



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

ESTRATEGIA PARA DESARROLLAR LA INGENIERÍA DE UN
PROYECTO EMPLEANDO MODELOS TRIDIMENSIONALES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A :

KARINA MEDINA SÁNCHEZ



Director de Tesis:

M. EN I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

México., D.F. 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado asignado:

Presidente: M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda
Vocal: M. en I. José Antonio Ortiz Ramírez
Secretario: M. en I. Cresenciano Echavarrieta Albiter
1er. Suplente: IQ. René de la Mora Medina
2º. Suplente: IQ Juan Ángel Lugo Maldonado

Sitio en donde se desarrolló el tema: Torre de Ingeniería, Ciudad Universitaria, UNAM.



Nombre completo del asesor del tema

M. en I. José Antonio Ortiz Ramírez



Nombre del sustentante

Karina Medina Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi desarrollo personal y profesional.

“Pues el Señor es quien da la sabiduría; la ciencia y el conocimiento brotan de sus labios”. Proverbios 2:6.

Gracias a mi familia, mis padres Agustín Medina y Nicolasa Sánchez así como a mis hermanas Fabiola y Miriam que siempre me ha brindado su apoyo en todo momento, su ánimo y alegría para no desistir en cada meta propuesta.

Gracias personalmente al Ing. Antonio Ortiz por la oportunidad de trabajar en los proyectos que desarrolla su equipo de trabajo y apoyo para desarrollar este trabajo.

Gracias a los compañeros de la Torre de Ingeniería, Luis Bañuelos, Braulio Mendoza, Daniel Monterola, Angeles Templos, Carlos Rodríguez, Carlos Díaz y especialmente a Rubén Martínez por su apoyo en la revisión de este trabajo.

Gracias a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM.

Gracias al jurado por su tiempo y apoyo para revisar este trabajo.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1	ANTECEDENTES.....	1
1.1	Inicios de los modelos en 3D.....	1
1.2	Introducción a los Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes	2
1.3	El impacto de los Modelos Tridimensionales en la gestión de proyectos	3
CAPÍTULO 2	PANORAMA ACTUAL DE LOS MODELOS ELECTRÓNICOS INTELIGENTES (METI's).....	5
2.1	Panorama actual de los METI'S.....	5
2.2	Modelos Bidimensionales y Tridimensionales actuales	7
2.2.1	Sistemas que parten de gráficos con apuntadores a una base de datos.....	7
2.2.2	Sistemas que parten de una base de datos	7
2.2.3	Sistemas que parten de gráficas que no usan bases de datos (stand-alone).....	7
2.3	Aplicación de los Modelos Bidimensionales y Tridimensionales	8
2.3.1	Simuladores de procesos, estáticos y dinámicos	8
2.3.2	Diagramas de tubería e instrumentación inteligentes (DTI's).....	10
2.3.3	Diseño integrado de instrumentos	10
2.3.4	Cálculo de equipos	10
2.3.5	CAD 3D para diseño de plantas	11
2.3.6	Análisis de esfuerzos en tuberías.....	13
2.3.7	Análisis de estructuras.....	13
2.3.8	Seccionamiento de estructuras.....	14
2.3.9	Programación y control de costos.....	14
2.3.10	Gestión documental.....	15
2.3.11	Gestión de compras y subcontratos	15
2.3.12	Gestión del almacén y control de obra	15
CAPÍTULO 3	DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE PROYECTOS DE UNA PLANTA QUÍMICA.....	16
3.1	Ingeniería de Proyectos	16
3.1.1	Definición de proyecto	16
3.1.2	Características principales de un proyecto	16
3.1.3	Diferencia entre Proyectos y Operaciones.....	18
3.1.4	Clasificación de Proyectos	18
3.2	Ciclo de Vida del Proyecto.....	18
3.2.1	Características del ciclo de vida del proyecto.....	20
3.2.2	Etapa de Planificación.....	21

3.2.3	Características de las fases de planeación	22
3.2.4	Planificación de la ingeniería para una instalación industrial.....	23
CAPÍTULO 4	ESTRATEGIAS PARA LA EJECUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROYECTOS ..	34
4.1	¿Qué es la Work Breakdown Structure (WBS)?	34
4.1.1	Uso e importancia de la WBS.....	35
4.1.2	Desarrollo de la WBS	36
4.2	Planeación tradicional	37
4.2.1	Importancia de la programación.....	37
4.2.2	Componentes del programa	37
4.2.3	Programación Visual	37
4.2.4	Ruta Crítica.....	41
4.3	Planeación concurrente.....	41
4.3.1	Entendiendo a la ingeniería concurrente	41
4.3.2	Planeación concurrente empleando modelos tridimensionales	43
4.4	Normatividad.....	45
4.4.1	Antecedentes.....	45
4.4.2	Primeras normas de intercambio de datos para los procesos industriales	45
4.4.3	ISO 15926.....	46
CAPÍTULO 5	CASO DE ESTUDIO	47
5.1	Introducción.....	47
5.1.1	Carta de aceptación de proyecto	49
5.1.2	Alcances del proyecto.....	49
5.2	Desarrollo del caso de estudio	53
5.2.1	Planeación convencional aplicada al caso de estudio	53
5.2.2	Planeación concurrente aplicada al caso de estudio	53
5.2.3	Planeación considerando el empleo de modelos tridimensionales	54
5.2.4	Análisis de costos general	54
5.2.5	Discusión de resultados	55
CAPÍTULO 6	CONCLUSIONES.....	58
CAPÍTULO 7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXO 1	NORMATIVIDAD APLICABLE.....	62
ANEXO 2	SECCION B	64
ANEXO 3.	PROGRAMAS DE EJECUCIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Los proyectos de la industria química son multidisciplinarios.....	31
Tabla 4.1 Criterio y descripción de las tareas en la WBS.	35
Tabla 4.2 Resumen comparativo de las representaciones gráficas.....	40
Tabla 4.3 Esquema convencional y esquema con modelado 3D.....	44
Tabla 5.1 Resultados del análisis de costos.....	55
Tabla 5.2 Ventajas y Desventajas de los programas de ejecución	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de simulación del programa Aspen Plus.	9
Figura 2.2 Ejemplo de simulación del programa Chemcad 5.3.4.	9
Figura 2.3 Ejemplo de programa Autocad 3D	11
Figura 2.4 Ejemplo de maqueta en Autocad 3D	12
Figura 2.5 Ejemplo de programa SAP2000.....	13
Figura 2.6 Ejemplo del programa Microsoft Project.....	14
Figura 3.1 Ciclo de vida estándar de un proyecto según Verzuh (2005)	19
Figura 3.2 Ciclo de vida estándar de un proyecto según Kerzner (2001)	19
Figura 3.3 Costo típico de un proyecto y personal a través del proyecto.....	20
Figura 3.4 Influencia de los participantes en el proyecto.....	21
Figura 3.5 Diagrama de Planificación: Fases en el desarrollo de la ingeniería en un proyecto.	24
Figura 3.6 Panorama general de gestión de proyectos. Triángulo del Proyecto	26
Figura 4.1 Work Breakdown Structure	34
Figura 4.2 Desglose parcial del objetivo, las funciones, los sistemas y las etapas	36
Figura 4.3 Calendario de actividades.	38
Figura 4.4 Diagrama de Gantt.....	39
Figura 4.5 Diagrama de flechas.....	40
Figura 4.6 Gestión de proyectos convencional.	42
Figura 4.7 La ingeniería concurrente.	42
Figura 5.1 Diagrama de flujo	47
Figura 5.2 Nueva localización del reactor.....	48

INTRODUCCIÓN

La planeación y ejecución de proyectos requiere de una apropiada planificación de recursos y estrategias a seguir para cumplir con los alcances del proyecto, anticipando factores externos que puedan entorpecer el desarrollo del mismo.

La planificación y el apropiado control de la ejecución de un proyecto, tanto en aspectos financieros como de programación refleja la eficiencia en los procesos de requisiciones, cotizaciones, compras, pagos, control de llegadas y salidas de equipo o materiales , y demás procedimientos implicados en un continuo y organizado proceso de ejecución de proyectos.

Para la ejecución de un proyecto se han manejado estrategias que permiten organizar el trabajo, involucrando aspectos como recursos humanos y materiales; sin embargo el desarrollo de nuevas herramientas tecnológicas de análisis y diseño han permitido modificar la planeación y ejecución del trabajo.

En el presente trabajo no se pretende el desarrollo de la ingeniería de un proyecto, sino el estudio de la estrategia tradicional y el empleo de nuevas herramientas tecnológicas que nos dan como resultado un nuevo plan de acción. Todo esto aplicado en un caso de estudio que permita observar las ventajas que se obtienen al emplear los Modelos tridimensionales o modelos 3D conocidos como Modelos Electrónicos Tridimensionales inteligentes (METIS).

Los modelos tridimensionales emplean de una manera eficiente, clara y sencilla la información.

La representación tridimensional da un mejor entendimiento y visualización de cualquier propuesta de mejora, que garantiza la calidad de los trabajos que se desarrollen, satisfaciendo los requerimientos actuales, unificando criterios y aprovechando la experiencia de las diversas áreas de esta manera se pueden sustentar mejor las propuestas de renovación o nuevos desarrollos tecnológicos.

Así, en el capítulo I se presentan los antecedentes históricos del manejo y desarrollo de proyectos lo que permite tener un punto de referencia que ayude a resaltar las bondades de los Modelos tridimensionales.

En el Capítulo II se da una introducción a los diferentes usos y aplicaciones de los distintos programas en 3D, mostrando un abanico de opciones posibles para cada necesidad en el desarrollo de proyectos de ingeniería.

En el Capítulo III se presenta la descripción y características de un proyecto, las disciplinas o especialidades así como las fases normalmente involucradas en la planificación de la ingeniería en una planta química.

En el Capítulo IV se habla del desarrollo de la planificación convencional, concurrente y la planificación con la aplicación de modelos tridimensionales así como la normatividad.

En el Capítulo V se presenta el desarrollo de la planeación aplicado a un caso de estudio con lo planteado en el capítulo IV.

Finalmente en el Capítulo VI se presentan las conclusiones del caso de estudio.

JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de herramientas para la ejecución de la ingeniería de un proyecto en los últimos años ha sido exorbitante, facilitando la elaboración de los diferentes documentos que lo integran. Uno de estos desarrollos lo constituyen los Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes (METIS), los cuales permiten la elaboración de un modelo a escala en tres dimensiones de la planta química. El desarrollo de estos modelos, permite la integración de todos los documentos de ingeniería, generando nuevas posibilidades en el manejo de información en tiempo y recursos necesarios. Sin embargo aún existen muchos grupos de ingeniería que no han logrado convencerse de las bondades de los Modelos Electrónicos.

Los modelos electrónicos permiten trabajar asociando todos los documentos de ingeniería, lo que hace necesario modificar la estrategia para el desarrollo del proyecto.

OBJETIVO

Evaluar en forma general la(s) posibles estrategias que deben ser consideradas durante la ejecución de la ingeniería de un proyecto empleando las nuevas herramientas disponibles.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Evaluar los beneficios de los Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes
2. Comparar el desarrollo de un proyecto por métodos tradicionales y mediante el empleo de Modelos tridimensionales
3. Aplicar la mejor estrategia para realizar un proyecto que contempla la instalación de un reactor en una planta química existente

HIPÓTESIS

El uso de los Modelos tridimensionales propicia la modificación en la forma o secuencia del desarrollo de un proyecto, llevando a plantear de una manera diferente la ejecución del proyecto, y a la vez conduce hacia el logro de una mejor eficiencia y calidad de los documentos a entregar.

CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES

En este capítulo se presenta una breve reseña del surgimiento de los Modelos tridimensionales.

Desde sus inicios en la década de los 50. La necesidad de tener en una base de datos toda la información técnica, geométrica y de posición de todos los componentes existentes en una planta ha permitido que los modelos tridimensionales sean una de las herramientas comúnmente usadas en la planeación y/o ejecución de proyectos.

1.1 Inicios de los modelos en 3D

A principios de la década 1950 aparece la primera pantalla grafica en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) capaz de representar dibujos simples de forma no interactiva. Desarrollando también el concepto de programación de control numérico.

El término Diseño Asistido por computadora fue acuñado por Douglas Ross y Dwight Baumann en 1959, y aparece por primera vez en 1960, en un anteproyecto del Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), titulado “Computer-Aided Design Project”. En aquella época ya se había comenzado a trabajar en la utilización de sistemas informáticos en el diseño, fundamentalmente de curvas y superficies.

El primer trabajo publicado relacionado con la utilización de representaciones paramétricas para curvas y superficies fue escrito por J. Fergusson en 1964, quien exponía la utilización de curvas cúbicas y trozos bi cúbicos. Su método se utilizó en el diseño de alas y fuselajes en Boeing empresa aeronáutica y el mayor fabricante de aviones comerciales.

Previamente en 1958, Paul de Castelju desarrollo un método recursivo para el diseño de curvas y superficies basado en los polinomios de Bernstein, en Citroën marca francesa constructora de automóviles, sin embargo sus trabajos no fueron publicados hasta 1974. Paralelamente, y de forma independiente Pierre Bézier, trabajando para Renault empresa francesa de automóviles comerciales y de carreras, desarrollo la forma explícita del mismo método de diseño, que hoy se conoce como método de Bézier. Sin embargo un verdadero avance en gráficos por computadora vino con el “Sketchpad”, diseñado por Ivan Sutherland en 1963 como parte de su tesis doctoral en el MIT. El Sketchpad era un programa que permitía la definición, el dibujo y edición interactiva de todo tipo de figuras geométricas mediante un lápiz óptico apuntando a una pantalla de rayos catódicos, que podían ser almacenados de forma concisa.

El Sketchpad fue el primer programa orientado al dibujo CAD (Computer Assisted Design) y supuso un punto de referencia en muchos de los aspectos de la informática como la conocemos hasta el día de hoy. Principalmente en lo referente a los estándares de interfases gráficos de computadora que se iniciaron con este primer programa.

Las características que presentaba el Sketchpad son las bases que asentaron los programas CAD que hoy utilizan miles de empresas en cualquier parte del mundo para poder diseñar sus productos de una forma más simple y segura posible. [Martínez, 2008]

Por la misma fecha, y también en el MIT, Steve Coons comenzó a desarrollar técnicas de diseño de superficies basadas en la descomposición en trozos, que fueron aplicados al diseño de cascos de buques en 1964.

El modelado de sólidos tuvo un desarrollo más tardío. Tal vez, los primeros antecedentes sean los trabajos desarrollados por Coons en el MIT entre 1960 y 1965, que se centraron en la aplicación de métodos numéricos a sólidos creados por barrido.

A finales de la década de los sesenta y principios de los setenta, se comenzaron a desarrollar modeladores de sólidos. Entre ellos cabe destacar EUCLID, desarrollado por J.M. Brun en Francia, PADL-1 de la Universidad de Rochester, Shapes del MIT, TIPS-1 desarrollado por Okino además aparecen los primeros sistemas 3D (prototipos), sistemas de modelado de elementos finitos, control numérico, etc.

En la década de los 70 se consolidaron varias de las investigaciones anteriores y la industria se percata del potencial del uso de estas técnicas lo que lanza definitivamente la implementación y uso de estos sistemas, tan solo limitados por la capacidad de los ordenadores de esa época.

En los 80 se generalizó el uso de las técnicas de Diseño Asistido por Computadora y Fabricación Asistida por Computadora (CAD/CAM, por sus siglas en inglés) propiciado por los avances de hardware y la aparición de aplicaciones 3D capaces de manejar superficies complejas y modelado sólido.

El desarrollo de modelos tridimensionales comenzó los años 80's, sin embargo; no fue hasta los años 90's que se tuvo un substancial desarrollo en esta nueva tecnología debido a los grandes avances tecnológicos en hardware y software.

Los años 90's se caracterizaron por una automatización cada vez más completa de los procesos industriales en los que se generalizó la integración de diversas técnicas de diseño, análisis, simulación y fabricación así, aparecieron una multitud de aplicaciones en todos los campos de la industria que usan técnicas de CAD/CAM, y se comenzó hablar de una "realidad virtual". [Granada, 2013]

1.2 Introducción a los Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes

El software para integrar y manejar información que le da vida al modelo en 3D obedece a un enfoque creativo e innovador, inducido por la necesidad de las compañías desarrolladores del software y los grandes consorcios de ingeniería para mantenerse en un mercado más competitivo y de clientes más exigentes.

El modelado en tercera dimensión es empleado en diversas industrias como la automotriz, petrolera, química, nuclear, eléctrica, farmacéutica, alimentaria y construcción, entre otras ya que sus necesidades y requerimientos han cambiado llevándolas a recurrir a nuevas tecnologías que les permitan realizar proyectos y ser competitivos en un mercado que demanda menores tiempos de elaboración.

Hay que aclarar, que el término "inteligente" con el cual se ha nombrado al modelo 3D no tiene similitud con el significado de inteligencia como característica de un ser pensante, sino porque contiene la descripción minuciosa de cada elemento mostrado.

La inteligencia es característica del modelo electrónico (2D y 3D) con capacidad para relacionar cada uno de los elementos que lo componen, asociados a una base de datos, cuya capacidad permite agregar o modificar atributos o asociar otras bases de datos. Las propiedades o atributos de estos elementos, se unen electrónicamente por medio de bases de datos y técnicas con orientación a objetos. Esta capacidad de asociar a cada elemento sus características o propiedades derivadas de su diseño y sus métodos, le confiere el carácter de "inteligente".

La base de datos relacionada con el modelo 3D, significa la colección de elementos de información que estarán centralizados, agrupados y administrados por un sistemas de acuerdo a un modelo conceptual que convenga a las necesidades del manejo de la propia información y que represente la realidad del avance de la ingeniería. La importancia de la base de datos consiste en que toda la información contenida, estará conectada a través de elementos comunes y la base de datos es la herramienta que facilita obtener información de diferente índole desde y hacia del modelo 3D. [Abrajan, 2000].

1.3 El impacto de los Modelos Tridimensionales en la gestión de proyectos

Las empresas que desarrollan proyectos de ingeniería han aceptado el hecho de que los grupos aislados no son propicios para el trabajo en equipo. En respuesta a estos cambios se ve una desventaja competitiva en la organización.

Con los años, la gestión de proyectos ha demostrado ser eficaz en la integración del trabajo, a través de las distintas áreas, sin necesidad de re estructurar la organización o realizar cambios en el equilibrio de poder y autoridad.

Varios estudios permiten considerar los factores críticos que deben ser tomados en cuenta para la gestión de proyectos con el fin de alcanzar la madurez en el proyecto, enlistando los más importantes a continuación.

- Responsabilidad en la planificación
- Gestión eficaz de riesgos
- Gestión del alcance
- Desarrollo de políticas, procedimientos y directrices
- Personal capacitado para el proyecto
- Patrocinador del proyecto
- Administración del programa, costo y tiempo que incluye al personal de proyecto
- Cambios en la organización
- Informe de problemas, reportes y correcciones

Como empresas maduras hacia la excelencia en la gestión de proyectos, los factores antes mencionados se consideran eficaces y se incorporan en la cultura de gestión del proyecto. Sin embargo las nuevas prácticas de gestión requieren continuamente un replanteamiento y cambios en los factores antes mencionados.

Las prácticas de gestión más comunes son las siguientes:

- Gestión de calidad total (TQM¹)
- Consolidación
- Los equipos auto dirigidos de trabajo
- El costo del ciclo de vida del proyecto
- Ingeniería concurrente

De los puntos anteriores el último tiene un gran impacto en la gestión de proyectos. Ya que la ingeniería concurrente requiere de intenso trabajo en equipo y cooperación estrecha entre las áreas participantes del proyecto de tal manera que la información debe ser compartida libremente y de manera oportuna por lo que los métodos tradicionales para la gestión y el reconocimiento de la gestión de proyectos tienen que cambiar; [Kerzner, 2001] considerando el internet y ciertas técnicas de inteligencia artificial que permiten crear nuevas aplicaciones para explotar mejor la filosofía de la ingeniería concurrente.

El enfoque concurrente obliga a avanzar en la toma de decisiones a etapas cada vez más tempranas del proceso de diseño y desarrollo, y por tanto a decidir a partir de información más

¹ Del inglés Total Quality Management.

incompleta e inmadura, siendo necesario al mismo tiempo asegurar el éxito al primer intento. Para conseguirlo se han desarrollado una serie de tecnologías predictivas cuya función es prevenir problemas conforme avanza el trabajo.

A partir de lo citado anteriormente, el desarrollo de nuevas herramientas como los modelos en 3D permite configurar la ingeniería concurrente y el desarrollo de la ingeniería de proyectos. Su función entre otras, es representar visualmente toda información relacionada con el diseño de ingeniería contenida en las bases de datos, la cual será utilizada por todos los involucrados en el proyecto, permitiendo un mayor flujo de información.

CAPÍTULO 2 PANORAMA ACTUAL DE LOS MODELOS ELECTRÓNICOS INTELIGENTES (METI'S)

En este capítulo se describen brevemente los diferentes modelos bidimensionales y tridimensionales así como el abanico de posibilidades para cada necesidad en el desarrollo de proyectos de ingeniería.

Las Maquetas o Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes (METIS) son representaciones digitales en computadora de plantas industriales reales, que tienen asociada toda la información de ingeniería de las instalaciones en sus distintas especialidades como civil, arquitectura, mecánica, instrumentación, proceso, tuberías, eléctrica, electrónica, HVAC², seguridad, telecomunicaciones, etc., a partir de ellas se puede extraer o elaborar fácilmente planos constructivos, diagramas de ingeniería, isométricos y simulaciones de maniobras, recorridos o caminatas virtuales. [IIE, 2007].

El uso de modelado o realidad virtual fue adoptado en el diseño y construcción de plantas industriales, como consecuencia directa de cumplir con los requerimientos cada vez más estrictos en materia de seguridad y confiabilidad de las instalaciones, así como reducir conflictos y demoras durante las fases de construcción e integración.

2.1 Panorama actual de los METI'S

Las necesidades y requerimientos de diversas industrias han cambiado y el uso de nuevas tecnologías que les permiten realizar proyectos que demandan menores tiempos de ejecución trayendo consigo la necesidad de reevaluar el propósito de los documentos y dibujos, visto desde la perspectiva de los modelos tridimensionales que permiten la "extracción de información," dando a la industria la oportunidad de explorar las muchas aplicaciones de modelos en tres dimensiones y bases de datos asociadas, tanto en la planificación previa y en el sitio de construcción.

Comenta el ingeniero José Fernando Tomás Herrera, encargado de la Subgerencia de Mantenimiento y apoyo Operativo del Activo Integral Abkatún Pol Chuc de Pemex Exploración y Producción:

“...es evidente como las grandes empresas petroleras utilizan herramientas tecnológicas de vanguardia que les permite apuntalar sus desarrollos tecnológicos. En este sentido, el desarrollo de los modelos electrónicos tridimensionales inteligentes, permitirá sustentar de mejor manera las propuestas de renovación o nuevos desarrollos tecnológicos, sobre todo en lo referente a instalaciones y procesos superficiales. Con los Meti's se facilita el análisis, el diseño, la construcción, la simulación y la representación física tridimensional de todos los cambios y posibles modificaciones que surjan....al tener una base de datos ligada a las instalaciones mediante una representación física tridimensional se facilita el análisis de dicha información. Cabe mencionar que la utilización de los Metis también se extendió a las áreas de diseño planeación...realizar los análisis de riesgo soportados por los Metis, lo cual proporciona una forma más realista en la simulación de los diferentes eventos de riesgo...se han logrado obtener proyectos más rentables, que ahora cuentan con tiempos de recuperación de inversión mucho más cortos...la aplicación de los Metis se ha dado tanto en proyecto de desarrollo de infraestructura (plataformas y oleo gasoductos), como en modificaciones para optimización de instalaciones existentes al sustituir o eliminar algún equipo o proceso en plataformas”. [IIE, 2004].

