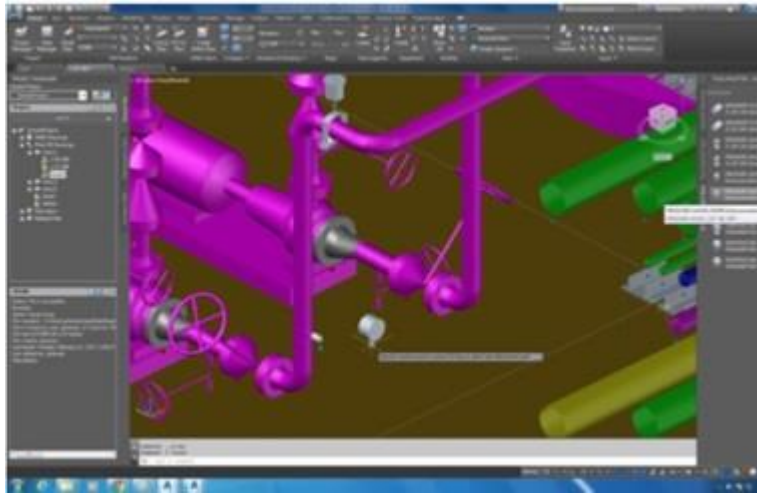


Figura 15.- Programa AutoCAD Plant3D de Autodesk

2.5 TEORÍA DE SISTEMAS

2.5.1 La Teoría General de Sistemas

La Teoría General de Sistemas fue creada por Ludwig Von Bertalanffy; conjuntando diferentes perspectivas (Figura 16), el sistema se define como *“un conjunto de elementos que suman esfuerzos colaborando de manera coordinada y con una constante interacción para alcanzar objetivos en común, es claramente identificable por una frontera que lo delimita y se encuentra operando en un ambiente o entorno con el cual puede guardar una estrecha relación; Cada uno de estos elementos puede a su vez, puede ser un sistema de menor complejidad o tamaño llamado subsistema, y por el contrario cada uno de esos sistemas pueden ser un elemento de un sistema más grande o supersistema”* [34].

Cuando se trabaja de manera ordenada y coordinada en un sistema, en el trabajo se genera sinergia, es decir, el trabajo en equipo en donde cada uno de sus elementos interactúa entre sí para alcanzar un objetivo en común.



Figura 16.- Necesidades que atiende la Teoría General de Sistemas [34]

Es importante mencionar que elemento importante de un sistema es lo que se denomina realimentación, que por definición, es “*el proceso en el cual la información de salida o respuestas se convierten nuevamente en entradas o estímulos, alcanzando con ello un grado de estabilidad requerido para seguir operando*”; Esta estabilidad puede ser mantenida, si se disponen de los recursos suficientes para actuar en caso de alguna contingencia a través de mecanismos instaurados dados por la experiencia y madurez con que se cuenta, generados por el conocimiento que tiene el sistema de lo que sucede en su interior [34].

El estado del arte en el terreno de la interoperabilidad e integración empresarial demuestra que los sistemas de información se han integrado exitosamente con los negocios y la gestión. Un sistema de información puede ser cualquier combinación organizada de personas, hardware, software, redes de comunicación y recursos de datos que coleccionan, transforman y diseminan información en una organización. Las personas han confiado en los sistemas de información para comunicarse entre ellos utilizando una variedad de dispositivos físicos (hardware), instrucciones y procedimientos para el procesamiento de la información (software), canales de comunicación (redes) y datos almacenados (recursos) desde el inicio de la civilización. Sin embargo, al día de hoy, el tamaño de la empresa tendrá menor importancia

con relación a su capacidad para colaborar, adaptarse e interoperar. El desafío planteado por el nuevo enfoque en la interoperabilidad es determinar una forma de representar la semántica para la especificación de un sistema complejo de acuerdo con un trabajo de colaboración sostenible [35].

2.5.2 Sistemas Dinámicos

En el área de la ingeniería concurrente, existen distinciones entre sistemas:

- Metasistemas
- Hipersistemas
- Sistemas funcionales
- Subsistemas
- Sistemas de aspecto
- Módulos de aplicación
- Microsistemas granulares

Un subsistema es un subconjunto de elementos en un sistema, en el cual todas las relaciones originales entre estos elementos permanecen sin cambios, por otro lado, un sistema de aspecto, es un subconjunto de relaciones en el sistema, en el cual todos los elementos permanecen sin cambio alguno. La distinción entre un subsistema y un sistema de aspecto puede realizarse con el fin de obtener una mejor visión en un adaptado sistema complejo. Adicionalmente, hay distinciones entre sistemas dinámicos y estáticos. En los sistemas estáticos no ocurren eventos, en cambio en los sistemas dinámicos reaccionan a cambios internos y externos (Ver Figura 17).