² Del ingles Heating, Ventilating and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado)

Por mencionar algunos casos prácticos de empresas que trabajan con modelos METI se tiene a la Gerencia de Control e Instrumentación (GCI) del Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) que ha trabajado en la migración ,actualización , desarrollo y administración de Modelos Electrónicos Tridimensionales Inteligentes (METI's) desde el 2002, en diversas regiones y activos de PEMEX, participado en la capacitación de personal en el uso, generación y explotación de información contenida en dichos modelos.

En PEMEX Exploración y Producción (PEP), el IIE ha brindado servicio a los principales activos de producción; Pol-Chuc, Cantarell y Ku-Maloob-Zaap. Además, han desarrollado METIS para la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en la Central Termoeléctrica de Salamanca, Guanajuato.

Plant Desing de México presta servicios de Modelado Electrónico ofreciendo soluciones integrales en el desarrollo de plantas industriales en todas sus disciplinas, tuberías de proceso, equipos, DTI's, DFP's, mecánica , civil, estructural, instrumentos, etc. elaborando MEBIS³- METIS de plantas industriales a partir de un levantamiento de campo tipo "AS-BUILT"⁴, teniendo como finalidad, llevar un control de cambios, ya sean de tecnología en cualquier disciplina de la planta, información técnica y administrativa al mantener actualizada la base de datos relacionada con el manejo de software de programas como PDM'S, PDS, Solid Works, CATIA, PLANT 4D, según sus especificaciones y necesidades.

Foster Wheeler una de las principales empresas de ingeniería farmacéutica de Estados Unidos utiliza Intergraph Plant Design System (PDS™) en la mayoría de sus proyectos biofarmacéuticos, y ha encontrado que los datos creados en PDS pueden ser revisados e interrogados por el constructor y el ingeniero en un entorno Web utilizando SmartPlant® Revisión. Además, el uso del entorno de la planta en 3D y base de datos para recopilar conjuntos de datos asociados con equipos y sistemas dentro del modelo crea la base de un sistema de archivo para apoyar en el mantenimiento y renovación a futuro. [INSIHTS, 2002].

Otro ejemplo es Calpine, el mayor productor mundial de energía geotérmica renovable, que trabaja activamente en el desarrollo y expansión a bajo costo de centrales eléctricas para remplazar instalaciones antiguas e ineficientes y satisfacer la nueva generación. Esta compañía de electricidad ha utilizado recientemente SmartPlant @ Review, la herramienta de visualización 3D de Intergraph Process y soluciones para la construcción del proyecto Canal Calpine Energy Center en Pasadena, Texas, EE.UU..

"Como gestor de arranque para Calpine, recientemente he visto de primera mano cómo la tecnología puede impactar positivamente el cronograma del proyecto. Durante la construcción del Canal de Calpine Energy Center, se utilizó SmartPlant @ Review, la herramienta de visualización 3D de Intergraph Process y soluciones de construcción. SmartPlant Review permite navegar en los datos y el modelo 3D para el diseño, construcción y mantenimiento con una interfaz de usuario familiar de Microsoft @. Calpine capitalizó la visualización 3D y eliminó tres semanas al programa del proyecto. Personal de la compañía, su ingeniería contratada y sus homólogos de la construcción utilizaron el modelo 3D para comenzar a trabajar antes de que los planos aprobados fueron emitidos." [INSIHTS, 2002].

³Modelo Electrónico Bidimensional Inteligente (MEBI) - 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.)

⁴El concepto "as built" es el "cómo quedo construida" la planta, las modificaciones que pudieron hacerse durante la construcción.

Los METI's como herramienta han ido adquiriendo cada vez más importancia, pues facilitan el desarrollo de nuevas alternativas en la operación y mantenimiento de instalaciones de plantas químicas.

2.2 Modelos Bidimensionales y Tridimensionales actuales

El diseño Tridimensional Asistido por Computadora es amplio y hay una gran variedad de opciones de CAD 3D que están disponibles. Existen dos clases de información que tienen que ser almacenadas y manejadas en cualquier sistema de CAD 3D.

Una consiste en la descripción física de los objetos comúnmente utilizados (equipos, instrumentos, tuberías y elementos estructurales, para que la representación gráfica (modelo) de los objetos sea generado. La segunda consiste en la información numérica y descriptiva requerida para completar la definición de los objetos modelados, tal como su tamaño o su clasificación (los atributos).

Varios de los sistemas de software de CAD 3D que están disponibles varían principalmente en la forma cómo son almacenados, manejados y presentados estos dos tipos de información. De esta manera se pueden identificar tres tipos de Software, de acuerdo a sus características, tal como se describe a continuación:

2.2.1 Sistemas que parten de gráficos con apuntadores a una base de datos

El software 3D es conducido a través de gráficas que están sobrepuestas en un sistema estándar de CAD 2D, con apuntadores (enlaces electrónicos) de cada objeto gráfico a registros descriptivos almacenados en una base de datos. Se utiliza un lenguaje de información estándar para generar varias clases de reportes fuera de la base de datos, sin la necesidad de otra licencia del software 3D. Sin embargo, algunos sistemas requieren herramientas para reportes especiales de materiales. Esto se debe a que el enlace entre la información particular del objeto y la información de la descripción del material, existe solo en los archivos gráficos.

Con este tipo de sistemas, las herramientas proporcionadas se utilizan solo para manipular la información en el modelo. Entre más y más cambios de información se hagan estas se deben de hacer directamente en la base de datos con las herramientas que proporciona el sistema que garantizan cumplir con las especificaciones o códigos.

2.2.2 Sistemas que parten de una base de datos

Estos sistemas almacenan ambas clases de información en una base de datos, generalmente de un propietario. Tener toda la información en un solo lugar ofrece muchas ventajas: la entrada y reportes de datos es automatizada y la modificación de datos es fácil, el sistema es transportable y la información es fácil de duplicar, la desventaja es que se requiere una licencia del software 3D para acceder a la información.

2.2.3 Sistemas que parten de gráficas que no usan bases de datos (stand-alone)

Estos al igual que los sistemas gráficos que se conducen con apuntadores, se sobreponen en graficas 3D en un sistema estándar de CAD 2D, pero el sistema guarda la información de atributos numéricos en el mismo archivo que para las gráficas. El tiempo de repuesta es generalmente más rápido, debido a que la información esta almacenada en un archivo y hay un efecto mínimo de cargar la base de datos en un servidor. Con este tipo de sistemas es también más fácil de copiar o mover sin el riesgo de corromper cualquier información.

Algunos de estos sistemas ofrecen herramientas que revisan los archivos dentro o fuera de un conjunto de archivos maestros. Otros necesitan un sistema de administración de documentos que da seguimiento a tales archivos. [Islas, 2010].

2.3 Aplicación de los Modelos Bidimensionales y Tridimensionales

Actualmente, los METIS son utilizados en las diversas etapas del ciclo de vida de una planta industrial, iniciando con la planeación e ingeniería básica, para posteriormente continuar con la ingeniería de detalle, construcción, operación, mantenimiento y adecuación, hasta llegar al abandono, cierre y desmantelamiento de la misma. Considerando las diferentes áreas de aplicación de ingeniería se pueden utilizar de acuerdo a las necesidades de cada problema, permitiendo reducir costos al agilizar la generación y uso de la documentación de la instalación.

Dentro del área de ingeniería es muy común utilizar software ya sea para simular, optimizar y diseñar, de los más conocidos se encuentran los siguientes programas de ingeniería y diseño de plantas:

2.3.1 Simuladores de procesos, estáticos y dinámicos

Permiten la realización de balances rigurosos de masa y energía para una amplia gama de procesos químicos y petroquímicos. De estos balances se obtienen los datos básicos para el dimensionamiento de líneas, instrumentos y equipos.

Todos ellos disponen, además, de los siguientes módulos:

- Base de datos de propiedades de un gran número de elementos puros, así como métodos para estimar las propiedades de las mezclas.
- Dibujo de diagramas de flujo de proceso (PFD⁵).
- Cálculo de columnas de destilación, cálculo térmico de cambiadores de calor, pérdidas de carga, etc.

Se utilizan en el diseño de nuevos procesos, optimización de procesos existentes, evaluación del efecto de cambios en las condiciones de operación, análisis "¿what if? (que pasaría si?)", etc.

Los simuladores estáticos descritos anteriormente solo resuelven ecuaciones estáticas. En cambio, los simuladores dinámicos resuelven ecuaciones diferenciales y permiten, por tanto, evaluar la evolución en el tiempo de las variables. Se utilizan, por ejemplo, para calcular el caudal de diseño de colectores de antorcha, diámetro, velocidades, análisis de costos, caracterización de mezcla de gases, etc.

Los más conocidos son:

Aspen Plus de Aspen Technologies, Design II de WinSim, PRO/II de Simulation Sciences Inc, DYN SIM de Simulation Sciences Inc, Aspen HYSYS, Chemcad, ver Figura 2.1 y Figura 2.2.

⁵ Del Inglés, Process Flow Diagram.

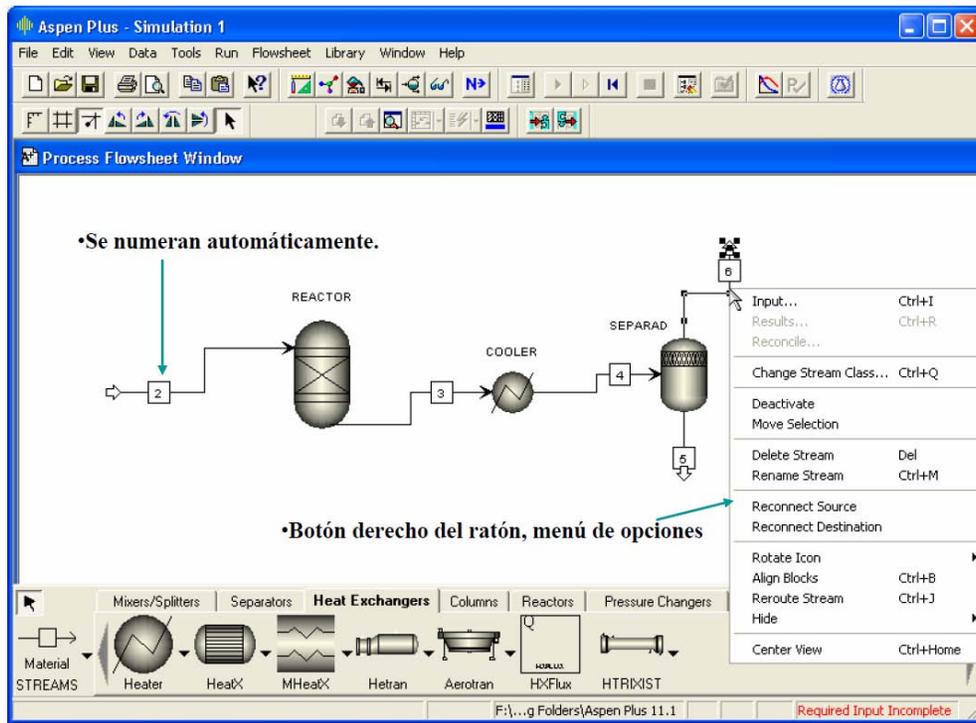


Figura 2.1 Ejemplo de simulación del programa Aspen Plus.

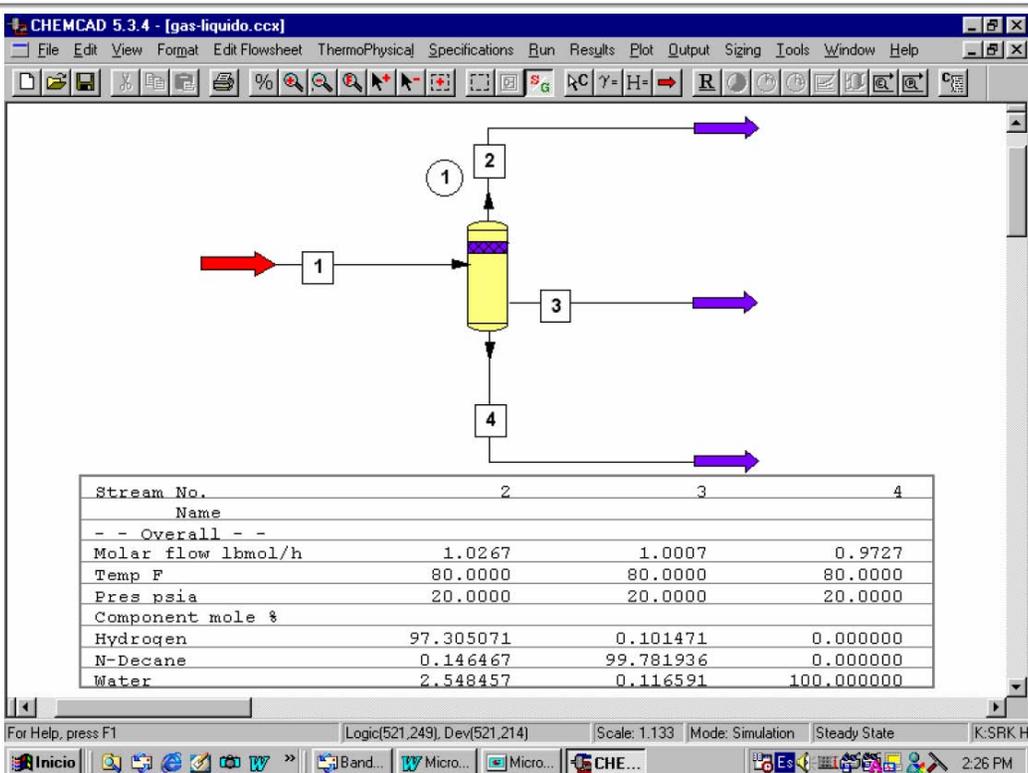


Figura 2.2 Ejemplo de simulación del programa Chemcad 5.3.4.

2.3.2 Diagramas de tubería e instrumentación inteligentes (DTI's)

Combinan un CAD de dibujo de propósito general (como el popular AutoCAD) con una base de datos. Los componentes (equipos, líneas e instrumentos) se introducen como objetos con propiedades inteligentes (por ejemplo al introducir una válvula en una línea capta automáticamente su especificación) y sus propiedades se incorporan a la base de datos.

Los DTI's inteligentes permiten listar líneas, válvulas de tuberías, instrumentos, etc., así como búsquedas y cambios automáticos.

Aunque hay varias docenas de programas comerciales y tienen varios años de existencia, los DTI's⁶ inteligentes son una de las herramientas que más necesita evolucionar.

Los más conocidos:

Aspect y PEGS de Cadcentre, PID de Intergraph, AutoPLANT PID de Rebis, Visio PID de Visio/MicroSoft

2.3.3 Diseño integrado de instrumentos

Los programas realizan las siguientes funciones:

- Cálculo de válvulas de control, elementos de caudal y válvulas de seguridad.
- Emisión de Hojas de Datos de Instrumentos.
- Emisión automática o semiautomática de los esquemas de conexión electrónica de los lazos de control.
- Lista de materiales de montaje.
- Listas de cableado, cajas de bornera, etc.
- Funciones de ayuda para los departamentos de mantenimiento en las plantas.

Los más conocidos son: Intools de PID (adquirido por Intergraph), Módulo de Instrumentación de PDS, PEGS de Cadcentre.

2.3.4 Cálculo de equipos

Existen numerosos programas individuales que permiten calcular: cambiadores de calor (térmico y mecánico), recipientes a presión, tanques atmosféricos, etc. Además facilitan la emisión de planos simplificados y hojas de datos. También hay programas que realizan cálculos parciales, como puede ser el cálculo mecánico de las toberas de un equipo.

Los más conocidos

- Recipientes: Compress de Codeware
- Tanques: Codecalc y Tank de Coade
- Intercambiadores de calor: HTRI de Heat Transfer Reresearch Inc, HTFS de Heat Transfer and Fluid Service

⁶ Del Ingles, Piping and Instrumentation Diagram (P&ID).

2.3.5 CAD 3D para diseño de plantas

Todo parece indicar que en el futuro el centro de los sistemas de ingeniería será una base de datos común a todas las aplicaciones (STEP Data Warehouse), pero actualmente el corazón de los sistemas utilizados para la ingeniería de detalle, es el CAD 3D de Diseño de Plantas, Figura 2.3 Ejemplo de programa Autocad 3D y Figura 2.4 Ejemplo de maqueta en Autocad 3D. Estos programas permiten:

- Crear el catálogo de componentes (accesorios de tuberías, válvulas, elementos estructurales, etc.) que van a ser empleados en el diseño y las especificaciones que fijan las reglas de uso de esos componentes
- Diseñar equipos, tuberías, conductos, estructuras, bandejas, zanjas, etc
- Detección automática de interferencias. Algunos lo hacen directamente al diseñar y otros solo lo hacen en etapas
- Extracción de planos. Algunos tienen herramientas de dibujo perfectamente integradas con su base de datos y otros envían las "vistas" del modelo a programas de dibujo general, como AutoCad ó MicroStation, donde se realizan las anotaciones necesarias
- Extracción de isométricos
- Cuantificación de materiales y componentes

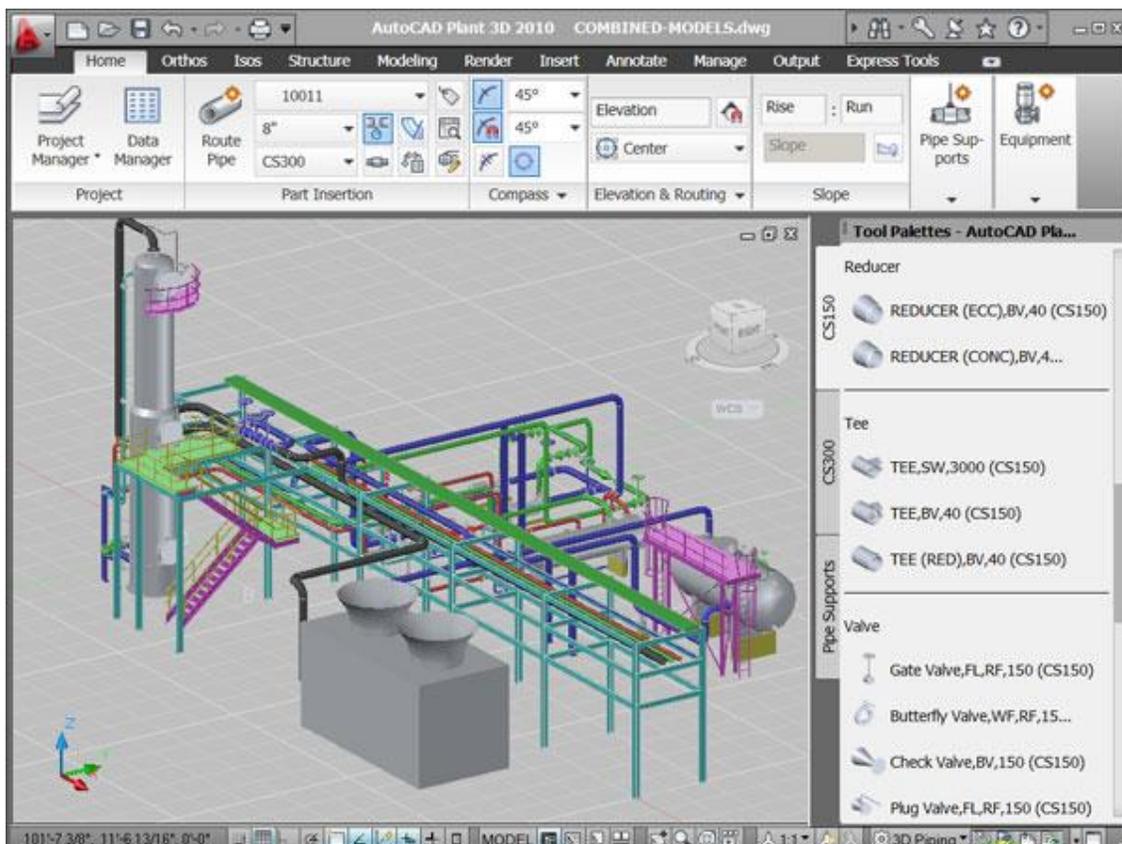


Figura 2.3 Ejemplo de programa Autocad 3D

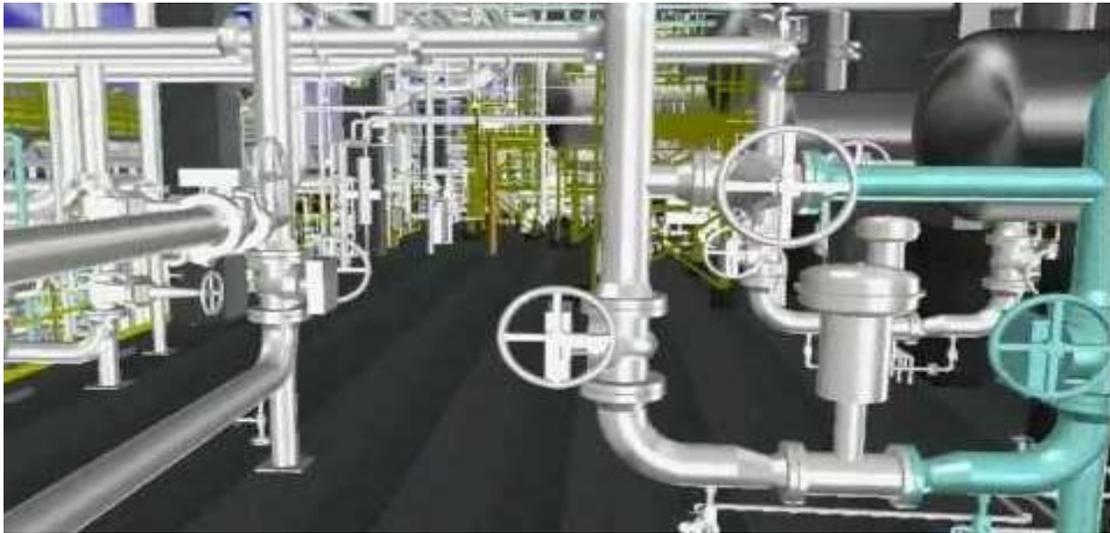


Figura 2.4 Ejemplo de maqueta en Autocad 3D

Los CAD 3D para diseño de plantas permite contener:

- **Base de datos de catálogos y especificaciones.** Los CAD 3D de diseño de plantas no se basan en dibujos, sino en ir añadiendo componentes “virtuales” de forma parecida a la construcción de un planta real. Antes de comenzar el diseño es necesario crear la base de datos de todos los componentes (accesorios de tuberías, válvulas, elementos estructurales, etc.) que van a ser empleados en el diseño y las especificaciones que fijan las reglas de uso de esos componentes. Esta función está integrada dentro de los CAD 3D de Diseño de Plantas.
- **Gestión de materiales.** Una de las ventajas de los CAD 3D de Diseño de Plantas es su facilidad para producir recuentos de materiales rápidos y exactos. Pero la información que se obtiene del modelo ha de ser enviada a un programa que la reorganice y la transforme en requisiciones de compra siguiendo los códigos y los procedimientos de cada empresa. En este caso no se identifican programas comerciales pues generalmente son programas de desarrollo interno de las compañías de ingeniería.
- **Soportes de tuberías.** Lo más habitual es que se disponga de una amplia colección de estándares de soportes y que el trabajo de soporte se limite a elegir el más adecuado para cada caso, en función del tipo y los esfuerzos resultantes del cálculo de tensiones térmicas. Una vez elegido el estándar en los planos de tuberías se indica simplemente su posición y el número del estándar. El soporte se simula en el modelo 3D para comprobar las posibles interferencias.

Los CAD 3D para Diseño de Plantas disponen de módulos de soportes que permiten el modelado de los mismos y el diseño de los elementos estructurales de forma integrada con el resto del modelo.

También hay programas de soportes de tuberías que ayudan a elegir los muelles, abrazaderas y componentes estándar.

Los más conocidos para diseño de plantas:

PDMS de Cadcentre, PDS de Intergraph, AutoPLANT de Rebis, Catia de IBM, PlantSpace de Jacobus. Rutadores automáticos de tuberías: Rutadores de PDS (Intergraph), Automatic Pipe Router de ASD.

2.3.6 Análisis de esfuerzos en tuberías

Estos programas permiten calcular las tensiones y las deformaciones experimentadas por las tuberías bajo los esfuerzos derivados de las dilataciones térmicas, su propio peso, sismos, flujo, vibración, etc. Los resultados los muestran en forma de diagramas de tensiones y deformaciones.

Casi todos ellos permiten importar la geometría de la línea desde el modelo 3D. No obstante, necesitan información adicional, por ejemplo espesor después de la corrosión, esfuerzos, etc., que ha de ser introducida manualmente antes de realizar el cálculo para determinar el tipo y la localización de los soportes.

Los más conocidos son: CAESAR II de Coade, CAPEIPE y PipeStress.

2.3.7 Análisis de estructuras

Permiten crear modelos estructurales formados por elementos en forma de barras, metálicas o de hormigón, y después calcular su resistencia tanto a esfuerzos estáticos como dinámicos, incluidos los sísmicos.

Algunos de ellos disponen de interfases que le permiten enviar la estructura, una vez dimensionada, a los CAD 3D más populares y a los programas de seccionamiento de estructuras descritos más adelante. En algunos casos la interface va del CAD 3D al sistema de análisis.

Los más conocidos son: SAP 2000 Figura 2.5 Ejemplo de programa SAP2000 , GTSTRUDL, STAAD-III.

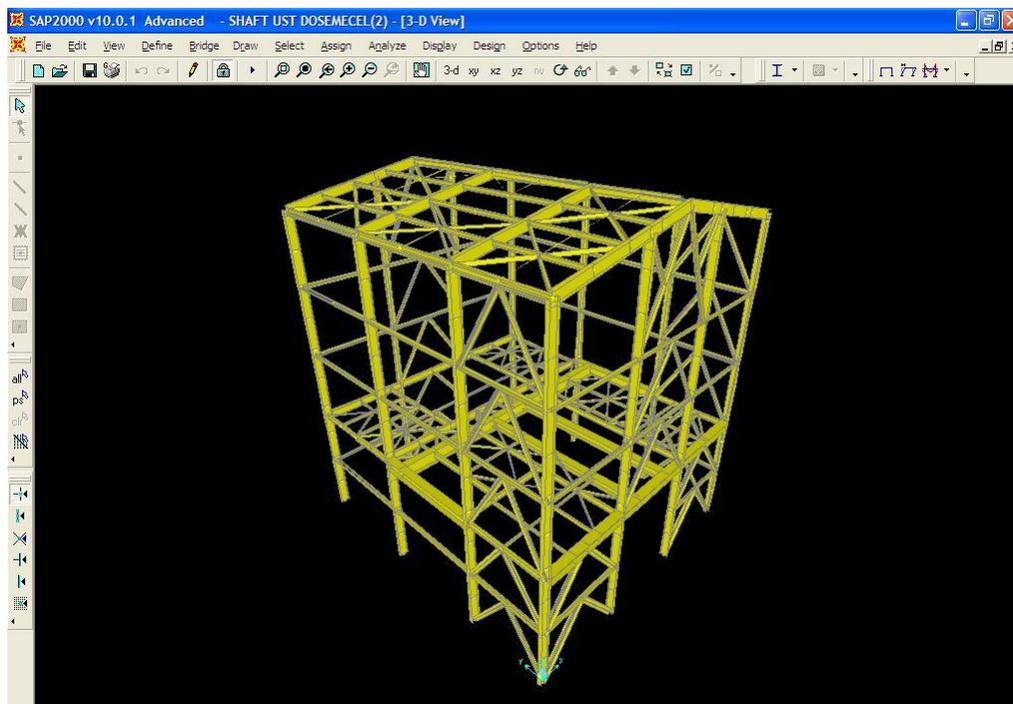


Figura 2.5 Ejemplo de programa SAP2000

2.3.8 Seccionamiento de estructuras

Los programas de CAD 3D para Diseño de Plantas permiten modelar las estructuras y extraer del modelo los planos estructurales. También disponen de módulos para dibujar los detalles constructivos y secciones de planos. También existen programas específicos de seccionamiento de estructuras que están, por ahora, mucho más especializados y contienen extensas librerías de detalles típicos y soluciones constructivas. Algunos incluso pueden emitir directamente las instrucciones para las máquinas automáticas de corte.

Los más conocidos son: Módulo de estructuras de PDMS de Cadcentre, MICAS de Intergraph, XS teel de Tekla Oy, SteelCad de Acecad.

2.3.9 Programación y control de costos

Estos programas permiten:

- Dibujar redes tipo PERT⁷
- Realizar los cálculos de fechas tempranas y tardías
- Determinar la ruta crítica
- Medir el progreso del proyecto
- Dibujar histogramas de carga de trabajo o uso de recursos
- Etc.

Todos ellos disponen de funciones para controlar los costes de forma integrada con el progreso. Esta integración resulta muy atractiva desde el punto de vista teórico, pero en la práctica resulta engorrosa y la mayoría de las empresas usan sistemas propios, o simples hojas de cálculo, para el control de costos.

Los más conocidos son: Primavera P3 de Primavera Systems, Sure Track (versión reducida del P3), MS Project de Microsoft Figura 2.6 Ejemplo del programa Microsoft Project.

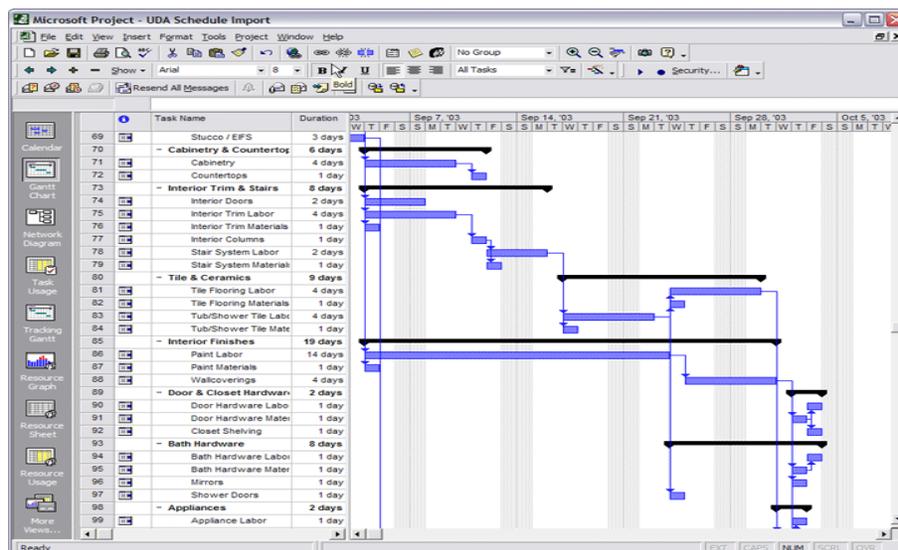


Figura 2.6 Ejemplo del programa Microsoft Project

⁷ Del Inglés, Program Evaluation and Review Technique.

2.3.10 Gestión documental

Son programas que apoyan para llevar el control de la situación de todos los documentos de un proyecto, o de una organización, permitiendo:

- Buscar documentos a partir de fechas, nombre del autor, tipo de documento o incluso palabras contenidas en el mismo
- Visualizar en pantalla cualquier tipo de documento (planos, textos, hojas de cálculo, etc.)
- Introducir comentarios en planos y otros documentos
- Asegurar el acceso a la última revisión de los documentos y llevar el control de las revisiones
- Transmitir electrónicamente los documentos de forma discrecional o siguiendo un flujo de trabajo terminado.

Algunos permiten crear una estructura jerárquica de la planta, en la que los sistemas se dividen en subsistemas y estos en componentes como, por ejemplo, válvulas de control, y estos a su vez en subcomponentes, como cuerpo, actuador, etc. A cada componente o subcomponente se le asignan los planos y especificaciones que lo definen. De esta forma cuando se revisa un sistema o componente, el sistema de gestión documental sabe cuáles son los documentos afectados por el cambio y que, por tanto, necesitan ser revisados.

El más conocidos es: Documentum to Documentum Inc., AIS de Intergraph.

2.3.11 Gestión de compras y subcontratos

La mayoría de las empresas utilizan programas de diseño propio para el control y seguimiento de las compras. Si son de diseño reciente suelen utilizar bases de datos relacionales, como Oracle, pero en muchos casos son programas antiguos basados en ficheros. Algunas empresas utilizan sistemas ERP de mercado, como SAP o BAN, pero el tipo de trabajo de los contratistas de ingeniería suele requerir más flexibilidad que la permitida por estos sistemas que además tienen un elevado costo de implantación.

El más conocido es: FOCUS/VANTAGE de Cadcentre.

Herramientas del comercio electrónico

Casi todos los proveedores de programas de Gestión Electrónica de Documentos y ERP están actualmente tratando de dotar a sus productos de funciones que posibiliten la compra de equipos y materiales a través de internet, es decir, el llamado B2B o Business to Business. Aunque algunos de estos programas ya dicen ser "e-business enabled" (empresa habilitada) las herramientas adaptadas al proceso de compras de proyectos aún no están en el mercado.

2.3.12 Gestión del almacén y control de obra

Son programas de desarrollo propio, generalmente conectados a los de Gestión de Compras y Subcontratos, que permiten:

- Conocer la fecha esperada de llegada de los equipos y materiales
- Controlar las entradas y salidas de materiales en el almacén de obra y llevar un control de los sobrantes y recortes
- Conocer los materiales necesarios para la prefabricación y montaje de cada isométrico o plano de montaje
- Algunos disponen de módulos para el control del uso y tendido de los cables. [Alción, 2012].

Generalmente son programas de desarrollo interno de las compañías de ingeniería y construcción.

CAPÍTULO 3 DESARROLLO DE LA INGENIERÍA DE PROYECTOS DE UNA PLANTA QUÍMICA

En este capítulo se presenta una breve descripción de lo que es un proyecto y la preparación de una serie de pasos que permiten establecer claramente todos los componentes necesarios para su realización abordando de una forma clara y concisa los objetivos del mismo.

3.1 Ingeniería de Proyectos

La ingeniería de proyectos permite el paso de la concepción técnica a una realidad física, siendo una actividad de tipo interdisciplinaria, que tienen como objetivo optimizar la realización de proyectos, en menos tiempo, menor costo, calidad, mejor aprovechamiento de los recursos humanos y materiales asignados.

3.1.1 Definición de proyecto

Un proyecto es un grupo de tareas interdependientes, realizado en un período de tiempo definido, con una planificación estructurada y una ejecución coordinada a fin de satisfacer un fin en específico.

Otras definiciones que ayudan a entender que es un proyecto pueden ser:

- Es un programa de una sola vez
- Tiene un ciclo de vida, con un inicio y fin
- Tiene un alcance que clasifica las tareas definidas
- Cuenta con un presupuesto
- Requiere el uso de múltiples recursos. Muchos de estos recursos pueden ser escasos y posiblemente tengan que ser compartidos con otros
- Se puede requerir la ayuda de una organización especial. [Levine, 2002].

3.1.2 Características principales de un proyecto

Dentro de las características principales de un proyecto se tiene:

a) Temporal

Cada proyecto tiene un principio y un fin definido. El fin del proyecto se alcanza cuando se han logrado los objetivos establecidos, o se pone de manifiesto que el proyecto está terminado. Temporal no necesariamente significa de corta duración, muchos proyectos duran varios años. Sin embargo en todos los casos, la duración de un proyecto es finita. Temporal generalmente no se aplica al producto, servicio o resultado creado por el proyecto. La mayoría de los proyectos se llevan a cabo para crear un resultado duradero. [PMBOK, 2004].

La naturaleza temporal de los proyectos puede aplicarse a otros aspectos, como:

- Generalmente los proyectos tienen un plazo de tiempo limitado para poder realizar el producto o servicio
- El equipo del proyecto, como una unidad de trabajo, rara vez sobrevive al proyecto una vez terminado el propósito de este; luego el equipo se disuelve y los miembros del equipo son reasignados al final del proyecto [PMBOK, 2004]

- Durante la definición del proyecto se establece su fecha de inicio y fin, sin embargo pueden verse alteradas por distintos factores (falta de información, personal capacitado, retraso en trámites, etc.). Un proyecto no puede extenderse indefinidamente

b) Los proyectos pueden crear productos únicos, servicios, o resultados

- Un producto o máquina que es producido, cuantificable, y pueden ser un elemento final en sí mismo o un elemento componente.
- Un servicio, como apoyar la producción o la distribución. Por ejemplo los resultados o documentos generados en un proyecto desarrollan conocimiento que se puede usar para determinar si o no una nueva tendencia o proceso beneficiara a la sociedad.

La particularidad es una característica importante de los resultados del proyecto. Por ejemplo, miles de edificios para oficinas se han construido, pero cada edificio individualmente es diferente y tiene un único propietario, diferente diseño, ubicación, contratistas, y así sucesivamente. La presencia de elementos repetitivos no cambia la singularidad fundamental del trabajo en el proyecto. [PMBOOK, 2004]. Los proyectos tienen por finalidad la creación de algo que no ha sido hecho anteriormente, algo único, pues hay proyectos que aparentan ser iguales, por que parecen tener los mismos objetivos y condiciones, pero en realidad no lo son, pues cambiando alguna situación, hacen que el desarrollo de este cambie.

c) Desarrollo Progresivo

El desarrollo progresivo es una característica de los proyectos que acompaña a los conceptos de temporal y único. El desarrollo progresivo significa la evolución en los pasos, y un continuo crecimiento. Por ejemplo, el alcance del proyecto se describe en términos generales al inicio del proyecto y más detallado y explícito al equipo que desarrollara el proyecto con objetivos y resultados más completos. [PMBOK, 2004].

Ya que el resultado de cada proyecto es único, implica que el desarrollo del trabajo para cumplir con los objetivos nunca hayan sido hechos anteriormente, por lo que es necesario ejecutar de una manera progresiva, estructurada y planificada, es decir, que no se empieza una casa por el techo, sino por los cimientos y hacia arriba.

El desarrollo progresivo de un proyecto debe ser cuidadosamente coordinado con una adecuada definición del alcance del proyecto, sobre todo si el proyecto se realiza bajo contrato.

Cuando está correctamente definido el alcance del proyecto, el trabajo a realizar debe ser controlado y las especificaciones del proyecto se elaboran progresivamente.

Un ejemplo de desarrollo progresivo comienza con la ingeniería de proceso para definir las características del proceso. Estas características se utilizan para diseñar las principales unidades de proceso. Esta información define la base para el diseño de la ingeniería de detalle, como la distribución detallada de la planta, las características mecánicas de las unidades de proceso y las instalaciones auxiliares. Todo esto plasmado en la elaboración de planos de construcción. Durante la construcción, se hacen adaptaciones necesarias sujetas a aprobación. La mayor elaboración de los entregables se refleja en el dibujo construido, y los ajustes de operación finales se realizan durante las pruebas y repuestos. [PMBOK, 2004].

3.1.3 Diferencia entre Proyectos y Operaciones

En el trabajo cotidiano desarrollado en una empresa o industria, nos encontramos con operaciones y proyectos, ambos comparten una serie de elementos comunes:

- Realizado por personas
- Limitados por los recursos
- Planeado, ejecutado y controlado

Los proyectos y operaciones difieren principalmente en que las operaciones están en curso y repetitivamente, mientras que los proyectos son temporales y únicos. [PMBOK, 2004].

Los proyectos se distinguen de las operaciones en un aspecto muy importante y concreto, y es que los proyectos tienen perfectamente definido la fecha de comienzo y fin, y no son repetitivos, sino que cada proyecto es único, y tiene objetivos de producto o servicio únicos. Sin embargo las operaciones en una empresa tienen un carácter repetitivo, por ejemplo podemos tomar una cadena de montaje. El diseño, desarrollo y puesta en marcha de una cadena de montaje requiere de un proyecto, mientras que su funcionamiento diario es una operación.

3.1.4 Clasificación de Proyectos

La clasificación de proyectos difiere según cada autor, las tendencias que persiguen o la inclinación que tengan por algún concepto.

- Recursos Naturales: ingeniería agrónoma, oceanografía, minería, etc.
- Infraestructura y construcción: ingeniería civil, de la construcción, etc.
- Industrial: ingeniería industrial, mecánica, electrónica, etc.
- Servicios y sistemas: telecomunicación, informática, etc.

3.2 Ciclo de Vida del Proyecto

Los administradores de proyectos pueden dividir los proyectos en fases para proporcionar un mejor control en la gestión de los alcances correspondientes a las operaciones en curso. Colectivamente, estas fases son conocidas como el ciclo de vida del proyecto. [PMBOK, 2004].

El ciclo de vida de un proyecto representa una progresión lineal, desde la definición del proyecto a través de un plan, la ejecución y el cierre del proyecto ver Figura 3.1 Ciclo de vida estandar de un proyecto. A primera vista, podría parecer que el ciclo de vida es igual al ciclo de la gestión de proyectos. Definir, planificar y ejecutar parecen correlacionarse directamente con la definición, planificación y control.

Hay que aclarar que la gestión de proyectos es desde el principio, cuando no existe proyecto, luego cuando se ejecuta y hasta que se termina, la administración de proyectos forma parte de la gestión de proyectos y se encarga de llevar el proyecto por buen camino. En el ciclo de vida del proyecto es lineal y los límites de cada fase representan puntos de decisión según Verzuh, 2005.

- Definición. La fase comienza cuando un proyecto y un gerente de proyecto se mencionan en la carta del proyecto. Aprobado este documento significa que todas las partes interesadas en el proyecto están de acuerdo con los objetivos y el costo.
- Planificación: Después de aprobado el proyecto, el director del proyecto empieza a crear el plan del proyecto y los detalles de cómo ejecutar el proyecto, es probable que algunos acuerdos del proyecto cambien. Al final de la fase de planificación, es necesario que todas las partes no sólo aprueben el plan, sino también los cambios necesarios en el desarrollo del proyecto.

- Ejecución. Es la fase de desarrollo del trabajo real aprobado en el plan de trabajo. Esta fase probablemente tiene 90 por ciento o más del esfuerzo del proyecto. La fase de ejecución se completa cuando el objetivo del proyecto es alcanzado.
- Cierre. Esta es la más pequeña etapa del proyecto, pero no menos importante que las demás. Realizar las actividades de cierre tiene tres funciones importantes: (1) hacer la transición a la fase siguiente; (2) establecer cierre formal del proyecto ante el cliente; y (3) examinar los éxitos y fracasos, con miras a mejorar en proyectos futuros.

La importancia de las dos primeras fases del ciclo de vida del proyecto, no se puede poner mucho énfasis. A pesar de que estas dos fases, definir y planificar, por lo general representan el 10 por ciento o menos del total del esfuerzo, son esenciales en la preparación del equipo para un rendimiento eficiente durante la fase de ejecución según Verzuh, 2005.

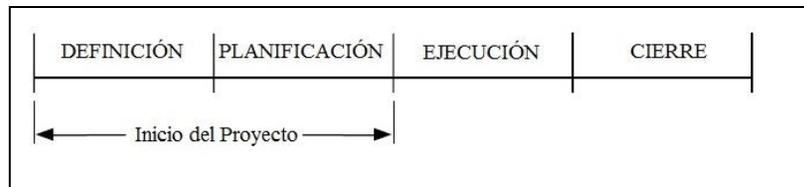


Figura 3.1 Ciclo de vida estandar de un proyecto según Verzuh (2005)

Sin embargo esto no es un estándar o acuerdo de número y tipo de fases que deben formar parte del ciclo de vida de un proyecto. Esto es comprensible debido a la compleja naturaleza y diversidad de proyectos. Otra de las definiciones teóricas de las fases del ciclo de vida de un proyecto pueden ser según Kerzner, 2001:

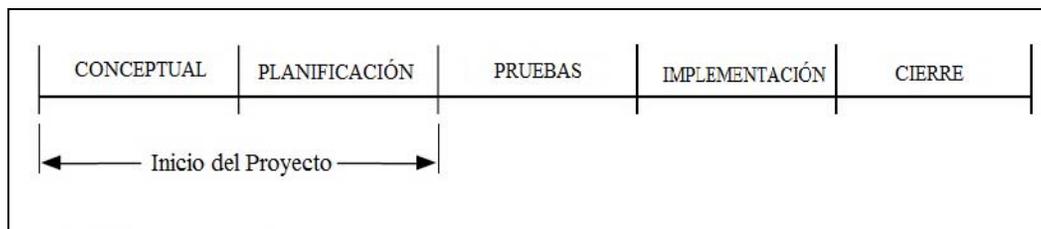


Figura 3.2 Ciclo de vida estandar de un proyecto según Kerzner (2001)

Aunque muchos ciclos de vida de proyectos tienen nombres de fases similares con prestaciones similares, algunos ciclos de vida son idénticos. Algunos pueden tener cuatro o cinco fases, pero otros pueden tener nueve o más. [PMBOOK, 2004].

En la actualidad, no existe un acuerdo entre las industrias, o incluso empresas de un mismo sector, sobre las fases del ciclo de vida de un proyecto también hasta ahora no se ha hecho ningún intento de identificar el tamaño de un proyecto. Los grandes proyectos requieren generalmente personal de tiempo completo, mientras que los pequeños proyectos, a pesar de que se someten a las mismas fases del ciclo de vida del proyecto, puede requerir personas únicas en un tiempo parcial. Esto implica que una persona puede ser responsable de múltiples proyectos.

No hay mejor manera de definir el ciclo ideal de vida de un proyecto. Algunas organizaciones han establecido políticas que estandarizan todos los proyectos con un ciclo de vida, mientras otros permiten que el equipo de gestión de proyectos elija el ciclo de vida más apropiado para el equipo

de proyecto. En la práctica la industria utiliza un ciclo de vida de proyecto preferido de acuerdo a sus necesidades y experiencia.

3.2.1 Características del ciclo de vida del proyecto

La descripción de ciclo de vida del proyecto puede ser muy general o muy detallada. Sin embargo los ciclos de vida de los proyectos comparten una serie de características comunes como:

- Las fases son generalmente secuenciales y por lo general se definen por la transferencia de información técnica o traspaso de componentes técnicos.
- Los niveles de costos y recursos de personal son pequeños al comienzo, pero conforme avanza el proyecto hay incrementos durante las fases intermedias y estas decaen rápidamente a medida que el proyecto se acerca a su fin como lo muestra Figura 3.3 Costo típico de un proyecto y personal a través del proyecto ilustra este patrón.

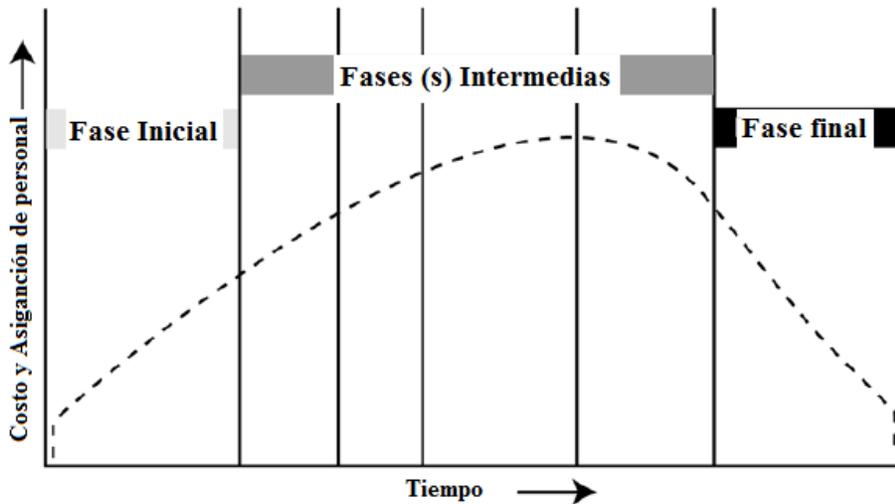


Figura 3.3 Costo típico de un proyecto y personal a través del proyecto

Fuente. PMBOK, 2004.