Un proceso es una serie de transformaciones durante el curso de la producción, propiciando que los elementos de entrada se sometan a un cambio con relación a su lugar, posición, tamaño, forma, función, propiedades, o cualquier otra característica. Con relación a la presencia de los procesos, los elementos temporales y permanentes pueden ser distinguidos en el sistema. Los elementos permanentes son los subsistemas o componentes del sistema de ensamblaje, tales como sistemas de alimentación, robots y

sensores, los cuales cumplen sus funciones y forman la estructura de un sistema a través de sus relaciones. Los elementos temporales son continuamente trasladados al sistema de ensamblaje y transformados en una salida deseada por el ambiente (mercado). Estos elementos implican un flujo de material (partes del producto), un flujo de energía y un flujo de información. La importancia reside en el flujo del material, ya que este último es considerado en la salida [35].

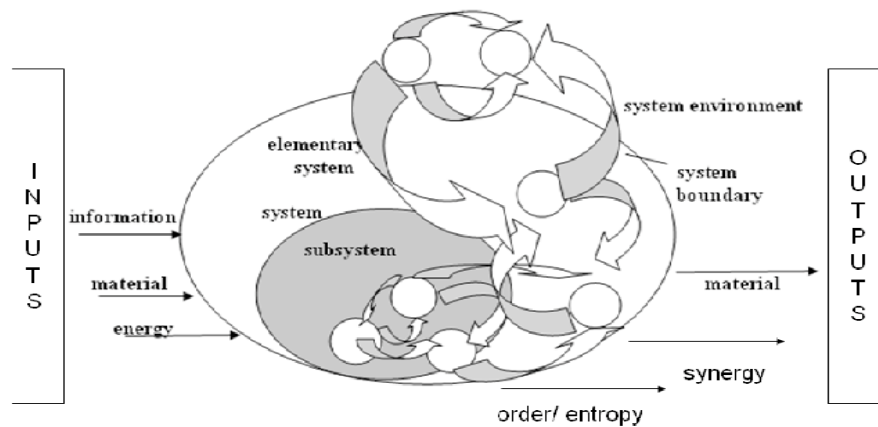


Figura 17.- Representación gráfica de un sistema dinámico [35]

CAPITULO 3. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

3.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

El enfoque metodológico seleccionado es del tipo descriptivo [36], para la especificación de:

- Las etapas del ciclo de vida de la planta de proceso
- Los documentos esenciales durante la vida de la planta
- Las relaciones entre los planos y documentos esenciales
- Flujo de Trabajo
- Los planos y documentos que pueden administrar los modelos electrónicos bidimensionales y tridimensionales inteligentes
- Establecer un parámetro de confiabilidad en la integridad de la información técnica esencial de la planta.
- Demostrar la correlación entre las variables

Con la recolección de información, su caracterización y los perfiles necesarios, precisar las dimensiones de los problemas de integridad y consistencia de la información de una planta de proceso, medir su grado de definición, así como sus relaciones, y generar un parámetro referente a la integridad de la información técnica.

3.2 DISEÑO DE EXPERIMENTO

El diseño experimental está basado en el estudio del efecto de dos factores sobre una variable de respuesta siendo el más adecuado el diseño factorial en dos niveles, debido a su eficacia y versatilidad. El diseño factorial 2^2 en donde cada réplica consiste en 4 tratamientos (2×2), que se pueden denotar con los signos +, - debido a su practicidad en su matriz de diseño, con una combinación de la notación de Yates en donde permite representar y calcular los efectos de interés, cuya lógica determina la suma de las observaciones en cada tratamiento, en donde la letra minúscula presente quiere decir que

el(los) factor(es) está(n) en su nivel alto, si está(n) ausente(s) corresponde a que el factor está en su nivel bajo, y (1) denota que ambos factores están en su nivel bajo [37].

Los tratamientos se representan de acuerdo a la Tabla 1.

Tabla 1.- Tratamiento en el diseño experimental tipo [37]

	A	B	Notación de Yates
Tratamiento 1	-	-	(1)
Tratamiento 2	+	-	a
Tratamiento 3	-	+	b
Tratamiento 4	+	+	ab

Existen tres efectos de interés, los dos factores principales A y B y el efecto de interacción.

Variable de entrada “Puntaje del PDRI” (Factor A): Es un puntaje obtenido de la ponderación de cada elemento de una ingeniería (planos y documentos técnicos) enlistada y definida por el CII. Este puntaje se tomará para determinar el grado de definición de la información esencial de la planta independientemente del ciclo de vida. Con la obtención de un puntaje de 200 o menos, el grado de definición es alto para el *Factor A*. Si es mayor a 200, la integridad de definición es bajo para el *Factor B*.

Variable de entrada “Puntaje de relaciones” (Factor B): Es un puntaje obtenido a través de la ponderación de la relación entre los planos y documentos técnicos de la planta, basados en los puntajes de PDRI. El puntaje resultante, se tomará para determinar el grado de consistencia de la información esencial de la planta independientemente del ciclo de vida. Con la obtención de un puntaje de 200 o menos, el grado de consistencia es alto para el *Factor B*. Si es mayor a 200, el grado de consistencia es bajo para el *Factor B*.

3.3 SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS

Las muestras se basan en un diseño completamente al azar (DCA) para comparar dos o más tratamientos considerando dos fuentes de variabilidad que son: los *tratamientos* y el *error aleatorio* [37]. De manera que al realizar N pruebas al azar, los posibles efectos ambientales y temporales se vayan repartiendo equitativamente entre los tratamientos. Con base a las recomendaciones de la bibliografía en donde se deben considerar entre 5 y 30 mediciones para cada tratamiento, se define para este experimento la cantidad de 10 mediciones para cada uno, haciendo un total de 40, vigilando que la dispersión sea tolerable. Para tal efecto, las primeras mediciones son con base a proyectos realizados y plantas de proceso existentes, y los complementos son simulados por el método MonteCarlo con el software Crystal Ball.

3.4 POBLACIÓN ESTUDIADA

La población estudiada está conformada por proyectos de ingeniería y de sistemas de administración de plantas, ejecutados por SIICOM, a los cuales se les aplica un cuestionario para cada proyecto, que sirve como instrumento de medición para obtener puntajes para la *variable de Factor A* y la *Variable de Factor B*.

3.5 SELECCIÓN, ELABORACIÓN Y DESARROLLO DE INSTRUMENTOS

Para el experimento es necesario un instrumento de captación, para el registro de los datos de acuerdo al marco teórico [38], el más adecuado es del tipo checklist construido de acuerdo a los requerimientos del PDRI-IR-113 "Industrial Projects" el cual ya cuenta con un formato de este tipo conformado por 70 elementos tasados (ver Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4), mismo que compone el *Factor A*, en donde un puntaje menor o igual a 200 puntos, se considera un *alto* grado de definición y un puntaje mayor a 200 puntos, se considera un

bajo grado de definición. Para el Factor B, se establecen las relaciones de los documentos, de acuerdo a la Figura 18.

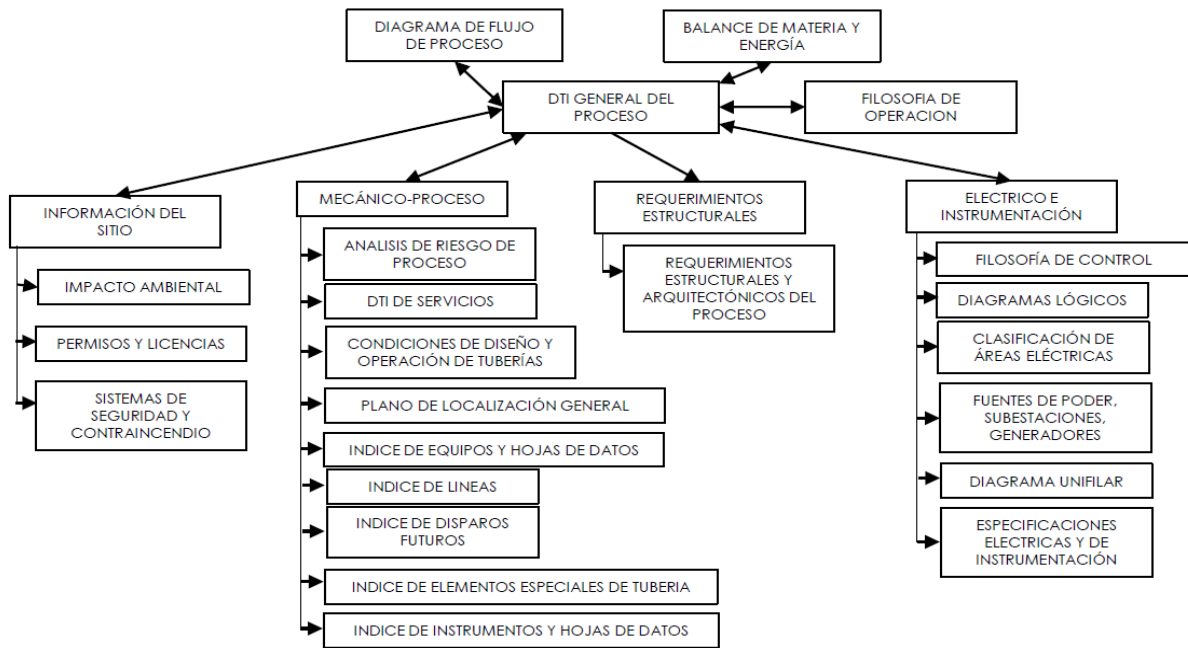


Figura 18.- Relaciones entre elementos del PDRI influenciados por un DTI

3.6 DESARROLLO

El efecto de un factor "es el cambio observado en la variable de respuesta debido a un cambio de nivel de tal factor" [37]. Expresado en términos matemáticos, en un factor con dos niveles, es la diferencia entre la respuesta media observada cuando el factor tuvo su nivel alto y la respuesta media observada cuando el factor estuvo en su nivel bajo.