- Al comienzo del proyecto la probabilidad de terminar el proyecto es bajo, por lo que el riesgo y la incertidumbre de que no se alcancen los objetivos es alto al inicio del proyecto. La certeza de llegar a una conclusión exitosa, se hace cada vez más segura a medida que el proyecto avanza.
- Al inicio del proyecto, la capacidad de los participantes influye en las características finales del proyecto y disminuye progresivamente el costo conforme el proyecto avanza. Los cambios que puedan surgir al inicio tendrán una repercusión pequeña en el costo, pero a medida que el proyecto se desarrolla cualquier cambio que modifique las características finales del proyecto incrementa el costo del proyecto como lo muestra la Figura 3.4 Influencia de los participantes en el proyecto. Todo cambio y corrección de errores en un proyecto genera un costo adicional dependiendo del tiempo en que se den, generalmente aumentan a medida que el proyecto avanza.

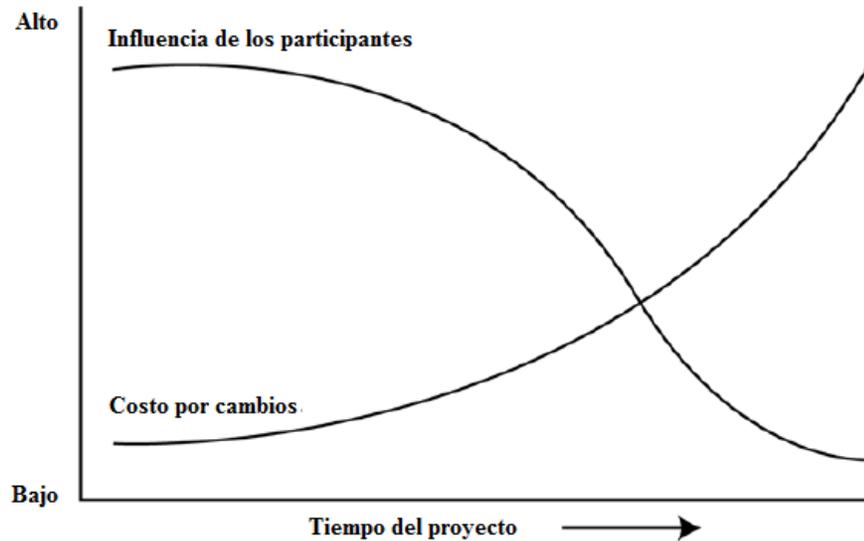


Figura 3.4 Influencia de los participantes en el proyecto.

Fuente. PMBOK, 2004.

3.2.2 Etapa de Planificación.

La etapa de planificación en la gestión de proyectos se basa en el calendario de actividades y las disciplinas involucradas para cada proyecto en particular.

Una correcta y detallada definición del proyecto es imprescindible para una correcta planificación. Si existen imprecisiones en la definición del proyecto, éstas se reflejarán en la planificación, que dejará de tener utilidad como herramienta para una adecuada gestión del proyecto.

Dentro de la gestión de proyectos la planificación es donde el administrador de proyecto selecciona las fases del ciclo de vida, los procesos, las herramientas y técnicas que se ajusten adecuadamente al proyecto. [PMBOK, 2004]. La definición y establecimiento de las fases que han de desarrollarse, el orden lógico, la planificación del tipo de tarea, tiempo, coste y cantidad de recursos a utilizar en cada momento precisan un conocimiento de las tecnologías disponibles a implementar en el proyecto, a la vez de la experiencia necesaria. También es necesario prever y planear planes de contingencia para superar las dificultades que en la práctica puedan aparecer en el desarrollo de las actividades.

El modelo del ciclo de vida en cuanto a orden, número de fases, y tareas que las componen pueden variar de un proyecto a otro. Además de establecer interrelaciones, y procesos de realimentación entre las distintas fases, de forma que los resultados parciales de unas pueden contribuir a cerrar o redefinir ciertas actividades de las anteriores, estableciendo cierto grado de paralelismo temporal en el desarrollo de las mismas [PMBOK, 2004].

Algunos de los procesos en la planificación del proyecto son:

- Especificaciones del proyecto
- Definición del calendario del proyecto
- Definición del esquema del proyecto
- Determinación de las características de cada actividad
- Localización de hitos o puntos claves de control

- Búsqueda de dependencias entre actividades
- Determinación de los recursos que participarán en el proyecto
- Revisión y análisis crítico del proyecto

El conjunto de las diferentes fases sucesivas en las que son agrupadas las distintas actividades y tareas a desarrollar en todo proyecto de Ingeniería así como la agrupación de estas tareas en distintas fases permite realizar una evaluación y desarrollo estructurado del proyecto. De esta manera, las fases contribuyen a obtener resultados continuos y procesos intermedios, necesarios para alcanzar los objetivos, además de facilitar la gestión del proyecto. A este conjunto de fases que agrupan distintas tareas se le denomina según varios autores como “ciclo de vida del proyecto”.

La transición de una fase a otra generalmente está implicada dentro del ciclo de vida del proyecto. Los entregables de una fase se suelen revisar, completar, detallar y aprobar antes del inicio de la siguiente fase. Sin embargo, no es raro que una fase empiece antes de la aprobación de los entregables de la fase previa, cuando los riesgos se consideren aceptables. Esta práctica de fases superpuestas, normalmente hecho en secuencia, es un ejemplo de la aplicación de la técnica de compresión del cronograma llamada seguimiento rápido. [PMBOK, 2004].

3.2.3 Características de las fases de planeación

Algunas de las características más comunes que se presentan son:

- En cualquier proyecto por razones de tamaño, complejidad, nivel de riesgo y problemas de costo, las fases se pueden subdividir en sub fases. Cada sub fase se alinea con uno o más entregables específicos para el seguimiento y control. La mayoría de los entregables de estas sub fases están relacionados con una fase principal de los entregables: requisitos, diseño, construcción, pruebas, puesta en marcha, según el caso.
- Una fase del proyecto por lo general concluye con una revisión del trabajo y resultados concretos que determinan la aceptación, si aún es requerido trabajo adicional, o si la fase se debe considerar cerrada.
- Las fases contienen entregables que son el producto de trabajo medible y verificado, tales como las especificaciones, estudio de viabilidad, documentos de diseño detallado o un prototipo de trabajo. Algunos entregables pueden corresponder con el proceso de gestión de proyectos, mientras que otros son los productos finales o componentes de los productos finales para los que se concibió el proyecto.
- Los entregables, y por lo tanto las fases, son parte de un proceso secuencial diseñado para asegurar un adecuado control del proyecto y alcanzar el producto o servicio deseado, que es el objetivo del proyecto. La revisión de cómo avanza el proyecto a menudo se lleva a cabo para tomar la decisión de iniciar las actividades de la siguiente fase sin cerrar la fase actual, por ejemplo, cuando una compañía a través de la tecnología elige un ciclo de vida iterativo donde más de una fase del proyecto puede avanzar simultáneamente. Los requisitos para un módulo se pueden recopilar y analizar antes de que el módulo sea diseñado y construido. Mientras se está realizando el análisis de un módulo, los requisitos que se recolectan para otro módulo también podrían comenzar en paralelo. Del mismo modo, una fase se puede cerrar sin la decisión de iniciar otras fases, por ejemplo, el proyecto se ha completado o el riesgo se considera demasiado grande para continuar con el proyecto.
- La finalización formal de una fase no autoriza la siguiente fase. Para un control efectivo, cada fase se inicia formalmente para producir una salida de fase dependiente del grupo de procesos de iniciación, especificando lo que se permite y se espera para esa fase. La revisión final de una fase se llevará a cabo con los objetivos explícitos para obtener la autorización de cerrar la fase actual e iniciar la posterior. A veces ambas autorizaciones se pueden obtener en

una revisión. Los comentarios al final de una fase se les llaman salidas de fase, puertas de fase o puntos. [PMBOK, 2004].

- La definición y establecimiento de las fases que han de desarrollarse, el orden lógico de las mismas y la planificación del tipo, tiempo, costo y cantidad de recursos a utilizar en cada momento precisan un conocimiento profundo de las tecnologías disponibles a implementar en el proyecto, a la vez de la experiencia necesaria. También es necesario prever y planear planes de contingencia para superar las dificultades que se puedan presentar en el desarrollo de actividades.
- Cada fase se constituye por tareas que pueden compartir un periodo temporal determinando el ciclo de vida del proyecto. Todo ello se hace entre otros motivos a fin de planificar de una manera más estructurada el desarrollo y la ejecución del mismo, así como optimizar los recursos (humanos, económicos, materiales ó de equipos).
- Cada fase tiene asociadas un conjunto de elementos fácilmente reconocibles externamente, como los procesos o datos de entrada (resultados de la fase anterior, documentos o productos requeridos para la fase, experiencias de proyectos anteriores), el conjunto de actividades que las componen y con las que se encuentran asociadas, conforman la estructura interna de cada fase, los procesos o resultados de salida (resultados a utilizar por la fase posterior, experiencia acumulada, pruebas o resultados efectuados). [Cantabria, 2013]
- En el desarrollo de los ciclos de vida de los proyectos se establecen una serie de resultados intermedios, de cada una de las fases, que además sirven como puntos de control para poder realizar una evaluación de la evolución de proyecto, que suelen recibir el nombre de hitos

Los entregables y los hitos son los resultados intermedios, directamente evaluables, que permiten realizar un seguimiento directo sobre la evolución del proyecto. Un hito consiste simplemente en una tarea que se utiliza para identificar eventos significativos en la programación, como puede ser la finalización de una fase principal. Los hitos, son los momentos en los cuales se producen estas entregas, y por tanto tienen una denotación claramente temporal. Los hitos permiten evaluar la marcha del proyecto por medio de la comprobación de los compromisos cumplidos con respecto al plan inicial, a la vez que permiten facilitar las labores de gestión y control, estimar posibles retrasos en la evolución del proyecto. Por tanto, cada una de estas evaluaciones funciona como herramienta fundamental para la toma de decisiones a lo largo del desarrollo del proyecto. [Cantabria, 2013]

3.2.4 Planificación de la ingeniería para una instalación industrial

El proceso de preparación de todo proyecto comienza con un planteamiento muy general, de forma que solo se plantean las líneas de acción que definen partes fundamentales del proyecto, a partir de las cuales se van definiendo y completando hasta obtener una solución lo suficientemente detallada. En la Figura 3.5 se muestra un diagrama que permite visualizar cada fase que normalmente aplicaría en un proyecto de ingeniería:

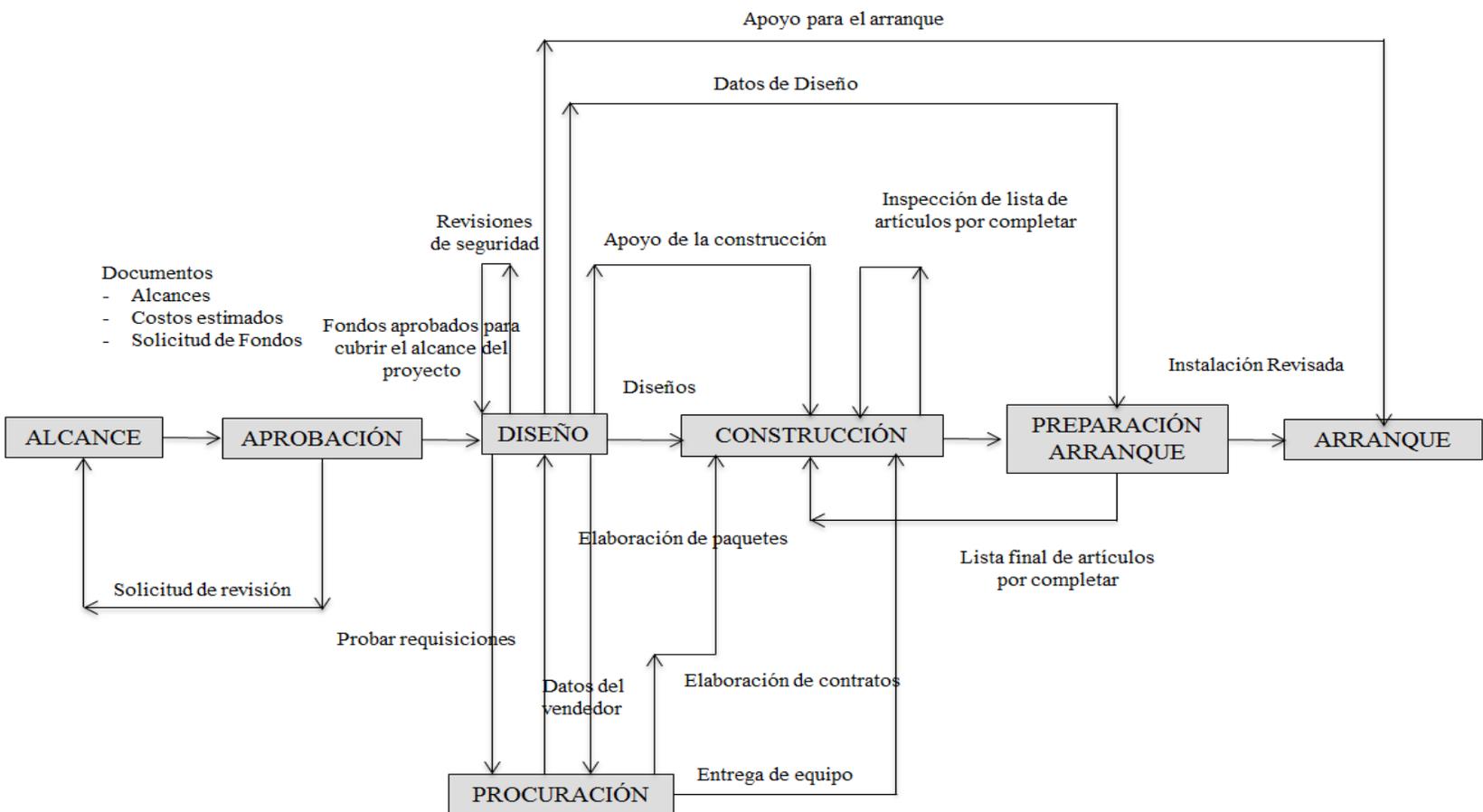


Figura 3.5 Diagrama de Planificación: Fases en el desarrollo de la ingeniería en un proyecto.

Cada etapa es fundamental en el desarrollo de un proyecto, ya que cada una contiene actividades que se relacionan con las tareas de otras etapas permitiendo el inicio y fin de dichas actividades.

A continuación se describe brevemente en que consiste cada etapa o fase del proyecto y los trabajos que forman parte en cada etapa, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 3.5.

ALCANCE

El alcance del proyecto, significa establecer por escrito lo que es y lo que no es parte de un proyecto; es decir, todo el trabajo que se tiene que realizar con el fin de que el cliente quede satisfecho con las entregas (el producto o los artículos tangibles a proporcionarle) cumplan con los requisitos o criterios de aceptación acordados al inicio del proyecto.

El alcance establece que es lo que se contrató con el cliente, que elementos contendrá la nueva planta o instalación. Así como todos los servicios que debemos realizar para diseñar, procurar, construir, comisionar, arrancar y entregar la planta funcionando al cliente, garantizando su operación eficaz y eficiente.

Para la definición del alcance del proyecto de una planta industrial, el “cliente” debe proveer al “contratista”, toda la información concerniente a los requisitos, exigencias, restricciones y preferencias del cliente para realizar el proyecto. El contratista debe ser responsable de hacer llegar la información a las diferentes disciplinas para que conjuntamente o individualmente elaboren el alcance oficial del proyecto de manera clara, adecuada y completa, a fin de ser aprobado por el cliente; y de esta forma salvaguardar tanto los intereses del cliente como del contratista, en todas las decisiones ingenieriles y obligaciones contractuales. [Granados, 2006]

En el alcance también se definen los objetivos, el ingeniero de proyecto establece la base tecnológica adecuada, que permita llevar a cabo la concepción de los objetivos. Aquí es donde el ingeniero de proyecto se pregunta si existe una tecnología desarrollada, si existe Know-How o patente establecida o si el proyecto se desarrollara a partir de experimentación y a qué nivel, ya sea de laboratorio, planta piloto, usos de simulación o de alguna tecnología específica o bien tendrá que recurrir a alguna otra empresa que le suministre ese servicio para contar con los elementos suficientes para el diseño. El ingeniero de proyecto además de requerir conocimientos de ingeniería química, demanda conocimientos suficientes de otros campos de ingeniería, administración y economía para coordinar las actividades de todas ellas.

El objetivo u objetivos del proyecto, es el concepto que se necesita tener muy claro desde que surge la necesidad del cliente, ya que depende de la claridad de los objetivos, el buen planteamiento que se haga del proyecto. Del buen entendimiento que se tenga de los objetivos, será el mejor aprovechamiento de los recursos tanto materiales como humanos, ya que precisamente el establecimiento de objetivos claros permitirá que el esfuerzo del grupo de proyecto pueda obtener en forma efectiva los resultados deseados. Estos objetivos deben ser claros no solamente para el ingeniero de proyectos, sino para todos y cada uno de los integrantes del proyecto. Lo que permite reducir tiempo y costo.

La definición del alcance es la pauta de la coordinación de las actividades ya que en definición debe quedar delineada la administración global del proyecto (planeación, organización, dirección, control y seguimiento) para lograr el alcance establecido, que se verá reflejado en tiempo, calidad y costo del proyecto. Cuando hay una pobre definición del alcance es de esperar, que el costo del proyecto aumente, debido a los inevitables cambios, los cuales interrumpen el ritmo del proyecto, trabajando más de una vez; incrementando el tiempo del proyecto, baja productividad y en la moral del personal. [Granados, 2006]. Hay que mencionar que lo más importante en esta fase es un análisis preliminar del riesgo y el impacto resultante en el tiempo, costo y requisitos del

desempeño, junto con el posible impacto en los recursos de la empresa. También incluye un "primer corte" en la viabilidad de la iniciativa. [Kerzner, 2001].

Lo que debe quedar claro es que el alcance del proyecto permite lo siguiente:

- El desarrollo de los proyectos inicia con una adecuada definición del alcance del proyecto, para cada disciplina de ingeniería
- La definición del alcance permite identificar de manera clara las instalaciones de la planta así como las actividades que se desarrollaran
- Permite establecer los límites de responsabilidad en el proyecto
- Permite elaborar el WBS (Work Breakdown Structure) del proyecto
- Permite identificar el tipo de especialidad involucrada en el desarrollo del proyecto
- Establece la base para la elaboración del programa para cada fase del proyecto
- Define el estimado H-H y entregables de cada disciplina
- Permite definir el costo asociado a las actividades del proyecto
- Permite definir el nivel de control de las actividades del proyecto

La forma más habitual de ver el trabajo de un proyecto se denomina triángulo del proyecto y está conformado por tres factores: tiempo, costo y alcance.



Figura 3.6 Panorama general de gestión de proyectos. Triángulo del Proyecto

Fuente: Kerzner, 2001.

Los factores tiempo, costo y alcance son factores clave que influyen en el éxito del proyecto que están relacionados con el cumplimiento de los objetivos ya que para poder decir que se han logrado los objetivos del proyecto completamente, se tiene que alcanzar una calidad final en los resultados, ajustados a un determinado coste, y en plazos de tiempo pre-establecidos. El incumplimiento de alguna de estas facetas provocará que el proyecto no se pueda considerar como exitoso íntegramente. Por regla general, tanto el coste como los plazos son fijados previamente al comienzo del proyecto (en proyectos a empresas externas, generalmente por contrato), y por tanto son los factores que más se pueden tener en cuenta a la hora de analizar una correcta gestión de todo

el proyecto. Los resultados sin embargo pueden estar sujetos a factores externos, o tecnológicos, por lo que no guardan una dependencia directa y total de la gestión.

La relación de estos tres elementos forman el triángulo del proyecto, cada elemento difiere de un proyecto a otro, y determina la clase de problemas que se encontraran y las soluciones que se pueden implementar.

Los proyectos a largo plazo, que consumen recursos de tiempo completo, generalmente se establecen como una división separada (si es lo suficientemente grande) o, simplemente, como una organización de línea. El tiempo, el costo y el rendimiento son las limitaciones del proyecto. El proyecto tiene una cuarta restricción: las buenas relaciones con los clientes. [Kerzner, 2001]

Los tres términos muestran una mutua interdependencia, de forma que habitualmente, cuanto más ambiciosos son los resultados, más grandes son los costos, y más largos los plazos de ejecución. Así pues, los tres objetivos tiempo, costo y alcance forman un sistema en el que la modificación de un aspecto afecta los restantes.

Los objetivos deben ser definidos desde el primer momento, identificándolos con la suficiente de claridad y precisión. Esta es la mayor garantía para evitar situaciones conflictivas y la única forma de poder controlar el proyecto de modo satisfactorio.

Podemos concluir que completar con éxito el proyecto significa cumplir con los objetivos dentro de las especificaciones técnicas, de costo y de plazo de terminación. [Cantabria, 2013]

APROBACIÓN

La aprobación del proyecto se determina por estudios y constantes evaluaciones, contemplando criterios que permiten establecer conclusiones. En función del campo, empresa u organización de que se trate es que se emplearán dichos criterios u otros que guarden relación con los objetivos estratégicos que se persigan en función de la naturaleza de cada proyecto.

Como parte de los trabajos en el desarrollo de aprobación se tiene los estudios de **factibilidad**, que permiten hacer análisis técnicos económicos del proyecto para lo cual hay que tomar en cuenta los costos de producción constituidos por todos los gastos, tanto por los fijos como los variables desde una inversión inicial, hasta los gastos de operación directos e indirectos, tomando en cuenta la utilidad esperada, ayuda a definir el tamaño o capacidad mínima de las nuevas instalaciones para que sean rentables , y permite en un momento dado establecer, como en cada etapa del ciclo de vida de un proyecto, cuando este se puede o debe cancelarse en un momento dado.

Uno de los documentos que forman parte de la etapa de aprobación son las **Bases de Diseño**, que establecen todas las características técnicas que definen los objetivos del proyecto, se generan en común por los especialistas que tendrán que intervenir en el desarrollo del proyecto. Hay que mencionar que la ingeniería básica delimita la ingeniería de detalle. Los requisitos del proyecto lo constituyen los requerimientos técnicos y recursos para la elaboración de las actividades que sirvan de base para elaborar el proyecto, estos pueden ser normas como API, ANSI, TEMA, ASTM, ASME, etc., información exclusiva del proyecto y recursos humanos para el desarrollo de actividades en el proyecto. La **planeación** del proyecto se da cuando una vez establecidas las necesidades del cliente y definido el objetivo del proyecto, se estructura todo el trabajo solicitado. (Una Red de Actividades). Cuando se hayan definido todos los objetivos del proyecto y decidido sus fases principales, se puede comenzar a crear un plan. Según el tipo de proyecto a desarrollar y el plan de ataque del mismo se desarrollara la ingeniería que necesite cada proyecto.

El **desarrollo del proyecto** tal y como su nombre lo establece, implica llevar a cabo todas las actividades técnicas por parte de las especialidades o departamentos para el logro de las metas fijadas por los objetivos del proyecto (sustentar todo, controlar, evaluar, construir, etc.). Para la **coordinación, evaluación y control del proyecto**, el ingeniero de proyecto se puede apoyar en

varias técnicas que le permitan mediante la recolección de datos e información que se generan de las actividades propias del proyecto llevar a cabo una evaluación, hacer el diagnóstico del avance y en base a eso tomar las acciones necesarias para seguir dirigiendo el cumplimiento de los objetivos de acuerdo a lo programado o en su defecto tomando medidas correctivas para cumplir con el programa.

Considerando lo anterior los sistemas de información juegan un papel importante para efectos de evaluación y control de las actividades. Una forma de mantenerse informado es la comunicación directa, así el ingeniero de proyecto mantiene una comunicación fluida con los Jefes de cada departamento que estén trabajando en el proyecto.