Entonces los efectos A y B están dadas por las ecuaciones:

$$\text{Efecto A} = \frac{[a+ab]}{2n} - \frac{[b+(1)]}{2n}$$

$$\text{Efecto B} = \frac{[b+ab]}{2n} - \frac{[a+(1)]}{2n}$$

Tabla 2.- Check List PDRI Sección I

SECTION I - BASIS OF PROJECT DECISION								
CATEGORY		Definition Level						Score
Element		0	1	2	3	4	5	
A. MANUFACTURING OBJECTIVES CRITERIA (Maximun Score = 45)								
	A1. Reliability Philosophy	0	1	5	9	14	20	
	A2. Maintenance Philosophy	0	1	3	5	7	9	
	A3. Operating Philosophy	0	1	4	7	12	16	
CATEGORY "A" TOTAL								
B. BUSINESS OBJECTIVES (Maximun Score = 213)								
	B1. Projects	0	1	11	22	33	56	
	B2. Market Strategy	0	2	5	10	16	26	
	B3. Project Strategy	0	1	5	9	14	23	
	B4. Affordability / Feasibility	0	1	3	6	9	16	
	B5. Capacities	0	2	11	21	33	55	
	B6. Future Expansion Considerations	0	2	3	6	10	17	
	B7. Expected Project Life Cycle	0	1	2	3	5	8	
	B8. Social Issues	0	1	2	5	7	12	
CATEGORY "B" TOTAL								
C. BASIC DATA RESEARCH & DEVELOPMENT (Maximun Score = 94)								
	C1. Technology	0	2	10	21	39	54	
	C2. Processes	0	2	8	17	28	40	
CATEGORY "C" TOTAL								
D. PROJECT SCOPE (Maximun Score = 120)								
	D1. Project Objectives Statement	0	2	8	14	19	25	
	D2. Project Design Criteria	0	3	6	11	16	22	
	D3. Site Characteristics Available vs. Required	0	2	9	16	22	29	
	D4. Dismantling and Demolition Requirements	0	2	5	8	12	15	
	D5. Lead / Discipline Scope of Work	0	1	4	7	10	13	
	D6. Project Schedule	0	2	6	9	13	16	
CATEGORY "D" TOTAL								
E. VALUE ENGINEERING (Maximun Score = 27)								
	E1. Process Simplification	0	0	2	4	6	8	
	E2. Design & Material Alts. Considered/Rejected	0	0	2	4	5	7	
	E3. Design for Constructability Analysis	0	0	3	5	8	12	
CATEGORY "E" TOTAL								
Section I Maximun Score = 499		SECTION I TOTAL						

Fuente: PDRI-IR-113 "Industrial Projects"

Tabla 3.- Check List PDRI Sección II

SECTION II - BASIS OF DESIGN							
CATEGORY		Definition Level					Score
Element	0	1	2	3	4	5	
F. SITE INFORMATION (Maximun Score=104)							
F1. Site Location	0	2	10	18	26	32	
F2. Surveys & Soil Tests	0	1	4	7	10	13	
F3. Environmental Assesment	0	2	5	10	15	21	
F4. Permit Requirements	0	1	3	5	9	12	
F5. Utility Sources with Supply Conditions	0	1	4	8	12	18	
F6. Fire Protection & Safety Considerations	0	1	2	4	5	8	
CATEGORY "F" TOTAL							
G. PROCESS / MECHANICAL (Maximun Score = 196)							
G1. Process Flow Sheets	0	2	8	17	26	36	
G2. Heat & Material Balances	0	1	5	10	17	23	
G3. Piping & Instrumentation Diagrams (P&IDs)	0	2	8	15	23	31	
G4. Process Safety Management (PSM)	0	1	2	4	6	8	
G5. Utility Flow Diagrams	0	1	3	6	9	12	
G6. Specifications	0	1	4	8	12	17	
G7. Piping System Requirements	0	1	2	4	6	8	
G8. Plot Plan	0	1	4	8	13	17	
G9. Mechanical Equipment List	0	1	4	9	13	18	
G10. Line List	0	1	2	4	6	8	
G11. Tie-in List	0	1	2	3	4	6	
G12. Piping Specialty Items List	0	1	1	2	3	4	
G13. Instrument Index	0	1	2	4	5	8	
CATEGORY "G" TOTAL							
H. EQUIPMENT SCOPE (Maximun Score = 33)							
H1. Equipment Status	0	1	4	8	12	16	
H2. Equipment Location Drawings	0	1	2	5	7	10	
H3. Equipment Utility Requirements	0	1	2	3	5	7	
CATEGORY "H" TOTAL							
I. CIVIL, STRUCTURAL & ARCHITECTURAL (Maximun Score = 19)							
I1. Civil/Structural Requirements	0	1	3	6	9	12	
I2. Architectural Requirements	0	1	2	4	5	7	
CATEGORY "I" TOTAL							
J. INFRASTRUCTURE (Maximun Score = 25)							
J1. Water Treatment Requirements	0	1	3	5	7	10	
J2. Loading/Unloading/Storage Facilities Req'mts	0	1	3	5	7	10	
J3. Transportation Requirements	0	1	2	4	4	5	
CATEGORY "J" TOTAL							