Todas las comunicaciones que para efecto de control se establecen en el desarrollo del proyecto, deberán siempre ser referidas al plan maestro trazado para el desarrollo de las actividades o al programa general del proyecto, debiendo aplicarse esto a todas las personas que trabajan para el proyecto y a las unidades organizacionales y funcionales afectadas.

DISEÑO

Dentro de lo que es el diseño se encuentra básicamente el desarrollo de la ingeniería en tres etapas.

La primera etapa en el desarrollo de la ingeniería, tomando como punto de partida la información disponible del proceso a utilizar y las bases de diseño correspondientes es la ingeniería conceptual.

Ingeniería Conceptual

Es la fase del desarrollo de un proyecto cuyo propósito es la evaluación y la selección de la(s) mejor(es) opción(es), y la generación de la información suficiente para elaborar un estimado de costos. La ingeniería conceptual sirve para identificar la viabilidad técnica y económica del proyecto y marcar la pauta para el desarrollo de la ingeniería básica y de detalle. Se basa en un estudio previo (estudio de factibilidad) y en la definición de los requerimientos del proyecto.

Después de que se ha planteado una necesidad. El desarrollo de la ingeniería conceptual, se enfoca en el proceso. En esta etapa se genera listado de variables ó aspectos preliminares de la Ingeniería Conceptual:

- Productos y capacidad de producción
- Descripción general de instalación
- Plan de ejecución, diagramas de bloques, distribución de áreas y personal, planos de áreas clasificadas, diagramas de procesos básicos
- Estimación de requerimientos de servicios auxiliares
- Diagrama de flujo del proceso
- Capacidad requerida del proyecto
- Descripción del proceso. Se explican las variables de entrada y los requerimientos del cliente a quien se le venderá el producto o servicio
- Normativa y regulación
- Ubicación y área aproximada
- Lista de equipos preliminares
- Costo de inversión con una aproximación +- 30% al menos
- Costo de operación y mantenimiento

- Previsión para ampliaciones futuras
- Factibilidad de disponer de insumos de materia prima
- Factibilidad de disponer de servicios municipales
- En arquitectura se elabora un anteproyecto con alternativas de diferentes arreglos arquitectónicos de instalación hidráulica, aire acondicionado, caseta de control, etc.

Durante el desarrollo de la Ingeniería Conceptual en conjunto con el cliente, se definen las bases y los lineamientos generales a considerar en las disciplinas de proceso, mecánico, civil, arquitectónico, eléctrico e instrumentación, seguridad, telecom.

También se fijan los objetivos deseados por el cliente, se establecen qué tipo de tecnologías aplican, se define el marco de normas técnicas que regularan los diseños, se establecen los criterios de evaluación económica y de cálculo de rentabilidad. Una vez definidos estos, se procede conciliar las bases o criterios de norma de las entidades financieras o crediticias con los establecidos por el cliente. Para el desarrollo de varias opciones de los diseños (llamados casos) y las evaluaciones de rentabilidad del proyecto o tasa de retorno, para cada caso. Con el fin de elegir la opción con la cual se procederá a desarrollar la siguiente fase o se define la cancelación del proyecto por baja rentabilidad.

Se inicia con un pre-diseño del proyecto plasmado en un documento, ya sea escrito o dibujado en un plano donde se muestra un arreglo general del mismo proyecto. Además de un cronograma de tiempo de ejecución.

Ingeniería Básica

Las decisiones tomadas en la fase de conceptualización constituyen el insumo de trabajo para continuar con el desarrollo del proyecto y ejecución. El propósito de esta fase es desarrollar a detalle el alcance y los planes de ejecución de la opción seleccionada.

La ingeniería básica consiste en la definición de los arreglos, diseños, especificaciones generales, balances de materia y energía, diagramas de tubería y equipos, entre otros, que se preparan con base en los conceptos de diseño y tecnología que se seleccionó durante la fase de ingeniería conceptual. Las especificaciones que se preparan para la cotización de equipos y definir los requerimientos de servicios y construcción o fabricación.

La documentación que forma parte de un paquete de ingeniería básica contiene como mínimo lo siguiente:

- Bases y criterios para el diseño
- Balances de masa y energía
- Diagramas de Flujo de Proceso (PFD)
- Descripción del Proceso y Filosofía de Operación
- Cálculos Eléctricos, Hidráulicos y Simulaciones
- Especificación de equipos e instrumentación
- Diagramas de Tubería e Instrumentación (P&ID'S)
- Lista de equipos, líneas, Tie-In⁸ e instrumentos
- Volumen de obra (tuberías, equipos, instrumentos)

⁸ Tie-in se define como el punto de intersección en el cual alguna nueva línea pasará a formar de una línea existente. Generalmente Tie-in se asocia al área del Piping, sin embargo se puede encontrar también en el área eléctrica.

- Lista de cargas eléctricas
- Diagramas Unifilares
- Estudios topográficos y de suelos
- Análisis de Riesgos y Operatividad (Hazop: Hazard and Operability⁹)
- Estimados de costos
- Requerimientos de servicios auxiliares
- Hojas de datos de equipo de proceso
- Hojas de datos de instrumentos

Es importante definir bien los alcances ya que puede resultar complicado delimitar la ingeniería básica. La información generada sirve como base para la ingeniería de detalle de todas las especialidades involucradas en el proyecto, comprende diversos documentos que conjuntamente con las normas y bases de diseño interpretan la filosofía operativa de la instalación; existiendo lógicamente algunas diferencias entre el caso de las obras industriales, aun cuando se trate de obras sociales o de infraestructura.

Parte de esta información puede ser elaborada con anticipación, y en forma condicionada, para efectos de recabar datos para la estimación de costos y el estudio de factibilidad del proyecto.

La elaboración de la ingeniería básica total se efectúa una vez que los resultados acumulados permiten asegurar la realización del proyecto.

Ingeniería de Detalle

Mientras que la ingeniería básica es el conjunto de información que da a conocer “como se va a elaborar un determinado producto”, la ingeniería de detalle es el conjunto de información que da a conocer “como se va a construir e instalar la planta”.

La ingeniería de detalle, se fundamenta en el diseño básico y en el esfuerzo de planificación del proyecto reflejado plan de acción del proyecto. No obstante, al iniciarse esta actividad, se debe realizar una revisión de la ingeniería básica, a fin de adecuar y actualizar el proyecto a posibles nuevas exigencias, redimensionamientos, cambios en el entorno, nuevas políticas oficiales (ambiente, entre otros). Los diseños que integran a la ingeniería de detalle son muy variados, por lo que es necesario que en su ejecución participen diferentes especialidades.

Las especialidades que participan varían de acuerdo al tipo de proyecto, pero las que están presentes en la mayoría de ellos son:

- Ingeniería de procesos
- Ingeniería eléctrica
- Ingeniería mecánica (dinámico/estático)
- Ingeniería de tuberías
- Ingeniería de instrumentos
- Ingeniería civil
- Arquitectura

Otras especialidades que participan ocasionalmente son:

- Topografía
- HVAC (heating, ventilating, and air conditioning)
- Telecomunicaciones

⁹ Para mayor referencia consultar el documento PEMEX, DG-SASIPA-SI-02741, “Guía para Realizar Análisis de Riesgos”, Rev. 3, 3 de marzo de 2011.

En la Tabla 3.1 se mencionan especialidades y algunas de sus funciones en el desarrollo de un proyecto de ingeniería.

Tabla 3.1 Los proyectos de la industria química son multidisciplinarios

Disciplina	Tareas o Productos
Proceso	Crear, completar y revisar diagramas de flujo de proceso (DFP), balance de materia y energía, diagramas de tubería e instrumentación (DTI), dimensionar, seleccionar y especificar equipo de proceso, hojas de datos, simulaciones de procesos, etc.
Civil	Curto de control, oficinas, talleres, bodegas, bardas, obras especilaes, cimentación de equipos, etc.
Estructural	Cimientos, áreas de contención, tuberías enterradas, apoyo y acceso a las estructuras. Edificios, accesos, obras especiales.
Arquitectura	Planta, elevación, acabados, instalación hidráulica y sanitaria, fachadas, especificación de pisos, techos, paredes, puertas, ventanas, baños, volumen de obra, etc. Cuartos de control, proceso de construcción, almacén, laboratorios, oficinas.
Mecánico	Aire acondicionado, distribución de equipo y localización, ductos, etc. especificaciones de bombas, compresores, turbinas, grúas, polipastos, etc. Volumen de obra, arreglos de equipo, diseño de recipientes y tanques (de acuerdo a los código API y ASME), especificaciones útiles del equipo, especificaciones de aislamiento, diseño de máquinas, ventilación de calor y aire acondicionado.
Tuberías	Especificación de tuberías, bridas, válvulas, conexiones, soldadura, pintura etc., isométricos, arreglo de tuberías de proceso y servicios, análisis de resistencia de las tuberías, volúmenes de obra.
Eléctrica	Unifilares, planos de C.C.M (centro de control de motores), distribución de fuerza, alumbrado y tierras, cedula de conductores, frente de tableros, clasificación de áreas, equipo eléctrico, motores, conduit, cable, transformadores, volumen de obra, etc.
Instrumentación y control	Típicos de instrumentos, cedula de conductores y tubería, plano de localización de instrumentos, lazos de control, especificación de instrumentos, tableros, válvulas de control, controladores, transmisores, sistema digital de monitoreo y control, sistema de paro de emergencia, volumen de obra, etc. Definición, especificación y selección del sistema de control, integración del sistema, graficas de la interface del operador, configuración del sistema, programación de los controles, regulación del circuito.
Seguridad	Red contra incendio, rutas de evacuación, localización de detectores, extintores, típicos de instalación, localización de equipos de seguridad, arquitectura de seguridad, etc. especificaciones de equipo de seguridad, detectores, extintores, bombas contra incendio, tableros de supervisión, letreros, alarmas, válvulas de diluvio, etc. volumen de obra.
Telecomunicaciones	Plano de rutas eléctricas, localización, equipo, cedula de conductores y tuberías, típicos de instalación, arquitectura de comunicación, arreglo de equipo, etc.
Compras	Equipo de compras, cotización, inspección de entregas, adquisición de equipo.
Administración de la Construcción	Servir como representante del cliente, coordinar contratistas, inspeccionar la construcción, revisar facturas, resolver los requerimientos para las órdenes de cambio.

PROCURA

El departamento de procura, vigila que las órdenes de compra de equipo y materiales al proveedor sean emitidas a tiempo, para cumplir con las fechas establecida de entrega.

La ingeniería de procura comprende la especificación del equipo y los materiales de las nuevas instalaciones, así como los trámites para su correspondiente adquisición. La generación de la documentación técnica se establece a partir de la información generada en la ingeniería básica y la ingeniería de detalle.

Dependiendo de la organización que tenga la empresa, esta actividad se lleva a cabo en su totalidad por un departamento especializado o bien de compra de materiales y los trámites de adquisición se llevan a cabo por otro departamento. El personal de procura debe vigilar a los diferentes proveedores de materiales y equipos, desde el pedido hasta que las mercancías son surtidas y entregadas con las condiciones y tiempos preestablecidos a esto se le llama expedición. De acuerdo a los requerimientos establecidos por el cliente, es necesario la inspección y prueba a los materiales y equipos que serán suministrados para el proyecto. Todas las inspecciones se programan y se categorizan según su grado de importancia tomando en cuenta aspectos como producto o servicio a inspeccionar y/o aprobar, criterios de aceptación y rechazo.

La entrega oportuna de información de los fabricantes es importante para la retroalimentación en la ingeniería de detalle, por lo que es importante vigilar el cumplimiento del programa general del proyecto en el desarrollo de la actividad de procura, para evitar retrasos en el desarrollo de la ingeniería de detalle, retrasos en la entrega del equipo y materiales durante la construcción.

CONSTRUCCIÓN

La implementación del proyecto, constituye la realización física del mismo, lo cual será posible a partir de los resultados e información con que se cuente de las etapas precedentes.

No se necesita terminar la ingeniería de detalle para empezar a construir, por ejemplo se puede empezar a trabajar sobre las cimentaciones que requerirán los equipos principales esto siempre y cuando lo realice la misma empresa.

La construcción se puede llevar a cabo, desde un determinado porcentaje de avance que se tenga del proyecto y que constituya la información necesaria para que el programa de construcción no se atrase o vaya a detenerse por falta de información aunque también puede presentarse el caso que por políticas del cliente, esta no se pueda llevarse a cabo inmediatamente incluso con el proyecto concluido.

De lo anterior se puede deducir que esta fase dentro del ciclo de vida del proyecto, puede ser una fase de traslape con la de desarrollo del proyecto, o bien una fase de continuidad dentro del ciclo de vida o con un tiempo muerto entre la terminación del desarrollo y el inicio de esta.

Dependiendo de las políticas del cliente, y la capacidad de la firma de ingeniería, la construcción la puede llevar a cabo el cliente con sus propios medios o contratar a una compañía constructora y solamente administrar la construcción.

La parte constructiva puede tener muchas variantes, en la mayoría de los casos se establece por contrato la supervisión y asistencia por parte de la firma de ingeniería durante la construcción, mediante un residente de campo, quien supervisará el cumplimiento por la entidad constructiva de

los requerimientos del diseño, para que así la firma de ingeniería pueda avalar la calidad y garantía de su diseño.

Durante las actividades de construcción, pruebas y ajuste involucradas, estas implican que pueden llevarse en forma secuencial o paralela y serán atendidas por parte del residente en campo o ingeniero residente.

ARRANQUE

Una vez establecidos los componentes de la planta a los que se les van hacer las pruebas (tanques o recipientes, tuberías, cuarto de control, alimentación eléctrica, etc.). El personal que normalmente interviene es personal del cliente tanto de la gerencia operativa, como personal dedicado a la limpieza y mantenimiento del equipo, procurando que el residente se cerciore durante las pruebas que el equipo, la tubería y demás componentes, han cumplido con las especificaciones de prueba establecidas por la firma de ingeniería.

Por lo regular el personal de la Gerencia Operativa que interviene en la calibración de equipos de medición y en pruebas previas al arranque de la planta es personal que se ha preparado con anticipación, familiarizándose con las nuevas instalaciones.

Las fallas que normalmente se presentan y hay que corregir son por mal funcionamiento del equipo, fugas en el equipo por fisuras en uniones, lo mismo en tuberías, defectos de fabricación, ingeniería y/o construcción.

Los errores constructivos se pueden evitar si el ingeniero residente y que este dentro de sus posibilidades da una solución avisando al ingeniero de proyecto la integración de los cambios en el paquete final del proyecto, o apoyarse a través de los especialistas correspondientes para hacer las modificaciones que apliquen.

En cuanto se tenga lista la planta en limpieza, pruebas de equipo, líneas y demás componentes la instalación se pasa al grupo de arranque, constituido por personal que operara la planta y que se familiarizó con anterioridad con el proceso y equipo mediante el manual de operación. El manual de operación es uno de los documentos que prepara la firma de ingeniería en donde se dan los lineamientos en cuanto al arranque, paro y condiciones especiales de operación que se deben tomar en cuenta para que la planta opere de acuerdo a las condiciones del diseño.

La garantía constituye el periodo mínimo de tiempo que se estableció en el contrato, para que después del arranque, la planta esté operando dentro de las condiciones de entrega en límites de batería y consumo pronosticados de los servicios auxiliares suministrados, reactivos químicos y catalizadores. El cliente enviara un informe en forma periódica a la firma de ingeniería, un reporte acerca de la operación de la planta, balances y todos los datos recabados en esos periodos.

En cuanto se cumpla la etapa de construcción y preparación del arranque de proyecto , el ingeniero de proyecto hace una junta con los jefes de cada departamento a fin de determinar si no quedan actividades pendientes de realización o bien en base al programa general del proyecto, el ingeniero de proyecto determina si no hay pendientes de desarrollo y comunica por escrito a cada jefe especialista de la terminación del proyecto en la fase de construcción y preparación de arranque, indicando que a partir de esa fecha ya no se le pueden hacer cargos de H-H al proyecto.

El ingeniero de proyecto hace una compilación de toda la documentación generada desde el inicio hasta la terminación del proyecto, generando un expediente que se conservara y selecciona la información original misma que se entrega al cliente junto con una carta de aceptación por parte del cliente denominado libro de proyecto o libro blanco del proyecto.

CAPÍTULO 4 ESTRATEGIAS PARA LA EJECUCIÓN DE LA INGENIERÍA DE PROYECTOS

En este capítulo se describe brevemente el desarrollo de la planeación de un proyecto y la estructura de desglose del trabajo (WBS, Work breakdown structure).

El primer paso en la planificación de un proyecto es examinar los alcances e identificar y analizar las tareas involucradas en el cumplimiento de los objetivos. Posteriormente definidas las tareas, estas se dividen a su vez en funciones y sub-tareas más pequeñas y manejables formando la WBS (Work Breakdown Structure). La WBS es una estructura jerárquica de varias funciones y tareas que ayuda en la creación del programa de actividades para el proyecto, la asignación de funciones y tareas a las distintas disciplinas, así como la gestión de estas.

4.1 ¿Qué es la Work Breakdown Structure (WBS)?

La WBS también conocida como Estructura de desglose del Trabajo (EDT) es una descomposición jerárquica y organización de actividades que deben realizarse para cumplir con los objetivos del proyecto (Figura 4.1). La organización y el nivel de detalle de las actividades facilitan la estimación de costos, asignación de trabajo, la administración continua y el control del proyecto. [Schwalbe, 2001].

Para lograr esto, las actividades del WBS deben cumplir con los siguientes criterios como se describe en la Tabla 4.1

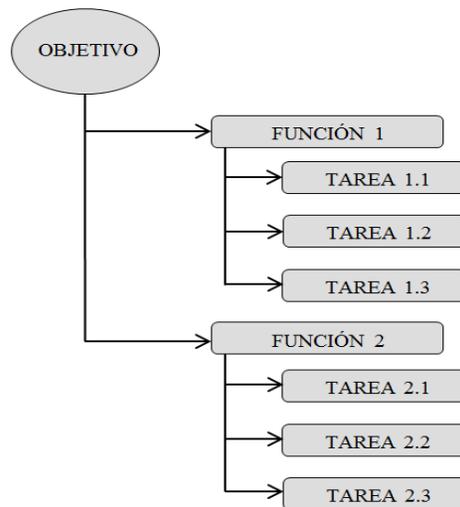


Figura 4.1 Work Breakdown Structure

Fuente: Schwalbe, 2001.

Tabla 4.1 Criterio y descripción de las tareas en la WBS.

Criterio	Descripción
Propósito individual e independiente	Cada actividad debe ser definida a un nivel de detalle tal que se pueda completar sin tener que coordinar activamente con el desempeño de otras actividades. A menudo hay muchas interdependencias entre las actividades del proyecto, pero estas se manejan mejor por el desglose del trabajo en subconjuntos semi-independientes.
Duración específica	Las actividades no deben ser indefinidas; de lo contrario, el trabajo se ampliará. La duración también establece una expectativa de calidad en la entrega.
Entregables claramente definidos	La actividad debe tener un entregable que este claramente entendido por las personas que van a realizar el trabajo. La entrega podría ser un diseño, especificaciones, documentos, pruebas, etc.
Familiaridad	El desarrollo de un proyecto implican la creación de algo nuevo, sin embargo, en general la mayoría ya ha sido hecho antes (tal vez no en del mismo modo que se requiere para el nuevo proyecto). La familiaridad de las tareas detalladas facilita la estimación y asignación de trabajo.

Fuente: Schwalbe, 2001.

4.1.1 Uso e importancia de la WBS

Los proyectos pueden tener fácilmente cientos de tareas, sin embargo, una simple lista de estas tareas sería difícil de administrar. La WBS es un medio para organizar las tareas para simplificar los trabajos de estimación, programación, coordinación, revisión y control.

Es importante mencionar que la WBS es un proceso de pensamiento, mediante el cual se pretende organizar el proyecto; en primera instancia, se requieren organizar las ideas de lo que se pretende hacer y las metas que se desean cumplir. Para iniciar un WBS, se tienen que definir las grandes áreas de trabajo en que puede ser dividido el proyecto, lo que constituirá los paquetes de trabajo a desarrollar para lograr la meta. Posteriormente, cada uno de esos paquetes de trabajo se debe dividir en otros más pequeños hasta lograr el desglose necesario. El nivel de desglose requerido por el proyecto, estará determinado en función de la complejidad y tamaño del proyecto. Se recomienda que los paquetes de trabajo, en cualquier nivel, sean independientes unos de otros y que se refleje un producto o servicio tangible, para poder medir los avances reales.

La WBS es una herramienta que ayuda en gran manera para hacer las cosas con orden de esta forma no sólo se tienen documentos aislados, sino una estructura sólida de documentación, con mayores probabilidades de proporcionar un valor agregado al proyecto [Múzquis, 2007].

Otros aspectos que se identifican en la WBS, son:

- Cronograma del proyecto
- Asignación de recursos
- Presupuesto detallado

La evaluación detallada de riesgos es a menudo impulsada por las tareas definidas en la WBS [Schwalbe, 2001].

4.1.2 Desarrollo de la WBS

Los siguientes pasos describen cómo se puede desarrollar la WBS:

1. A partir del alcance, se identifica el o los objetivo (s) del proyecto
2. Del alcance, se identifican los requisitos para cumplir el objetivo (s) del proyecto
3. Identificar las principales tareas para cumplir con los requerimientos. Para que el proyecto sea más manejable y para asegurarse de que se han incluido todas las tareas pertinentes, a menudo es útil incluir un nivel intermedio en la división. Organizar las tareas usando un grupo (s) o una combinación. En la Figura 4.2 se muestra un desglose parcial del objetivo, las funciones, los sistemas y las etapas
 - Sistemas (principales subsistemas de hardware y software)
 - Las etapas (etapas de desarrollo más importantes, como concepto, factibilidad, diseño, desarrollo, integración y prueba)
 - Organización (departamentos y ubicaciones)
4. Subdividir las principales tareas en tareas más pequeñas que reflejan cómo se cumplirá el trabajo
5. Construir un esquema jerárquico, creando tantos niveles como sea necesario con el fin de desglosar el trabajo en tareas manejables a un nivel de detalle suficiente para hacer lo siguiente:
 - Estimar y programar el trabajo
 - Asignar el trabajo a un individuo o grupo
 - Controlar y comunicar el progreso del trabajo

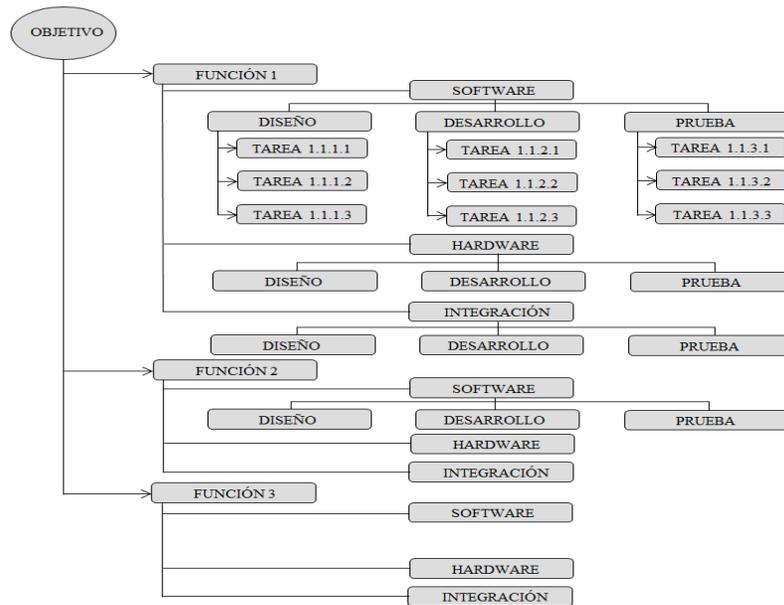


Figura 4.2 Desglose parcial del objetivo, las funciones, los sistemas y las etapas

Fuente: Schwalbe, 2001.

4.2 Planeación tradicional

La planificación tradicional es muy importante dentro de cualquier proyecto que se desea realizar ya que nos permite ordenar y organizar de una forma individual o grupal y esta se planea día con día.

El cronograma es la herramienta utilizada para ver la línea de tiempo del proyecto. A un nivel más detallado, también se identifican las fechas de inicio y fin de cada tarea en el proyecto, los hitos para logro de tareas principales, las dependencias entre tareas, la asignación y necesidad de recursos. Existen varios métodos de seguimiento para el programa del proyecto que incluyen un calendario, diagrama de Gantt y PERT. La ruta crítica se identifica como la serie de tareas que se deben alcanzar para que el proyecto se complete a tiempo. [Schwalbe, 2001].

4.2.1 Importancia de la programación

El programa de actividades a lo largo del proyecto asegurara que se termine a tiempo, se cumplan con los costos y requisitos de calidad.

Un programa se crea para hacer lo siguiente:

- Coordinar las tareas del proyecto con actividades de la organización que puedan influir en el desarrollo
- Coordinar las actividades de trabajo y dependencias dentro del proyecto
- Asignar los recursos a través del tiempo

El calendario define lo que se hace, pero para determinar si el programa es viable, se determinará quién hará qué y cuándo.

- Identificar posibles conflictos de programación y sobre la asignación de los recursos del proyecto

Como parte de determinar la viabilidad del programa, asegurar que los principales recursos (personas, equipos e instalaciones) estén disponibles cuando sea necesario. El tiempo para algunas actividades es fundamental para la finalización del proyecto, así como asegurar que se tengan los recursos que pueden apoyar el programa.

- Identificar los problemas potenciales antes de que ocurran

Los problemas potenciales que no se habrían notado sin establecer expectativas a través de la programación. [Schwalbe, 2001].

4.2.2 Componentes del programa

El programa se desarrolla utilizando las estimaciones de tiempo para cada actividad que proporciona cada especialidad. Un calendario o cronograma del proyecto debe incluir lo siguiente:

- Inicio previsto y fechas de finalización para las diversas actividades del proyecto
- Principales hitos y/o acontecimientos clave necesarios para ejecutar el proyecto (incluyendo informes relacionados tales como el informe de la situación del proyecto, pronóstico del presupuesto, variación del presupuesto y la asignación de recursos)
- Las dependencias y la secuencia de las actividades que deben seguir

4.2.3 Programación Visual

Hay varias aplicaciones de software para la gestión de proyectos. Dos de los gestores de proyectos más conocidos son Super Project y Microsoft Project sin embargo una herramienta muy

habitual para la gestión de proyectos es el software primavera, el cual parte de una filosofía de trabajo similar a la planteada en Super Project y Microsoft Project, aunque presenta una menor expansión ofrece opciones avanzadas.

Otras aplicaciones que permiten gestionar proyectos son, OpenProj, KMKey Project, ProjectTrack Personal, SmartWorks Project Planner, MyOffice, GanttPV, GestProject Basic, Coneix, Leading Projects, Filemaker, etc. Todos ellos son programas que se pueden localizar en internet y que plantean la posibilidad de gestionar proyectos de un modo sencillo y cómodo.

Para este trabajo se usó Microsoft Project, que permite visualizar las tres formas principales de representación gráfica para un proyecto, cada uno con sus fortalezas y debilidades en cuanto a la presentación de los componentes del proyecto.

Las tres formas de visualizar la representación de un proyecto son:

- **Calendario**

Las actividades se muestran en formato calendario, como se muestra en la Figura 4.3. Cada actividad de la WBS se puede visualizar a través de los días en que el trabajo se va a realizar, mostrando fechas de inicio y fin. El calendario también puede designar hitos (fechas claves). [Schwalbe, 2001].

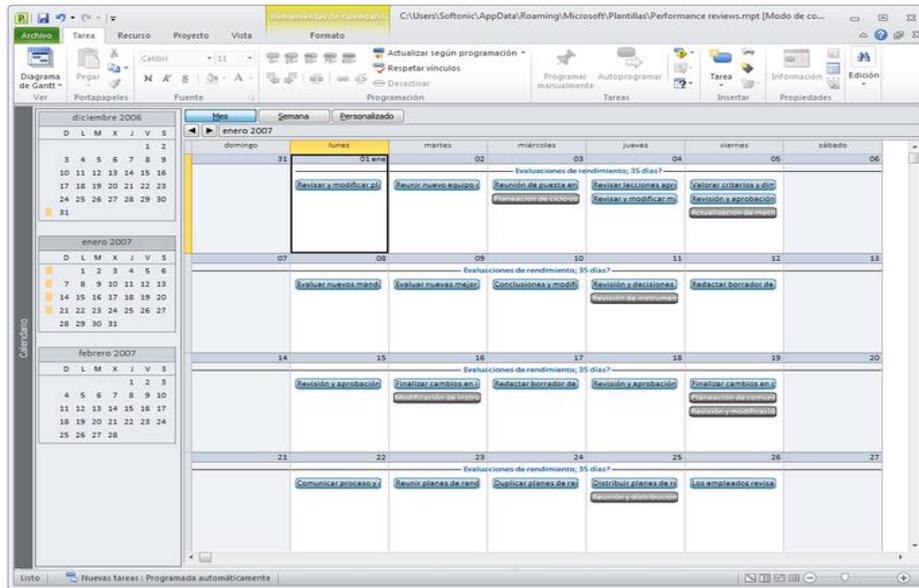


Figura 4.3 Calendario de actividades.

▪ **Diagrama de Gantt**

El diagrama de Gantt muestra las actividades como barras, con fechas en la parte superior de la tabla ver Figura 4.4. El porcentaje de avance a menudo se muestra en las barras. [Schwalbe, 2001]. El diagrama de Gantt puede presentar información similar a la mostrada en un calendario.

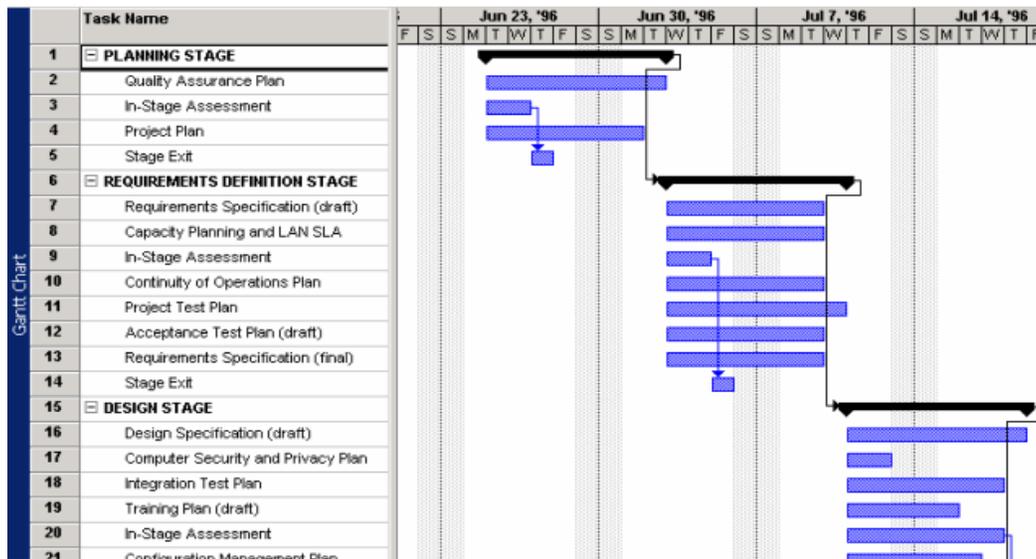


Figura 4.4 Diagrama de Gantt.

▪ **Diagrama PERT**

El diagrama de flechas es comúnmente usado en la evaluación del proyecto y revisión técnica/ método de la Ruta Crítica (PERT/CPM). En la figura 4.5 el diagrama muestra la relación de la actividad (o dependencias) mediante bloques y flechas.

Muestra interrelaciones, dependencias y sub actividades usando un diagrama precedente o diagrama de flujo.

Es común mostrar fechas de inicio y fin de bloque, y la cantidad de holgura. La holgura representa la cantidad de flexibilidad (de tiempo) que el proyecto tiene en la fecha de inicio de la actividad sin que ello afecte a la fecha de finalización del proyecto. [Schwalbe, 2001].

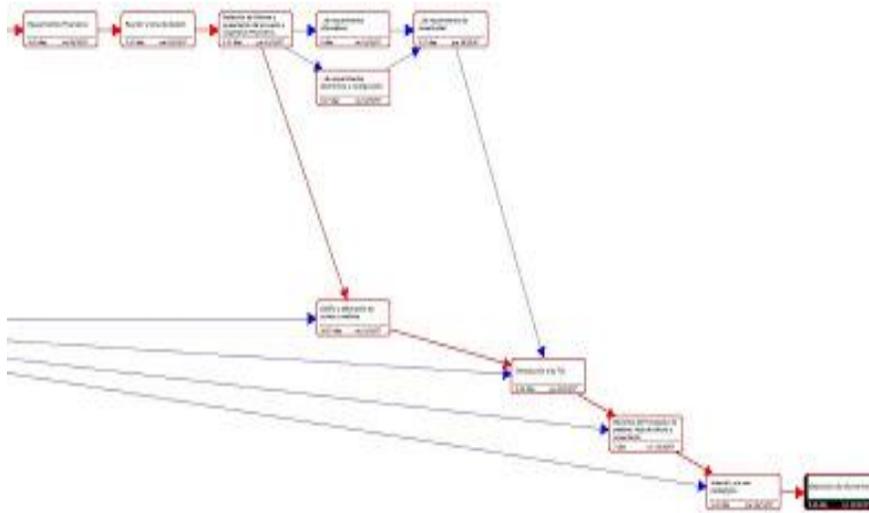


Figura 4.5 Diagrama de flechas

A continuación se presenta un resumen de la representación de un proyecto con sus ventajas y desventajas.

Tabla 4.2 Resumen comparativo de las representaciones gráficas.

Diagrama	Ventajas	Desventajas
Calendario	Visualización simple y formato comúnmente entendido	No muestra las dependencias entre tareas (lo que tiene que ser completado antes de que comience otra tarea) No muestra de forma concisa la relación entre tareas (en relación las fechas de inicio y fin y las actividades paralelas y serie)
Gantt	Muestra de manera concisa la relación entre las tareas programadas En un formato modificado, puede mostrar las dependencias entre tareas	Formato no tan familiar como el calendario Conjuntos complejos de dependencias entre tareas son difíciles de entender
PERT	Muestra las relaciones de dependencia complejas	Formato menos familiar para los usuarios que no están familiarizados con la gestión de proyectos Al mostrar las dependencias complejas, es difícil demostrar el tiempo relativo (separación de tareas en bloques no sigue una escala de tiempo constante)

Fuente: Schwalbe, 2001.

De las tres formas en las que puede ser representado un proyecto es más común o más usado es el diagrama de Gantt mostrando de manera conocida la relación entre las actividades y las dependencias entre ellas.

4.2.4 Ruta Crítica

La ruta crítica se define, en términos generales, como la secuencia de actividades que conduzca a la fecha de finalización en el menor tiempo posible. Si una actividad en la ruta crítica se ha completado con un día de retraso, la fecha de finalización se mueve por un día (a menos que las actividades posteriores de la ruta crítica se terminan antes de lo previsto).

¿Por qué es importante la ruta crítica?

La importancia de la ruta crítica parece evidente a partir de su definición. Si una tarea de la ruta crítica se retrasada, y amenaza con retrasar la finalización del proyecto. Las decisiones de equilibrio a menudo se hacen por tiempo, costo y calidad. En igualdad de condiciones, se prefiere no tener desfases. La prioridad del ingeniero de proyecto es identificar la ruta crítica con tiempo, un monitoreo cercano, crear planes de prevención y contingencia para evitar futuras demoras en el proyecto. [Schwalbe, 2001].

¿Cuándo no es importante la ruta crítica?

Los factores que hacen que la ruta crítica sea de menor importancia son el riesgo, costo y calidad. La definición tradicional de la ruta crítica sólo tiene en cuenta el tiempo de la actividad esperada.

¿Y qué pasa con el riesgo?

Las actividades con un alto riesgo asociado que se encuentran en o cerca de la ruta crítica son esenciales para la administración.

Sin embargo el riesgo, puede ser abordado como el desfase en tiempo, aumento de costos, o poca calidad. Entonces, ¿Porque, no hay una ruta crítica para el costo y la calidad? Los costos, calidad y tareas críticas pueden o no estar en la ruta crítica. El monitoreo directo del tiempo, costo, y las tareas relacionadas con la calidad son muy importantes para el éxito del proyecto [Schwalbe, 2001].

4.3 Planeación concurrente

La ingeniería concurrente es un área importante que se está desarrollando en la planeación y/o ejecución de proyectos de ingeniería.

4.3.1 Entendiendo a la ingeniería concurrente

Actualmente las empresas están bajo presión para entregar proyectos al mercado, con gran celeridad debido en parte al acortamiento en los ciclos de vida del proyecto. Para reducir el tiempo desde el concepto hasta la producción, requiere que el trabajo que normalmente se realiza en serie se lleve a cabo en paralelo. Este concepto se conoce como ingeniería concurrente o simultánea, donde la comercialización, la ingeniería y la producción trabajan juntos y al mismo tiempo, durante todo el ciclo de vida del proyecto [Kerzner, 2001].

El término ingeniería concurrente se ha venido usando desde 1986, cuando el Instituto para el Análisis de la Defensa de Estados Unidos lo describió en su reporte R-388.2. Hoy ésta es un área de investigación muy lucrativa pues la ingeniería concurrente mejora el enfoque secuencial de la producción tradicional mediante tres elementos principales:

- Una arquitectura computacional distribuida que permite la sincronización, la programación óptima de tareas y el manejo adecuado de flujos de información

- Una representación unificada de toda la información de diseño y manufactura, de forma que pueda visualizarse e interpretarse desde diversas perspectivas
- Un conjunto de herramientas computacionales que permiten desarrollar prototipos a bajo costo, de forma óptima e inteligente

En la Figura 4.6 Gestión de proyectos convencional se puede observar que si el trabajo se realiza en serie, el plazo sería de quince semanas, sin embargo, en la Figura 4.7 La ingeniería concurrente si el trabajo se lleva a cabo en paralelo, entonces puede ser posible completar el proyecto en nueve semanas, reduciendo el tiempo en un 40 por ciento [Kerzner, 2001].

Proyecto Convencional															
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Planificación de proyectos	■	■	■												
Diseño de ingeniería				■	■	■									
Lista de materiales							■	■							
Procura									■	■	■				
Producción												■	■	■	■
Enviar al cliente															■

Figura 4.6 Gestión de proyectos convencional.

Fuente: Kerzner, 2001

Ingeniería Concurrente															
Semanas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Planificación de proyectos	■	■	■												
Diseño de ingeniería		■	■	■											
Lista de materiales			■	■	■										
Procura				■	■	■									
Producción						■	■	■							
Enviar al cliente									■						

Figura 4.7 La ingeniería concurrente.

Fuente: Kerzner, 2001

Hay que considerar que la aplicación de la ingeniería concurrente produce riesgos adicionales. En la ingeniería concurrente (Figura 4.7), la fase de diseño comienza antes de que la fase de planificación se haya completado. La espera de que la fase de planificación se complete alarga el tiempo del proyecto. En la Figura 4.6 Gestión de proyectos convencional, sin embargo en caso de generarse cambios en la etapa de planificación, una vez iniciada la etapa de diseño provocara que se re trabaje parte de lo realizado, lo cual representa un riesgo potencial.

En la actualidad existe un amplio consenso en afirmar que la ingeniería concurrente (paralela o simultánea) es la forma más eficiente de hacer ingeniería en un entorno cada vez más competitivo.

La ingeniería concurrente permite también impactar favorablemente los costos totales del ciclo de vida del proyecto y aún más importante, constituye una ventaja competitiva al permitir

posicionar los productos en el mercado en un plazo menor de tiempo, siempre y cuando se evalúen, controlen y eviten los riesgos asociados.

La idea básica sobre la que se sustenta la ingeniería concurrente responde en cierto modo al sentido común, y consiste en iniciar todas las actividades del proyecto cuanto antes, haciendo participar desde el principio a todos los departamentos implicados (diseño, desarrollo, producción, marketing, construcción compras, etc.) así como a los proveedores. Sin embargo ello conlleva en la práctica una serie de nuevos problemas de organización, **que si no son debidamente resueltos pueden disminuir substancialmente su efectividad** [Kerzner, 2001].

4.3.2 Planeación concurrente empleando modelos tridimensionales

Las nuevas herramientas electrónicas permiten el desarrollo y aplicación de nuevas técnicas de trabajo en las que destaca la ingeniería concurrente.

La información generada por las diferentes especialidades involucradas en el proyecto se vacía a la base de datos del modelado electrónico de la planta, mediante el software 3D, dicho software proporciona características como especificaciones de tuberías, codos , diámetros etc., equipos, estructuras , que permiten crear y editar las tuberías, diagramas de instrumentación y conciliar los datos subyacentes al modelo 3D: isométricos, lista¹⁰ de equipos, lista de líneas, lista de instrumentos , lista de válvulas que son rápidos de generar y fáciles de compartir.

El software posee un catálogo de formas de equipos básicos de proceso que están prediseñadas, en el que solamente se deben introducir las dimensiones correspondientes al diámetro, altura, posición, grosor, distancia de boquilla de entrada y salida, etc. Entre los equipos que se encuentran cargados en el programa se tiene: ciclones, intercambiadores de calor, bombas, motores, agotadores, etc. Sin embargo no todos los equipos de la industria de proceso se encuentran dentro de la lista, por lo que hay que dibujarlos, ejemplos de estos son las centrifugas, bandas transportadoras, enfriadores con aire, etc.

La aplicación de la ingeniería concurrente reside principalmente en la etapa de diseño del proyecto, que involucra la ingeniería básica y detalle, dependiendo del alcance del proyecto.

La calidad de la información relacionada, emitida, registrada y generada hacia el modelo, así como su adecuado manejo (planificación organizada, dirección, ejecución y control), es un aspecto clave para el buen desarrollo del proyecto. La falta de información o información no válida, puede provocar errores en la toma de decisiones y lo más peligroso es que la propagación de una mala decisión conlleva a errores en cadena que pueden derivar en situaciones catastróficas.

La Tabla 4.4 muestra las ventajas significativas en el desarrollo de un proyecto para el cual se establece como requisito indispensable, la creación del modelo 3D de la planta, contra el esquema de proyecto convencional, es decir, donde no se usan los avances tecnológicos en sistemas de diseño asistido por computadora (CAD).

El uso de software para el diseño y modelado en 3D está orientado a todo tipo de industria química, las cuales necesitan desarrollar proyectos de ingeniería, a través de ellas mismas o de terceros [Abrajan, 2000]

¹⁰ Algunos especialistas nombran estos documentos como índice de líneas e índice de instrumentos.

Tabla 4.3 Esquema convencional y esquema con modelado 3D

Esquema convencional y concurrente	Esquema con modelo 3d
Diseño con software especializado. Las disciplinas de ingeniería diseñan aisladamente.	Diseño con software especializado. Las disciplinas de ingeniería diseñan en forma integral dentro de un mismo software con una plataforma común.
Los especialistas comparten los datos	Los sistemas unidos e integrados comparten datos. Los sistemas, se comunican y comparten información.
El diseño entre las disciplinas se lleva a cabo a través de procesos en serie y en paralelo	El diseño entre las disciplinas se lleva a cabo en forma concurrente: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intervención simultanea de todos los participantes del proyecto ▪ La propiedad es compartida ▪ Información concentrada para uso común ▪ Uso de los datos simultáneamente a lo largo del ciclo del proyecto
El error no se reduce significativamente Mayor posibilidad de error en campo Costos más elevados por reproceso de la información	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Disminución del error ▪ Incremento en el valor agregado denominado calidad en el proyecto
Mayor cantidad de horas-hombre aplicadas en diseño, revisión y corrección de la información recibida y generada	Mejor relación costo – beneficio para los proyectos, en corto, mediano y largo plazo debido a: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Incremento en la eficiencia ▪ Incremento en la eficacia ▪ Como ganancia secundaria, se acumula la experiencia tecnológica como capital intelectual de la organización
<p>No hay valor agregado para el cliente después de haber terminado la planta.</p> <p>La información de la ingeniería no puede asociarse electrónicamente debido a que no son creadas bases de datos.</p> <p>No son creadas las ligas lógicas entre los documentos derivados de la ingeniería básica y de detalle</p> <p>La planta se diseña con especialistas altamente capacitados pero que no necesariamente están integrados dentro de una misma tecnología</p>	<p>Valor agregado al cliente:</p> <p>Toda la información de la ingeniería esta electrónicamente relacionada por base de datos y podrá desplegarse visualmente desde el modelo 3D.</p> <p>Capacitación del personal del cliente , en el manejo de nueva tecnología</p> <p>Personal capacitado para otros proyectos</p> <p>Disponibilidad de la información de la planta en forma oportuna y confiable para futuras modificaciones. La planta se diseña con alta tecnología en software y equipo de computo</p> <p>Con especialistas capacitados que conocen el concepto y la aplicación de una tecnología integral que abarca las áreas de diseño, informática, administración de proyectos, proveedores, adquisición, construcción, arranque de plantas, operación, seguridad y mantenimiento.</p>

Fuente: Abrajan, 2000.

4.4 Normatividad

Este tipo de trabajos realizados con nuevas tecnologías se encuentran regulados por normas ISO 15926. A continuación se da una breve descripción de esta norma. Para mayor detalle consultar en el Anexo 1.

4.4.1 Antecedentes.

El intercambio de datos ha sido un problema durante el tiempo que los sistemas informáticos se han utilizado en la ingeniería. El dibujo y modelado en 3D se encontraban entre las primeras áreas en ser computarizados, y de inmediato hubo la necesidad de intercambiar información geometría de 2D y 3D entre los diferentes sistemas de CAD.

Con el fin de proporcionar un formato de archivo estándar para el intercambio de información geométrica, se desarrolló las IGES ANSI estándar (estándar inicial de intercambio gráfico) por las empresas Boeing, General Electric y NIST en 1979.

IGES tenía dos problemas:

- Limitación en información geométrica, al no ser compatible con la forma original del objeto (una bomba, un recipiente o un intercambiador de calor)
- No se separó la definición de la información del formato utilizado para su representación

Para hacer frente al problema de estandarizar, STEP (STandard for the Exchange of Product data), se inició en 1984. Esta norma pretendió abarcar una amplia gama de información incluyendo la ingeniería, el diseño de plantas de proceso y análisis de elementos finitos.

La primera versión de la norma ISO 10303 fue en 1994, y también estaba limitaba la geometría y la configuración de la estructura del producto. En el 2000, STEP demostró su superioridad a IGES y fue ampliamente utilizada, especialmente en la industria aeroespacial y automotriz.

La segunda versión de STEP en el 2000 abarcó el análisis de elementos finitos, diseño de placas con circuito impreso y la distribución espacial de las plantas de proceso. En estas áreas, STEP comenzó a tener aplicaciones industriales. En particular, la empresa Airbus está haciendo uso de la norma para el análisis de datos de elementos finitos.

4.4.2 Primeras normas de intercambio de datos para los procesos industriales

La posibilidad de usar STEP, para datos en la industria de proceso fue en 1990, y se formaron asociaciones en Europa, Estados Unidos y Japón para promover su uso.

Estados Unidos se centró en la información de plantas de proceso, y el consorcio US Plant STEP financió el desarrollo de ISO 10303¹¹ parte 227 "Configuración de la planta espacial", conocido como AP (Aplicación de Protocolo) 227.