K. INSTRUMENT & ELECTRICAL (Maximun Score = 46)								
	K1. Control Philosophy	0	1	3	5	7	10	
	K2. Logic Diagrams	0	1	2	3	3	4	
	K3. Electrical Area Classifications	0	0	2	4	7	9	
	K4. Substation Req'mts Power Osurces Ident.	0	1	3	5	7	9	
	K5. Electric Single Line Diagrams	0	1	2	4	6	8	
	K6. Instrument & Electrical Specifications	0	1	2	3	5	6	
CATEGORY "K" TOTAL								
Section II Maximun Score = 423								SECTION II TOTAL

Fuente: PDRI-IR-113 "Industrial Projects"

Tabla 4.- Check List PDRI Sección III

SECTION III - EXECUTION APPROACH									
CATEGORY		Definitions Level						Score	
Element		0	1	2	3	4	5		
L. PROCUREMENT STRATEGY (Maximun Score = 16)									
	L1. Identify Long Lead/Critical Equip. & Materials	0	1	2	4	6	8		
	L2. Procurement Procedures and Plans	0	0	1	2	4	5		
	L3. Procurement Responsibility Matrix	0	0	1	2	2	3		
CATEGORY "L" TOTAL									
M. DELIVERABLES (Maximun Score = 9)									
	M1. CADD/Model Requirements	0	0	1	1	2	4		
	M2. Deliverables Defined	0	0	1	2	3	4		
	M3. Distribution Matrix	0	0	0	1	1	1		
CATEGORY "M" TOTAL									
N. PROJECT CONTROL (Maximun Score = 17)									
	N1. Project Control Requirements	0	0	2	4	6	8		
	N2. Project Accounting Requirements	0	0	1	2	2	4		
	N3. Risk Analysis	0	1	2	3	4	5		
CATEGORY "N" TOTAL									
P. PROJECT EXECUTING PLAN (Maximun Score = 36)									
	P1. Owner Approval Requirements	0	0	2	3	5	6		
	P2. Engineering/Construction Plan & Approach	0	1	3	5	8	11		
	P3. Shut Down/Turn-Around Requirements	0	1	3	4	6	7		
	P4. Pre-Commissioning Turnover Sequence Req'mts	0	1	1	2	4	5		
	P5. Startup Requirements	0	0	1	2	3	4		
	P6. Training Requirements	0	0	1	1	2	3		
CATEGORY "P" TOTAL									
Section III Maximun Score = 78								SECTION III TOTAL	

Fuente: PDRI-IR-113 "Industrial Projects"

El resultado mayor entre el Efecto A y el Efecto B, será el efecto principal. Por otro lado, también se verificará si existe un efecto de interacción sobre la variable de respuesta mediante el efecto global de los factores denotado por AB, el cual, en términos matemáticos, se calcula la diferencia entre la respuesta media cuando ambos factores se encuentran en el mismo nivel (-1, -1); (1,1), y la respuesta media cuando se encuentran en niveles opuestos (-1, 1); (1,-1), de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Efecto AB} = \frac{[ab-b]}{2n} - \frac{[a-(1)]}{2n}$$

La representación de los efectos principales y su interacción está dada por los criterios en donde, al graficar las líneas obtenidas, y estas tienen una pendiente muy diferente, quiere decir que tienen interacción, como se muestra en la Figura 19.

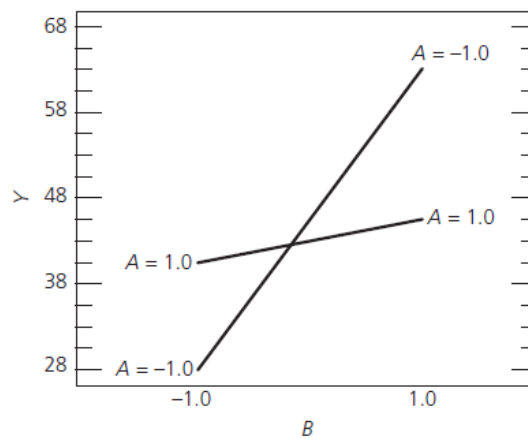


Figura 19.- Interacción de dos efectos [37]

En caso de no haber interacción, se observan las líneas con pendientes similares y aproximadamente paralelas como se muestra en la Figura 20. La

principal utilidad de las gráficas de interacción es que ayuda a seleccionar las condiciones ideales para mejorar el desempeño de un proceso.

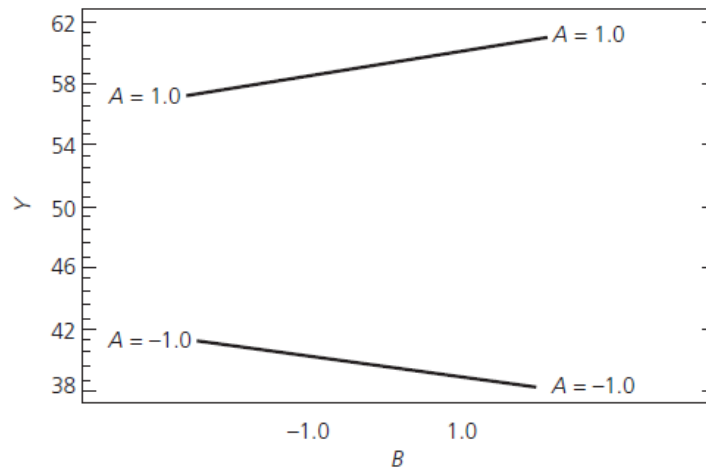


Figura 20.- No interacción de dos efectos [37]

Se construye la tabla 5 con la primera muestra de una instalación de proceso.

Tabla 5.- Diseño experimental para una muestra

	A	B	Notación de Yates
Tratamiento 1	-	-	(1)
Tratamiento 2	+	-	a
Tratamiento 3	-	+	b
Tratamiento 4	+	+	ab

$$(1) = \text{Factor A bajo (950)} + \text{Factor B bajo (900)} = 1850$$

$$a = \text{Factor A alto (150)} + \text{Factor B bajo (900)} = 1050$$

$$b = \text{Factor A bajo (900)} + \text{Factor B alto (200)} = 1100$$

$$ab = \text{Factor A alto (200)} + \text{Factor B alto (195)} = 395$$

Con los datos obtenidos de los tratamientos, se aplican las fórmulas y se calculan el Efecto A:

$$\text{Efecto A} = \frac{[a+ab]}{2n} - \frac{[b+(1)]}{2n}$$

$$\text{Efecto A} = \frac{[1050+395]}{2(1)} - \frac{[1100+(1850)]}{2(1)} = -752.5$$

Con los datos obtenidos de los tratamientos, se aplican las fórmulas y se calculan el Efecto B:

$$\text{Efecto B} = \frac{[b+ab]}{2n} - \frac{[a+(1)]}{2n}$$

$$\text{Efecto B} = \frac{[1100+395]}{2(1)} - \frac{[1050+(1850)]}{2(1)} = -702.5$$

Con los datos obtenidos de los tratamientos, se aplican las fórmulas y se calculan el Efecto AB:

$$\text{Efecto AB} = \frac{[ab-b]}{2n} - \frac{[a-(1)]}{2n}$$

$$\text{Efecto AB} = \frac{[395-1100]}{2(1)} - \frac{[1050-(1850)]}{2(1)} = 47.5$$

4. RESULTADOS

Se obtuvieron los valores para el Efecto A= -752.5, para el Efecto B= -702.5 y para el Efecto AB= 47.5, lo cual indica que el Efecto A, es de mayor influencia que el Efecto B; Estos datos son coherentes de acuerdo a lo indicado por la Teoría y experiencias de la práctica. También se observa que el valor del Efecto AB, que, por ser un valor significativo, indica que existe correlación entre los Efectos.

CONCLUSIONES

En este trabajo se demuestra que existe correlación entre los efectos mismos que pueden ampliarse con muestras similares para la obtención de datos. Posteriormente se puede escalar a la construcción de un indicador del grado de confiabilidad en la integridad y consistencia de la información, en cualquier momento del ciclo de vida de la planta en donde el valor ideal esperado es del 95% o más, que es el porcentaje de confiabilidad de la información de la planta, un porcentaje menor al 95% incrementa gradualmente la incertidumbre en la integridad y consistencia de la información.