Europa centro la información funcional de la planta de proceso y el consorcio europeo epístola financiado el desarrollo de AP 221 "Datos funcionales para la planta de proceso y su representación esquemática" en paralelo con la AP 227. Esta norma abarca esquemas como: P & ID (Diagramas de tubería e instrumentación) y PFD (Diagramas de Flujo de Proceso), y los datos de ingeniería que representan los esquemas.

¹¹ISO 10303 define las estructuras de los datos para el intercambio a diferentes tipos de información. La "Aplicación de protocolo" especifica un subconjunto de estas estructuras de datos para su aplicación industrial en particular. Un "Protocolo de Aplicación" también puede hacer más preciso el significado de algunas estructuras de datos genéricos.

Al trabajar sobre la AP 221 se encontraron dificultades técnicas debido a que el consorcio EPÍSTOLA exige una norma que registre cambios a lo largo de la vida de la planta de proceso. El objetivo de EPÍSTOLA es definir un estándar para una planta de proceso que almacene datos que puedan contener información sobre:

- Los requerimientos para una planta de proceso y los cambios en los requerimientos;
- El diseño para una planta de proceso, y los cambios en el diseño;
- Los objetos físicos que existen en una planta de proceso y cambios en estos objetos físicos

Este objetivo está fuera del alcance de STEP. Como resultado, ISO 15926 "Datos del ciclo de vida de una planta de proceso" fue desarrollado como un complemento para STEP, ambas STEP e ISO 15926 son producto del comité ISO TC184/SC4. AP 221 se mantiene, pero no tiene en cuenta la evolución de una planta de proceso con el tiempo.

4.4.3 ISO 15926

En resumen la ISO 15926 puede registrar información acerca de:

- Los objetos físicos que componen la planta de proceso;
- La forma en que las propiedades del objeto físico cambian sus vínculos;
- ISO 15926 se basa en los grupos y propiedades de la ISO 15926-4;
 - Grupos genéricos como una bomba, bomba centrífuga y bomba de desplazamiento positivo;
 - Propiedades genéricas como la presión de operación; temperatura de operación.

Estos grupos genéricos y las propiedades pueden estar particularizados dentro del repertorio estándar de la empresa o la industria.

CAPÍTULO 5 CASO DE ESTUDIO

Cumpliendo con el objetivo de evaluar en forma general las posibles estrategias en la ejecución de la ingeniería de un proyecto. En este capítulo se hace una comparación de la planificación de un proyecto que contempla la instalación de un reactor en una planta química existente, planteando el desarrollo de un plan de trabajo convencional, concurrente y un plan empleando modelos tridimensionales.

Cumpliendo con los objetivos particulares se hace una evaluación de los beneficios de los modelos electrónicos inteligentes y la comparación del desarrollo del proyecto por métodos convencionales, concurrentes y mediante el empleo de modelos tridimensionales.

La evaluación y comparación de las tres estrategias, permitió determinar la mejor, para realizar un proyecto que contempla la instalación de un reactor en una planta química existente.

5.1 Introducción

Los ingenieros de proceso, instrumentación, tuberías, eléctricos, etc. involucrados en el proyecto proporcionaran los servicios necesarios para obtener un estimado de ± 10 por ciento del costo para la instalación del reactor/mezclador de polímero (Figura 5.1)

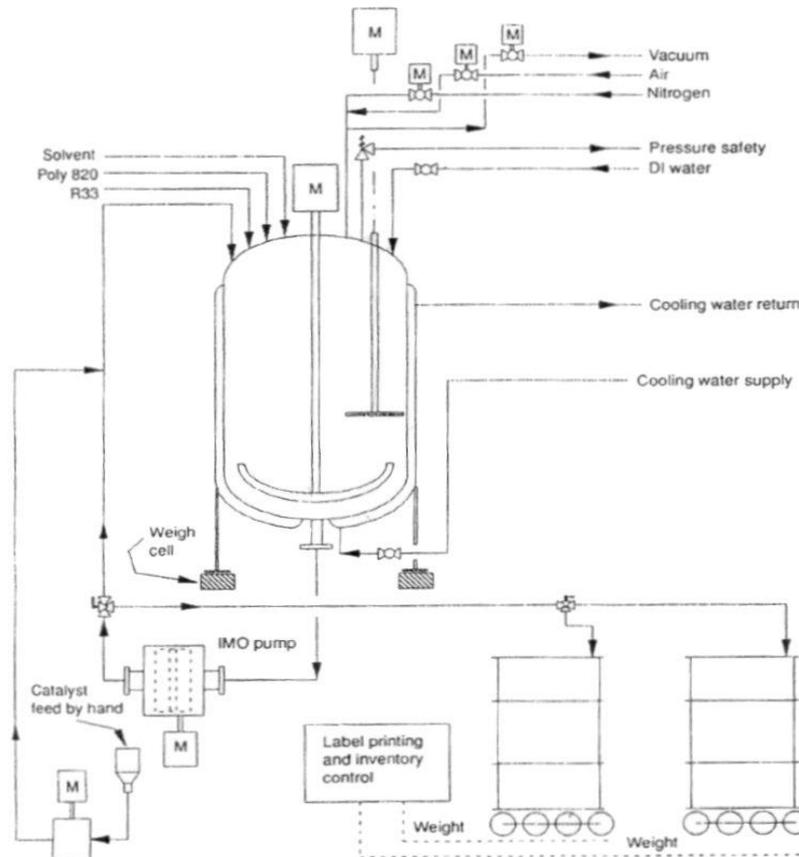


Figura 5.1 Diagrama de flujo

El sitio para la instalación es The Mix Chem Operation en 1133 St Andrews, Paducah, Kentucky. El reactor estará localizado junto al tanque existente T-17.

Descripción del proceso.

Un polioliol, recibido en carro tanques, será mezclado completamente con un monómero patentado, señalado como R33. Esto se hace en el tanque mezclador/reactor. Un agitador de ancla de giro lento más un dispersor de alta velocidad serán empleados para mezclar los líquidos. Una dosis de catalizador se agregará rápidamente para hacer que el R33 se combine rápidamente en algún punto de la cadena del polioliol, haciendo un nuevo producto.

La reacción es ligeramente exotérmica. El calor es eliminado a través de una refrigeración con agua que circula por la chaqueta del reactor.

El producto será pesado en tambores de 45 galones y en cubetas de 5 galones. El dispositivo de peso imprimirá una etiqueta de envío (con un código de barras) y transmitirá la información de producción a la computadora central de la planta.

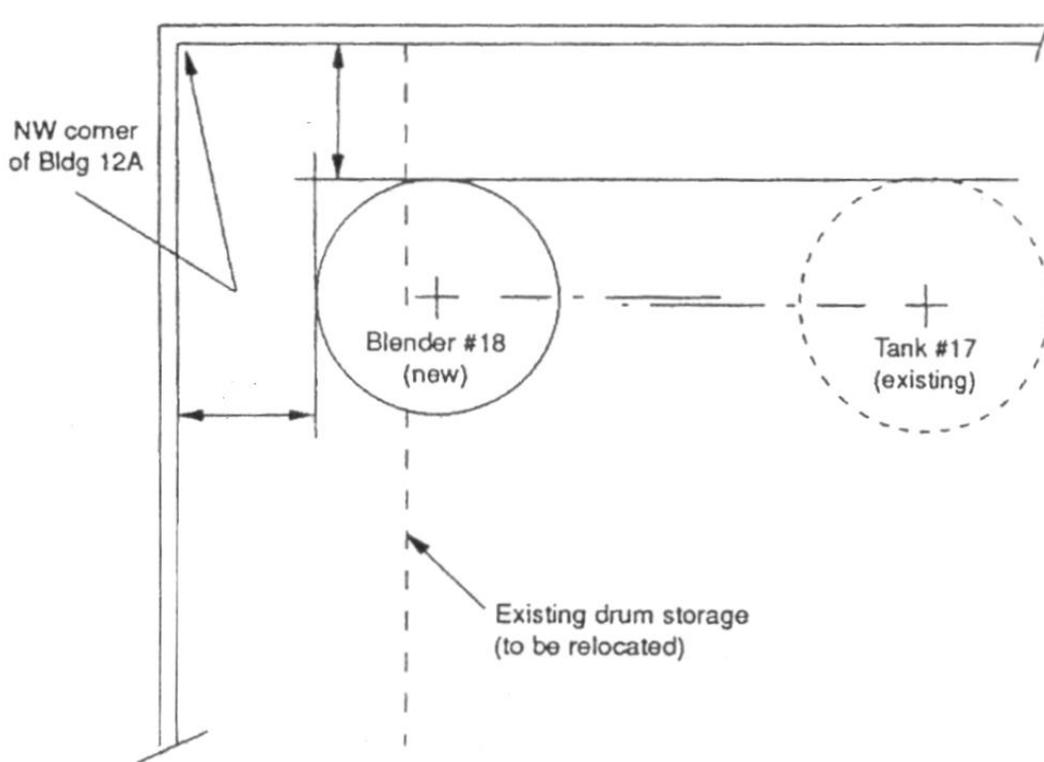


Figura 5.2 Nueva localización del reactor

5.1.1 Carta de aceptación de proyecto

A continuación se presenta la carta de propuesta del proyecto en donde se puede observar parte de los trabajos a realizar y el costo aproximado, además de las personas responsables en el desarrollo del proyecto.

Estimada Carla.

Gracias por invitarnos a presentar nuestra propuesta de servicios de ingeniería y otros hacia la estimación de costo del +/- 10 por ciento para un nuevo tanque mezclador en la planta Paducah.

En sección A adjunto se describen los servicios que se planea realizar. Estos servicios incluyen la elaboración de un DTI, especificaciones, bosquejo (sketches), derivaciones, consultas con proveedores, apoyo al medio ambiente, y la estimación de costos.

En la sección B se muestran los parámetros de diseño que se utilizarán en la ejecución de los trabajos descritos en la sección A. La Fig. A-1 es un diagrama de flujo que muestra la magnitud del proyecto propuesto. La Figura A-2 muestra la ubicación aproximada del tanque mezclador.

John Hardy, quien es bien conocido por ustedes, supervisará el trabajo, sin embargo, su participación se limitará a 10 horas por semana, ya que este proyecto es pequeño no requiere tiempo completo. Bajo la supervisión de John Hardy, Rubén Díaz estará trabajando tiempo completo, también conocido por ustedes.

Se proporcionaran los servicios bajo el contrato nacional existente entre Mix Chem y AJAX (con número de referencia es 79-801).

Estimamos que nuestra propuesta estará alrededor de \$ 62,000. Tenemos previsto enviar la estimación con un orden de 10% para su revisión en no más de 12 semanas después de que nos indiquen que podemos comenzar.

En espera de poder comenzar los trabajos.

Atentamente

William Byrd

5.1.2 Alcances del proyecto

El plan de ejecución tiene como propósito comunicar al equipo de trabajo ¿Qué vamos hacer y cómo?, establece las estrategias para ejecutar exitosamente el proyecto.

El desarrollo del programa general del proyecto incluye las actividades más significativas y sus interfases, e identifica las fechas clave o hitos que se deben cumplir, para lograr la ejecución oportuna del proyecto.

Sección A

Ingeniería de proceso.

El ingeniero de proceso preparará un balance de masa basado en los datos provistos por el dueño. El balance de masa incluirá indicaciones para el reprocesamiento de productos de baja calidad si existen. Un análisis detallado de los subproductos del reactor deberá acompañar el

balance de masa. También examinará los datos de calor de la reacción y hará un informe resumido de los suministros necesarios para el enfriamiento de la reacción, además de todo lo necesario para una operación segura.

El ingeniero de proceso preparará un diagrama de flujo del proceso (DFP) con el flujo de información. La información generada consiste (como mínimo):

- Distribución de flujos
- Flujos de diseño
- Composición de corrientes
- Temperaturas de diseño
- Presiones de diseño

El ingeniero de proceso preparará un DTI que muestre los diámetros de línea, número de línea, especificación de tubería y tipo de fluido, también dará la especificación del material aislante para el equipo y la tubería si es requerido. El ingeniero de proceso trabajará con ingenieros y diseñadores de otras disciplinas en la preparación de sus documentos y volúmenes de obra. Proceso desarrollara las especificaciones y cotizaciones de:

- Tres bombas IMO
- Agitador (50hp)
- Dispersor (50hp)
- Bomba de circulación
- Sistema de pesado del tanque (incluyendo control de proceso por lotes)

El ingeniero de proceso trabajara con el ingeniero de instrumentos para proporcionar un dispositivo de seguridad de presión adecuada (tal vez un disco de ruptura y una válvula de seguridad de cierre automático). Dispositivos de seguridad anteriores en este sitio se han basado en un cierre con el recipiente parcialmente lleno de disolvente considerando la entrada de energía por fuego. Este recipiente debe ser revisado independientemente de las prácticas de seguridad anteriores.

El ingeniero de proceso revisara (o supervisara la revisión) el dispersor desde el punto de vista de (1) el tamaño del lote frente al tiempo de mezcla, (2) transferencia de calor y (3) si el antiguo tanque (1957) puede adaptarse al nuevo agitador.

Ingeniería Eléctrica

El ingeniero eléctrico preparará lo siguiente:

- Un diagrama unifilar
- La especificación eléctrica general
- La especificación de motor eléctrico
- La especificación para un centro de control del motor
- Un estimado del volumen de obra eléctrico

Ingeniería de Instrumentos

El ingeniero de instrumentos trabajara con el ingeniero de proceso para establecer los controles necesarios y representarlos en el DTI de acuerdo a la simbología de la ISA. El ingeniero

de instrumentos preparara un índice de instrumentos con sus respectivos TAG's (claves de los instrumentos).

El ingeniero de instrumentos definirá la relación entre el sistema de pesado, la impresión de etiquetas, y el control de inventario.

Para la estimación de costos se obtienen cotizaciones para los tableros y el sistema de pesado. Los precios aproximados de proyectos anteriores se utilizan para estimar el balance de los instrumentos.

Diseño de tuberías

El diseñador de tuberías hará un arreglo general de equipos y del área de trabajo. El diseñador proporcionara el volumen de obra de tuberías así como un plano con la siguiente escala: $\frac{1}{4}$ in = 1 ft. El diseñador de tuberías también revisará las especificaciones de tubería para la mezcla química y emitirá una copia revisada de acuerdo a los requerimientos de este trabajo.

Ingeniería estructural

El ingeniero estructural proporcionará un croquis tamaño de carta (8 $\frac{1}{2}$ " x 11") para la cimentación del tanque, un diagrama de 8 $\frac{1}{2}$ "x 11" para los soportes típicos de la tubería, un volumen de obra de acero y concreto. Una plataforma de 3 x 3 ft deberá ser incluida, montada sobre el tanque, para el acceso al agitador y el dispositivo de seguridad de presión. La plataforma será apoyada desde el tanque.

Ingeniería mecánica

El ingeniero mecánico agregara una nueva boquilla al techo del tanque para colocar el dispersor de alta velocidad. Algunas boquillas existentes pueden requerir una reubicación. El ingeniero mecánico definirá los pasos necesarios para una nueva certificación del tanque de acuerdo a la sección VIII del código ASME. Los costos asociados con la certificación deberán incluirse en la estimación del costo total.

Grupo CADD¹²

El DFP, el DTI y el diagrama unifilar se harán en tamaño D (24" x 36") por diseño asistido por computadora.

Grupo de estimación de costos

El estimador empleará los volúmenes de obra que proporcionaran los ingenieros y diseñadores de cada disciplina y de acuerdo a precios unitarios y costo de mano de obra, preparará un estimado de costo.

Grupo ambiental

El consultor ambiental deberá revisar las medidas de contención secundarias, permisos de operación, y el plan de gestión de materiales peligrosos. Las conclusiones se redactarán en una nota breve dirigida al ingeniero del proyecto.

Grupos de programación

El programa será elaborado junto con él jefe del proyecto para obtener un programa del proyecto que permita completar el diseño. También se requiere una programación diferente para la fase de construcción.

¹²Las herramientas CAD o CADD (diseño y dibujo asistido por computadora) permiten hacer uso de las tecnologías informáticas para el diseño y la documentación sobre diseño. El software de diseño reemplaza los dibujos a mano con procesos automatizados.

Gestión de proyectos

En este caso el ingeniero de proyecto de tiempo completo no será necesario debido por la magnitud del proyecto sin embargo el ingeniero de proyecto dará seguimiento del trabajo y supervisará asistiendo a las reuniones de trabajo entre AJAX y MIX CHEM, monitoreará costos, el calendario y emitirá un informe mensual por escrito a MIX CHEM.

Requerimientos de Servicios

Las necesidades de servicios se han revisado dando lo siguiente resultados:

Teléfono	Si
Dirección pública	No
Baños	No
Comedores	No
Aparcamiento	No
Laboratorio o taller	No
Muebles	Si

Instalaciones y estructuras

Tipos de construcción: no aplica

Piso o plataforma de carga viva: 75 lb/ft² para plataforma de tanque

Ocupación: por determinar

Lugar de trabajo

Necesidades para el trabajo de sitio dando los siguientes resultados:

Levantamiento: no

Informe de suelo: usar el existente

Preparación del terreno y demolición: trazo de cierra, remover, hacer espacio para la cimentación del nuevo tanque

Carreteras, ferrocarriles: no

Drenaje: no

Contención: ningún cambio de lo actual

Otros requisitos

Necesidades de requisitos adicionales se han revisado dando los siguientes resultados:

Aspersores e hidrantes: Si

Duchas de seguridad y lavajos: Si

Baños: Si

Fuentes de agua: Si

Postes y barreras de protección: ver alcance estructural

Acceso a discapacitados: Si

5.2 Desarrollo del caso de estudio

El plan de trabajo se realizó partiendo de lo descrito en la carta de aceptación y los alcances establecidos por el cliente en el documento llamado “Sección A” así como en la “Sección B” que puede consultarse en el Anexo 2.

Para el desarrollo del programa de este trabajo se empleó el software Microsoft Project 2010. Las tareas se subdividieron de acuerdo a las disciplinas involucradas que son: proceso, instrumentación, tuberías, eléctrica, mecánica, estructural, costos y ambiental. Posteriormente para cada disciplina se desglosaron las diferentes actividades o entregables indicados en el alcance del proyecto de acuerdo a las siguientes consideraciones:

- Las actividades se analizaron una a una para determinar sus predecesora(s), sucesora(s) y su relación con otras tareas.
- Cada actividad está ligada a otra activada permitiendo ver un esquema visual de seguimiento. Ninguna actividad en el programa deberá estar aislada.
- Los nombres y duración de las actividades se establecieron de acuerdo a la experiencia y establecido por el proyecto.

La ingeniería propuesta incluye ingeniería básica y de detalle, para poder cubrir los elementos nuevos y la adecuación de los existentes.

A continuación se procede a desarrollar el plan de trabajo en tres variantes; planeación convencional, planeación concurrente y una planeación con modelado en 3D de acuerdo a lo mencionado en los capítulos III y IV.

5.2.1 Planeación convencional aplicada al caso de estudio

El programa de actividades contiene un total de 66 tareas que fueron analizadas. Las consideraciones para la elaboración de este programa se tomaron de lo mencionado en punto 4.2 del capítulo IV. En esta planeación la relación entre actividades sigue una secuencia de inicio y fin es decir donde ninguna actividad puede iniciar sin que su predecesora haya terminado.

El programa del proyecto en un esquema tradicional de ejecución y se puede visualizar en el Anexo 3.

5.2.2 Planeación concurrente aplicada al caso de estudio

Para la planeación concurrente se tomó de base la planeación convencional y su secuencia de actividades con las mismas 66 tareas. Partiendo de esto se procedió a aplicar el concepto de ingeniería concurrente, mencionado en el punto 4.3 del capítulo IV. En este programa cada actividad comienza o finaliza a la par de otra por un desfase de días de inicio o fin lo que permite llevar algunas actividades en paralelo. Para este tipo de análisis se requiere de experiencia acerca de la información contenida en cada documento pues a partir de esto es posible definir qué actividad puede iniciar con anticipación antes de que la predecesora termine.

El programa de trabajo del proyecto para un esquema concurrente de ejecución se puede visualizar en el Anexo 3.

5.2.3 Planeación considerando el empleo de modelos tridimensionales

Para la planeación con modelos tridimensionales se tomó de base la planeación concurrente y su secuencia de actividades. El desarrollo del programa de actividades con maquetas electrónicas introduce una nueva actividad en las disciplinas de proceso, instrumentación, tuberías, eléctrica, mecánica y estructural al programa llamada modelado en 3D por lo que el número total de tareas aumento a 72.

La secuencia de actividades es la misma que la concurrente sin embargo para algunas actividades el tiempo de elaboración cambio debido a la introducción del modelado en 3D que permite tener una base de datos de donde es posible extraer la información requerida para elaborar algunos documentos como: lista de equipo, lista de instrumentos, los volúmenes de obra, isométricos, arreglos de tubería, hojas de datos, planos, cortes y detalles y lista de materiales.

Para este programa de actividades se consideró que existe una configuración en el software 3D que contiene los formatos de los entregables así como la base de datos con las especificaciones de tuberías y materiales para equipos. La falta de esta configuración extendería el tiempo de elaboración de los documentos pues se requiere de un tiempo de programación adicional.

Para este proyecto en particular no se requirió de la actividad de levantamiento en campo y recopilación de información, sin embargo para proyectos nuevos o aquellos que requieren modificaciones en instalaciones existentes además de fotografías e información técnica proporcionada por el cliente es de ayuda un levantamiento en 3D. Se puede leer más acerca de este tema en la norma NRF-269-PEMEX-2013.

El programa de trabajo del proyecto en un esquema concurrente empleando maquetas electrónicas puede visualizarse en el Anexo 3.

5.2.4 Análisis de costos general

Con el fin de ofrecer un valor agregado a este trabajo, se realizó un análisis de costos muy general, con el fin de determinar cuál de los tres diferentes programas de ejecución para el caso de estudio es económicamente más viable para realizar el proyecto.

Para el análisis se consideró lo siguiente:

- A todas las tareas del programa se les asignó un número determinado de horas por actividad
- Se designó un costo Hora-Hombre de \$ 500 pesos (costo directo)
- Además de los especialistas involucrados en el programa se añadieron los costos por: personal administrativo, oficinas, servicios y papelería (costo indirecto)
- Un 10% más en costo por contingencias
- Se estima que el salario de los especialistas de modelado es un 30% mayor que el resto de los especialistas.

Los resultados de dicho análisis de costos general por programa se pueden observar en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1 Resultados del análisis de costos

Parámetros	Costos por tipo de programa		
	Convencional	Concurrente	Concurrente + 3D
Días hábiles	47	38	36
Horas	1323	1323	1482
Costo por hora	500 pesos/horas	500 pesos/horas	500 pesos/horas
Costo Total (pesos)	\$ 661,500	\$ 661,500	\$ 741,000
Costo de ejecución ¹³	\$514,225	\$489,500	\$542,850

5.2.5 Discusión de resultados

En la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas para el caso de estudio de acuerdo a los resultados.

Tabla 5.2 Ventajas y Desventajas de los programas de ejecución

Programa de ejecución	Ventajas	Desventajas
Convencional	<p>El flujo de información y calidad los documentos es congruente en datos técnicos y presentación.</p> <p>Se garantiza una ingeniería congruente que permite la conclusión del trabajo en 47 días.</p> <p>El proyecto se realiza con tiempo y a un precio considerable.</p>	<p>La administración de la información se encarga de resguardar los archivos y datos cuya publicación, revisión y acceso es regulada por mecanismos de control y seguridad, como puede ser cuentas de acceso con privilegios para cada tipo de usuario.</p> <p>De no terminar a tiempo el proyecto las ganancias obtenidas se verían afectadas debido a consumo de recursos (personal, equipos, papelería, oficinas, etc.). Además multas por incumplimiento de contrato.</p>
Concurrente	<p>La aplicación de la ingeniería concurrente reside principalmente en la etapa de diseño del proyecto, en el que se compagina el diagrama de flujo de proceso, el diseño de los equipos, hojas de datos y demás documentos permitiendo un flujo de información y corrección de datos a tiempo.</p>	<p>De no compartir la información oportunamente trae grandes riesgos económicos, de tiempo y recursos en el desarrollo congruente de la ingeniería.</p> <p>De no tener una ingeniería congruente involucra una revisión y re trabajo por personal involucrado además del consumo de recursos (personal, equipo,</p>

¹³ Costo de ejecución considera personal, servicios, equipo y contingencias.