APORTACIÓN DE LA TESIS

El aporte consiste en la integración del estado del arte referido a una mejor administración de una ingeniería para el acercamiento progresivo en la construcción de una planta de proceso, además de que esta información puede ir evolucionando en el ciclo de vida de operación de la planta. Mediante la caracterización de las etapas del ciclo de vida de una planta de procesos industriales, se sientan las bases para la construcción un sistema formal de gestión eficiente de la información. Este trabajo es concluyente con relación al uso de los modelos 2D y 3D inteligentes para obtener mejores resultados en la práctica de la ingeniería concurrente los flujos de trabajo de los grupos multidisciplinarios así como de los interesados del proyecto, mismos que son soportados mediante la normativa internacional ISO en sus numerales 15926 y 10303 (conocido como STEP), este último con sus respectivos protocolos de aplicación, y combinados con la metodología PDRI, nos brindan la confianza de contar con información suficiente, actualizada y oportuna durante todo el ciclo de vida de la planta, desde su concepción hasta su desmantelamiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda continuar estos trabajos para establecer una Variable de Salida "Grado de confiabilidad" que se define como un valor obtenido en términos porcentuales, que indique el grado de confiabilidad en la integridad y consistencia de la información esencial, en cualquier momento del ciclo de vida de la planta. El valor ideal esperado es del 95% o más, que es el porcentaje de confiabilidad de la información de la planta, un porcentaje menor al 95% degradaría gradualmente la definición y consistencia de la información. Por lo que los valores absolutos que se obtengan de los Efectos A y B así como del efecto de interacción, son una medida de interés por su efecto sobre la variable de respuesta. Posteriormente, se recomienda un análisis de varianza ANOVA para saber si los efectos son significativos en términos estadísticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **Yang, Robert.** *Process plant lifecycle information management*. Indiana, EUA : iUniverse, 2009. ISBN: 978-1-4401-4758-6.
2. **Calvet-Puig, M. Dolors y Roca-Ramón, Javier.** "Complejos Industriales". Cataluña, España : Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, 2001. ISBN: 84-8301-541-2.
3. **ISO.** ISO 9001:2015. *Sistema de Gestión de Calidad - Definiciones y Términos*. Suiza : International Organization for Standardization, 2015.
4. **ISO.** ISO 15288:2001. *Systems Engineering - System lifecycle processes*. Suiza : International Organization for Standardization, 2001.
5. **ISO.** ISO 15926-1:2004. *Industrial automation systems and integration . Integrations of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities- Overview and fundamental principles*. Suiza : International Organization for Standardization, 2004.
6. **Romero, Fernando.** www.deloitte.com.mx. *Workshop: Estrategia y Gestión de contratos en proyectos*. [En línea] [Citado el: 04 de Junio de 2018.] <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cl/Documents/process-and-operations/cl-gcp-workshop-estrategia-gestion-contratos-proyectos.pdf>.
7. **CCME.** CCME-TSX/WM-TRE013E. *National guidelines for decommissioning industrial sites*. Canadá : Canadian Council of Ministers of the Environment, 1991.
8. **Rouse, Margaret.** www.techtarget.com. *Document Lifecycle*. [En línea] Techtarget, 2014. [Citado el: 30 de Julio de 2018.] <https://whatis.techtarget.com/definition/document-lifecycle>.
9. **PEMEX.** Sistema Pemex-SSPA: Seguridad, Salud y Protección Ambiental. www.pemex.com. [En línea] Petróleos Mexicanos. [Citado el: 01 de Agosto de 2018.] http://www.pemex.com/informes/responsabilidad_social/operaciones/seguridad.html.
10. **PEMEX.** 800/16000/DCO/GT/005/10. *Guía técnica de tecnología del proceso*. México : Petróleos Mexicanos, 2010.
11. **PEMEX.** 800/16000/DCO/GT/005/10. *Guía técnica para la administración cambios a la tecnología*. México : Petróleos Mexicanos, 2010.
12. **CII.** PDRI Implementation Resource 113-2 Versión 3.2. *Project Definition Rating Index*. E.U.A. : Construction Industry Institute, 2009.
13. **Valency Group.** www.valencyinc.com. *What is PDRI?* [En línea] Valency Group. [Citado el: 01 de Agosto de 2018.] <http://valencyinc.com/resources-2/about-pdri/>.
14. **Pratt, Michael.** *Introduction to ISO 10303- the STEP Standard for product data exchange*. Gaithersburg, EUA : s.n., 2001.

15. **ISO.** ISO 10303-242:2014. *Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange*. Suiza : International Organization for Standardization, 2014.
16. **PMI.** ¿Qué es PMI? [En línea] Project Management Institute. [Citado el: 05 de Agosto de 2018.] <https://americalatina.pmi.org/latam/aboutus/whatispmi.aspx>.
17. **PMI.** Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos. Georgia, EUA : Project Management Institute, 2017. 6th Edition. ISBN: 978-1-62825-194-4.
18. **Baca-Urbina, Gabriel, Cruz, Margarita.** *Introducción a la Ingeniería Industrial*. México : Patria, 2014. ISBN: 978-607-438-919-7.
19. **CAI.** Universidad Nacional de Tucumán. [En línea] [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <https://www.facet.unt.edu.ar/facetinforma/wp-content/uploads/sites/9/2016/09/SC01-01-0-Alcances-de-Ingeniería.pdf>.
20. **Curiel-Yong, Ricardo, Franco-Nava, José M. y Albarrán-Nuñez, Francisco.** Boletín IIE. *Gerencia de proyectos de ingeniería*. [En línea] [Citado el: 22 de Octubre de 2018.] <https://www.ineel.mx/boletin012014/breve01.pdf>.
21. **Stjepandic, Josip, Wognum, Nel y Verhagen, Wim.** *Concurrent engineering in the 21st century*. Wageningen, Países Bajos : Springer International Publishing, 2015. ISBN 978-3-319-13776-6.
22. *Ingeniería concurrente y tecnologías de información*. **García-Flores, Rodolfo.** 22, Nuevo León, México : Ingenierías, 2004, Vol. VII. p 39-44.
23. *Workflow enabled data processing in a concurrent engineering environment*. **George, Sam y David, K.** 24, Tamil Nadu, India : Elsevier, 2016. p 1643-1650.
24. **Hepp, Martin, y otros.** *Ontology Management: Semantic Web, SEmantic Web Services, and Business*. Nueva York, EUA : Springer Science+Business Media, LLC, 2008. ISBN 978-0-387-69900-4.
25. **Gallaher, Michael, y otros.** *Cost analysis of inadequate interoperability in the U.S. capital facilities industry*. Maryland, EUA : National Institute of Standards and Technology, Department of Commerce, 2004. NIST GCR 04-867.
26. *Ontology for systems engineering*. **Paredis, C., Bishop, C. y Bodner, D.** 16, Georgia, EUA : Procedia Computer Science, 2013. p 383-392.
27. *How to reduce the negative impacts of knowledge heterogeneity in engineering design team: Exploring the role of knowledge reuse*. **Zhang, Lianying y Li, Xiaonan.** 34, Tianjin, China : International journal of project management, 2016. p 1138-1149.
28. **AVEVA.** www.aveva.com. *Product portfolio overview*. [En línea] [Citado el: 10 de Agosto de 2018.] https://www.aveva.com/-/media/Aveva/English/Resources/Brochures-business/AVEVA_Plant.pdf.
29. **Dassault Systèmes.** www.intrinsys.com. *CATIA v5*. [En línea] Dassault Systèmes. [Citado el: 11 de Agosto de 2018.] <https://www.intrinsys.com/software/catia/V5-6R2013-portfolio/equipment-systems-engineering/catia-piping-instrumentation-diagrams>.

30. **Plant 4D.** www.3dcadportal.com. *Plant 4D*. [En línea] CEA Asset Flow Solutions. [Citado el: 11 de Agosto de 2018.] <http://www.3dcadportal.com/plant-4d.html>.
31. **Intergraph.** www.intergraph.com. *Product Sheet. A better way to design a plant*. [En línea] [Citado el: 14 de Agosto de 2018.] http://www.intergraph.com/assets/pdf/SmartPlant_3D.pdf.
32. **Bentley.** www.businesswire.com. *Bentley's industry- Proven AutoPLANT design software now available for 64-bit platforms*. [En línea] Bentley Systems. [Citado el: 13 de Septiembre de 2018.] <https://www.businesswire.com/news/home/20110419006429/en/Bentley's-Industry-Proven-AutoPLANT-Design-Software-64-Bit-Platforms>.
33. **Autodesk Inc.** www.in-the-pipes.typepad.com. *AutoCAD Plant 3D 2018 - Simplified design, modeling and collaboration*. [En línea] [Citado el: 10 de Octubre de 2018.] http://in-the-pipes.typepad.com/in_the_pipes/2017/04/autocad-plant-3d-2018-simplified-design-modeling-and-collaboration.html.
34. *Teoría general de sistemas, un enfoque práctico.* **Domínguez-Ríos, Victor y López-Santillán, Miguel Ángel.** 3, Chihuahua, México : Tecnociencia Chihuahua, 2016, Vol. X. p 125-132.
35. **Mihai, Aurelian, y otros.** *Complex systems concurrent engineering*. London, England : Springer, 2007. ISBN 978-1-84628-976-7.
36. **Hernández-Sampieri, Roberto, Fernández-Collado, Carlos y Baptista-Lucio, María.** *Metodología de la investigación*. México : McGrawHill/Interamericana Editores, SA de C.V., 2014. ISBN: 978-1-4562-2396-0.
37. **Gutiérrez-Pulido, Humberto y de la Vara-Salazar, Román.** *Análisis y diseño de experimentos*. México : McGrawHil, 2012. ISBN: 978-607-15-0725-9.
38. **INEGI.** *Diseño de cuestionarios*. México : Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2013. ISBN. 978-607-494-488-4.