Programa de ejecución	Ventajas	Desventajas
	<p>Se redujo el tiempo de elaboración de 47 días a 38 días.</p> <p>Al realizar el proyecto con ingeniería concurrente permite una reducción de 9 días hábiles, este tiempo ahorrado se podría considerar como la holgura del proyecto que aunado a esto se puede obtener una ganancia mayor, terminar en tiempo y ahorro en recursos (personal, renta de equipos, papelería, oficinas etc.).</p>	<p>papelería, oficinas, etc.). Además de multas por incumplimiento de contrato.</p>
Modelado 3D	<p>El modelado en 3D permite que la información se comparta de forma casi instantánea después de cargar al modelo.</p> <p>Se redujo el tiempo de elaboración del proyecto de 47 días a 36 días hábiles.</p> <p>Al realizar el proyecto con modelado 3D permite una reducción de 11 días hábiles, este tiempo ahorrado se podría considerar como la holgura del proyecto que aunado a esto se pueden obtener una ganancia mayor, terminar en tiempo y ahorro en recursos (personal, renta de equipos, papelería, oficinas etc.).</p>	<p>Se tiene la limitante del personal capacitado y de equipos de cómputo de mayor capacidad.</p> <p>De no contar con los formatos cargados al modelo se requiere de más horas de modelado lo que afecta directamente el tiempo de elaboración del proyecto y su costo.</p>

Se puede observar que los costos entre un programa convencional y concurrente son los mismos, variando solamente en días de ejecución, lo que permite terminar el trabajo con 9 días de anticipación. Sin embargo, lograr la reducción de este tiempo implica mantener una comunicación constante entre disciplinas para asegurar que la información generada sea congruente en todos los documentos. De esta forma se evitan re-trabajos en documentos lo que implica ampliación de tiempo de ejecución y por lo tanto de costos.

También se puede observar que el costo por programación con la ayuda de 3D aumenta considerablemente debido al aumento de salario por especialista que modela y horas invertidas para modelar sin embargo el tiempo de elaboración con respecto a la concurrente es de dos días menos. También se puede observar que dentro de las consideraciones de la programación en 3D se contempló la existencia de formatos ya cargados en el software 3D para extraer los entregables.

Es de esperar que el cliente prefiera el proyecto de manera concurrente pues el costo del proyecto en 3D es mayor.

Hay que decir que aunque el tiempo de elaboración con 3D es menor, el costo es considerablemente más alto que la concurrente sin embargo es rescatable decir que al final del proyecto se contará con una base datos asegurando que cuando se desee consultar la información se podrán hacer los cambios necesarios.

El modelo 3D, es una poderosa herramienta para el control del avance de la ingeniería y tiene un estrecho vínculo con el ciclo de vida del proyecto.

Es importante mencionar que el costo inicial del software y equipo de cómputo es recuperable de acuerdo a la escala del proyecto, normalmente el costo de hardware sí se recupera, pero las licencias del software son por año o vitalicias lo que representa un gasto. La inversión por licencia de software en un primer proyecto no se recupera, a menos que sea un proyecto grande que permita cubrir esta inversión. Para el caso de estudio económicamente no es viable.

CAPÍTULO 6 CONCLUSIONES

La elaboración de este trabajo permitió observar algunas desventajas así como los muchos beneficios del modelado en 3D para plantas industriales en los proyectos de ingeniería, así como dar cumplimiento con el objetivo de evaluar los beneficios de los modelos tridimensionales los cuales fueron los siguientes:

Ventajas:

- Ahorro en tiempo de elaboración de los proyectos desde su etapa de planeación hasta su conclusión. Se tiene la certeza de que la información es consistente entre disciplinas, reduciendo el error, una mayor confianza en el diseño, mayor calidad y menores costos de construcción por errores de ingeniería.
- Con esta herramienta se puede integrar toda la información del proyecto en una sola base de datos, de modo que puede ser consultada, modificada cuando sea necesario y actualizada para otros proyectos similares.
- El modelo es de utilidad para la resolución de problemas durante la instalación de equipos, tuberías y estructuras debido a que al realizarse el modelado se pueden hacer planeaciones de maniobras, mismas que permiten estudiar de forma virtual los movimientos que se realizarán en campo.
- Se pueden realizar “recorridos” virtuales a través de la planta antes de que ésta sea construida, con el fin de permitir una mejor planeación de accesos, rutas de escape así como las maniobras de construcción. Además posibilita la realización a tiempo de las modificaciones sugeridas por el cliente, así como por el personal de operación y mantenimiento
- La seguridad debe ser tomada en cuenta en todos los proyectos de diseño de plantas de procesos. El modelo se puede utilizar como apoyo para el desarrollo de estudios de análisis de riesgos (por ejemplo HAZOP, What if...?), y determinar los efectos que podrían tener algunas modificaciones en la planta.
- Un beneficio más al uso de los modelos tridimensionales aunque el costo por el uso de esta herramienta es costoso al lado de la planeación convencional y concurrente es que el capital invertido inicialmente en el desarrollo del proyecto es recuperado en la etapa de construcción al evitarse re trabajos en la ingeniería. Por ejemplo si en la maqueta se detectan choques de líneas y equipos o entre líneas desde la etapa de ingeniería, esto permite a cada especialista realizar las correcciones inmediatamente que cuando se trabaja en ingeniería convencional y concurrente ya que las modificaciones se hacen documento por documento aumentado la posibilidad de error. Además la cuantificación de materiales demanda mucho más tiempo cuando hay re trabajos.
- Los modelos tridimensionales también se emplean en operación y mantenimiento o en futuros trabajos.

Desventajas:

- Con el fin de obtener los máximos beneficios, es importante que en el modelado en 2D y 3D se tenga personal calificado, por lo que se debe invertir en capacitación del personal y equipos adecuados para llevar a cabo el modelado, además, invertir en la renta o compra del software que solicite la realización del modelo.
- La renta o compra de licencia del software así como la capacitación del personal en el mismo podría resultar costosa, se debe entender su uso como una inversión a largo plazo que se

manifiesta en el ahorro de maniobras de construcción reduciendo errores durante la etapa de construcción.

Otro de los objetivos planteados fue la comparación entre programas de ejecución del proyecto (convencional, concurrente y modelado 3D) , teniendo las siguientes observaciones:

- El desarrollo de un programa convencional para el caso de estudio se puede considerar conveniente puesto que se termina en tiempo y a un buen precio sin embargo la aplicación de un programa concurrente mejora significativamente el tiempo y costo. Hay que considerar que para la aplicación de una planeación concurrente es de vital importancia compartir la información y realizar chequeos cruzados regularmente para evitar re trabajos e incongruencia entre los entregables.
- Se pudo observar que el menor costo se obtiene con un programa concurrente y el mayor en el programa con 3D. Si bien el modelo 3D redujo el tiempo de elaboración este aumenta considerablemente el costo debido una mayor cantidad de horas hombre y al requerimiento de personal capacitado para el modelado.
- El modelo permitió reducir tiempos de elaboración al compartir la información de manera efectiva entre disciplinas, así como realizar las volumetrías en menor tiempo.
- El uso de modelos tridimensionales para proyectos pequeños no es económicamente viable por lo que realizarlo en 2D es suficiente. No cabe duda que la aplicación de modelos tridimensionales varía de acuerdo a las necesidades del cliente. Si el cliente no requiere que el proyecto se elabore en 3D, se debe optar por realizarlo en 2D para poder ser competitivo en costo de Hora-Hombre, sin embargo al llevar a cabo la construcción de dicho proyecto la inversión en el modelo 3D se ve compensada por reducción de modificaciones en ubicación de líneas, equipos así como en cantidad de material.

En conclusión, para el caso de estudio se puede decir que la mejor estrategia para el desarrollo del proyecto es la ingeniería concurrente debido a los mejores costos y tiempo de ejecución. Sin embargo es importante resaltar que la única forma para decidir si se emplea o no los modelos tridimensionales es mediante un análisis de costos y de acuerdo a las necesidades del proyecto.

CAPÍTULO 7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [Abrajan, 2000], Abrajan Osorio, Raúl Héctor. “Ingeniería de vanguardia desarrollo del modelo tridimensional maqueta electrónica, en el concepto integral y concurrente del Extended Front-End Loading para plantas de refinación y petroquímica “subtitulo, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Química (Ingeniería de Proyectos),UNAM, Facultad de Química, Distrito Federal, 2000.
2. [Alción, 2012], El portal de la industria de proceso, “Guía de CAD y TI para diseño, construcción y mantenimiento de plantas”. En Editorial Alción, S.A. (en línea), Enero, 2012. Disponible en <http://www.alcion.es/plantas/guia-cad/cad.htm>.
3. [Cantabria, 2013] Álvarez Vázquez Álvaro, “Tema 1. Apuntes de la asignatura de proyectos”, Universidad de Cantabria (en línea), Mayo, 2013. Disponibles en <http://www.alumnos.unican.es/~uc17923/Tema1.pdf>
4. [Granada, 2013] Departamento lenguajes y Sistemas Informáticas. Ingeniería Informática. Universidad de Granada. (En línea), Abril, 2013. Disponible en <http://www.ilustrados.com/tema/3000/Diseno-asistido-ordenador-Maquetas.html>
5. [Granados, 2006] Sugey Granados Perez, “ Guia para la definición del alcance de ingeniería en proyectos de plantas industriales”. ”, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Sistemas (Ingeniería y Administración de Proyectos), UNAM, Facultad de Química, Distrito Federal, 2006.
6. [IIE , 2004],. Instituto de Investigaciones Eléctricas, “La nueva perspectiva de los modelos electrónicos tridimensionales inteligentes en Pemex Exploración y Producción”. En Boletín Julio-Septiembre 2004, (en línea), Abril 2013. Disponible en: <http://www.iie.org.mx/boletin032004/entre.pdf>
7. [IIE , 2007],.Instituto de Investigaciones Eléctricas, “Sistemas computacionales para administrar la información de plataformas petroleras mediante modelos electrónicos 3D”. En Boletín Enero-Julio 2007, (en línea), Abril 2013. Disponible en <http://www.iie.org.mx/boletin012012/breve2.pdf>.
8. [INSIHTS, 2002].Dean Martyniak, “The special needs of biopharm: Regulations, time to market leae little room for error”. En INSIGHT, especial event edition Satoil’s Success, Quarter,2002, vol.3 ISSUE-2, pag. 8 y 9- 26 y27 INSIHTS is published by INTEGRAPH PROCESS,POWER AND OFFSHORE INTEGRAPH CORPARATION, HUNTSVILLE, ALABAMA USA 35894-0001.
9. [Islas, 2010].Islas Baños Adriana, “Reingeniería del diseño del proyecto de una planta petroquímica aplicando modelos tridimensionales inteligentes”, Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería de Sistemas (Ingeniería y Administración de Proyectos), UNAM, Facultad de Química, Distrito Federal, 2010. Pg.26-27
10. [Kerzner, 2001]. Kerzner Harold. “ Project Management. A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controll”, Seven Edition, New York, John Wiley and Sons, Inc.2001,ISBN0-471- 39342-8.
11. [Levine, 2002]. Harvey A. Levine, 2002. “Practical Project Management: tips, tractis, and tools”, published by John Wiley and Sons, Inc. New York. ISBN 0471203003. Pg. 3
12. [Martinez, 2008]. Martinez Palacios Juan, “Sistemas de CAD-CAM” (en línea), Abril, 2013. Disponible en <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4483>.

13. [Múzquiz, 2007] Múzquiz F. Cristina,” WBS, herramienta práctica para presentar la documentación de un proyecto de TI”. Entérate en línea, Año 6, Número 55, Enero de 2007. México D.F. Disponible en: <http://www.enterate.unam.mx/Articulos/2007/enero/wbs.htm>
14. [Phillips, 2004].”PMP Project Management Professional Study Guide”, 2004. McGraw-Hill. ISBN 0072230622. Pg.11
15. [PIPELINE, 2009], Pipeline, “Advances for electrical desing in AVEVA PLANT”. En Pipeline, Epereriences from the plant and marine industries, año 2009, vol. ISSUE-2.
16. [PMBOK, 2004]. Project Management Institute, Inc. “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” (PMBOK Guide, Third Edition, 2004. Published by Project Management Institute, Inc. USA. ISBN 1-930699-45-X. Pg. 20 y 21.
17. [Schwalbe, 2001] IT Project + Course Prep Exam Guide, Kathy Schwalbe, Publisher: Course Technology,2001-11-16.
<ftp://193.33.64.118/pub/Storage00/books/Project%20Management%20Collection%202>
18. [Standards Catalogue]:
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_ics/catalogue_ics_browse.htm?ICS1=75&ICS2=020&published=on (13nov2014: 6.51 pm)
19. [Verzuh, 2005]. Eric Verzuh. “ The fast forward MBA in Project Management”, Second Edition, Canada. John Wiley and Sons, Inc. 2005, ISBN 0471692840.

ANEXO 1 NORMATIVIDAD APLICABLE

Normas que regulan la aplicación de los Modelos Tridimensionales.

No	Norma	Descripción
1	ISO 15926	La ISO 15926 "Datos del Ciclo de Vida de la planta de proceso" se ha desarrollado. Su relación con el STEP (ISO 10303) para la ingeniería estándar de intercambio de datos. El uso del "enfoque 4D" a la representación del cambio se describe. Se demuestra que este enfoque permite una representación de la información de ingeniería utilizando lógica de primer orden, y por lo tanto, que la norma ISO 15926 se puede representar mediante RDF / OWL.
2	ISO 15926-1:2004 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 1: Overview and fundamental principles	Especifica la representación de la información relacionada con la ingeniería, construcción y operación de plantas de proceso. Esta representación es compatible con los requerimientos de información de las industrias de proceso en todas las fases del ciclo de vida de la planta y el intercambio e integración de información entre todas las partes involucradas en el ciclo de vida de la planta.
3	ISO 15926-2:2003 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 2: Data model	<p>Especifica un modelo de datos conceptual para la representación del equipo de información técnica sobre las plantas de proceso. La información requerida por las siguientes actividades está dentro del alcance de la norma ISO 15926-2: 2003:</p> <p>Especificación de las funciones requeridas para producir y procesar los materiales son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ proceso de hidrocarburos y sistemas de acondicionamiento, ▪ gas inyectado y sistemas de acondicionamiento e inyección de agua, ▪ sistemas de transporte de producto petróleo y gas, ▪ sistemas de seguridad y control, ▪ la generación de electricidad y sistemas de abastecimiento, ▪ generación y suministro de sistemas de vapor, ▪ estructuras, ▪ edificios y alojamiento; ▪ especificación, selección de materiales, equipos para la producción requerida y las funciones de procesamiento, incluyendo información sobre la disponibilidad de materiales y equipos; instalación y puesta en marcha de equipos de planta; ▪ proceso de producción y operaciones, incluyendo condiciones de proceso y consumo, rendimientos y calidad del material de proceso; mantenimiento y reposición de equipos.

No	Norma	Descripción
4	ISO/TS 15926-3:2009 Industrial automation systems and integration Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities -- Part 3: Reference data for geometry and topology	<p>Especifica conceptos geométricos y topológicos, que permite la grabación de los datos geométricos y topológicos mediante ISO 15926-2 y de una manera consistente con lógica.</p> <p>También especifica conceptos relacionados con la malla de topología y funciones detalladas respecto a mallas, que permite la grabación de datos de topología y la representación de distribución de la propiedad.</p>
5	ISO/TS 15926-4:2007 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 4: Initial reference data	ISO/TS 15926-4: 2007 define el conjunto inicial de datos de referencia para el uso con la ISO 15926 e ISO 10303-221 datos industriales estándar.
6	ISO/TS 15926-5: - Registration Procedure	-
7	ISO/TS 15926-6: 2013 Industrial automation systems and integration -- Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities -- Part 6: Methodology for the development and validation of reference data	Sistemas de automatización industrial e integración de datos del ciclo de vida para las plantas incluyendo instalaciones de producción de petróleo y gas - parte 6: metodología para el desarrollo y validación de datos de referencia.
8	ISO/TS 15926-7:2011 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 7: Template methodology	<p>Es una especificación para la integración de intercambio de datos y ciclo de vida de información utilizando plantillas basadas en el modelo de datos ISO 15926-2.</p> <p>También proporciona una metodología para la integración de datos usando matemática lógica de primer orden, que hace que sea independiente del lenguaje de programación.</p>
9	ISO/TS 15926-8:2011 Industrial automation systems and integration—Integration of life-cycle data for process plants including oil and gas production facilities—Part 8: Web Ontology Language (OWL) implementation	<p>Es una especificación para la integración de intercambio de datos y ciclo de vida de integración de información usando Resource Description Framework (RDF) y Web Ontology Language (OWL).</p> <p>También establece las reglas para la aplicación de la filosofía especificada por la ISO 15926-2 y la metodología especificada por la ISO 15926-7 dentro de los lenguajes de RDF y OWL, incluyendo modelos para referenciar datos especificados por ISO/TS 15926-3 y ISO/TS 15926-4.</p> <p>Los archivos electrónicos adjuntos a ISO/TS 15926-8:2011 proporcionan las declaraciones de búho, junto con datos de la instancia de ejemplo.</p>

Fuente: [Standards Catalogue]

ANEXO 2 SECCION B

Datos básicos proporcionados y establecidos por el cliente.

1. Materiales

1.1 Materias primas

Nombre	Recibo	Frecuencia de recepción	Lote recibido gal	Composición
1.Poly 820	Cisterna RR	2/mes	30,000	Ver archivos adjuntos
2. R33	Cisterna RR	1/mes	30,000	
3. Catalizador	Tambores de 5 gal	1/mes	2,000	Ver archivos adjuntos
4.				
5.				

1.2 Material en proceso

Nombre	
1.	
2.	
3.	

1.3 Productos y subproductos

Nombre	Como se transporta	Frecuencia de transportación	Transportados	Composición
1.inicio 820	Tambor		45 gal	Ver archivos adjuntos
2. inicio 820	Tambor		5 gal0	
3.				

1.4 Límite de impurezas

- Materias primas
- Productos: ver especificación de productos para star 820. Adjunto

2. Propiedades

2.1 Propiedades comunes

Nombre	viscosidad	Temperatura	Gravedad especifica	Temperatura
1.Poly 820	200	180	1.13	Aproximada para todas la temperaturas
2. Poly 820	800	100	1.13	
3. R33	150	180	1.29	
4.R33	400	100	1.29	
5.Star 820	880	180	1.31	
6. Star 820	2100	100	1.31	

2.2 Propiedades especiales

	Temperatura	Temperatura
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

3. Capacidad

3.1 Horas de operación/día: 24

3.2 Días en operación/semana: 5, por lo tanto 3 turnos

3.3 Días en operación / año: $52.18 \times 5 - 14 = 247$

3.4 Interrupciones por mantenimiento no programado: 80 horas/año

3.5 Por lo tanto, horas de operación por año: $247 \times 24 - 80 = 5848$

3.6 Producción anual de material dentro de especificación: 10, 000,000 lb

Reciclado de material fuera de especificación: 200,000 lb

(Cerca de 20,800 tambores de 45 gal) por lo tanto,

En promedio la producción es de $= 10, 200,000/247 = 41,300$ lb/día

(84 tambores /día)

3.7 Producción de diseño: 47,500 lb/día ($41,300 \times 1.15$)

(97 tambores/día)

Nota: Esta es la velocidad de diseño del proceso. Deben añadirse factores adicionales para dar cabida a control de procesos y consideraciones particulares para cada operación en cuestión. Diseño de tarifas para el equipo serán especificados en el diagrama de flujo del proceso.

3.8 Ciclos de tiempo

Operación	Duración h
1. Verificar número de orden y lote pesos	0.15
2. Proveer Poly 820	2.16
3. Proveer R33	0.95
4. Producir vacío	0.48
5. Mezclar	
6. Purgar con N2	
7. Producir vacío	
8. Purgar con N2	
9. Añadir catalizador	
10. Mezclar	
11. Revisión y ajuste	
12. Producto paquete	
13. Limpiar	
14. Tiempo de espera	

3.9 Tanques: requerimientos de cálculo: +20%*

3.10 Sobrecapacidad para control: *

- Bombas, tuberías, válvulas: Producción de diseño + 15%
- Intercambiador de calor: + 30%
- Válvulas de control: bomba/ monitoreo de curva del sistema
- Transportador: Producción de diseño + 20%

3.11 Sobrecapacidad para el futuro:*

- Caldera/: NA+
- Compresor: NA
- Torre de enfriamiento. NA

3.12 Factores de suciedad en la chaqueta:*

Agua de enfriamiento: $0.006 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} / \text{Btu}$

*Estas son conjeturas iniciales a utilizar.

*NA No aplica

3.13 Corrosión permitida: 1/16 a 1/8 en contacto acuoso*

4. Condiciones de proceso

4.1 Temperatura y presión

Área de proceso	Temperatura de diseño	Presión de diseño
Mezclador	300	30 y vacío

Unidades $^\circ\text{F}$.lb/in²

4.2 Material especial para construcción

- Tanque, 304 SS
- Tubería, especificación por mezcla química P-901-B

4.3 Precauciones especial de seguridad

- Solvente inflamable
- Polímeros irritantes en la piel

4.4 Contención

- Política general: requerimientos de contención secundaria
- Sumidero: por contención secundaria
- Alcantarillado químico: por contención secundaria

4.5 Información adicional

Todas las tuberías para poly 820 y catalizador deben ser desmontadas para la limpieza

5. Normatividad

- 5.1 Tubería: especificación de mezcla química P-901-B
- 5.2 Tanque atmosférico: API
- 5.3 Recipiente a presión: ASME
- 5.4 Presión de seguridad: API 500
- 5.5 Bombas: ANSI, ASTM
- 5.6 Intercambiadores: TEMA
- 5.7 Eléctrico: especificación mezcla química E-23-H y E-818-D requiere etiqueta LU

6. Convención

- Dimensiones en unidades US
- Tamaño del dibujo D tamaño: 22 x 34
- Escala para los dibujos de arreglo no deben ser menos que $3/8\text{in}=1\text{ ft}$

7. Proveedor de equipo y materiales

Aceptación de proveedores extranjeros calificados: si

Acepciones: ninguna

8. Servicios

8.1 Enfriamiento

	Temperatura de diseño (°F)		Presión de Diseño	
	Max	Min	NA	NA
1.Bulbo seco	105	-8	NA	NA
2.Bulbo húmedo	84	-8	90	40
3.Agua de enfriamiento	92	45	30	28
4.Retorno de agua de enfriamiento	115	NA		

8.2 Eléctrico

	Kilowatts	
	Requerido	Disponible
1.480 V		Adecuado
2.120 V		Adecuado
4.		
5.		

8.3 Otros Servicios

	Flujo		Presión	
	Requerimiento	Disponibilidad	Requerimiento	Disponibilidad
1.Aire de instrumentos		Adecuado		Adecuado
2.Planta de aire		Adecuado		Adecuado
3.Nitrogeno		Adecuado		Adecuado

	Flujo		Presión	
4.Planta de agua		Adecuado		Adecuado
5.Vapor		Adecuado		Adecuado
6.Condensado		Adecuado		Adecuado

	Temperatura		Tie In
	Requerimiento	Disponibilidad	Localización y comentarios
1.Aire de instrumentos		Adecuado	Por definir
2.Planta de aire		Adecuado	Por definir
3.Nitrogeno		Adecuado	Por definir
4.Planta de agua		Adecuado	Por definir
5.Vapor		Adecuado	Por definir
6.Condensado		Adecuado	Por definir

9. Instrumentación

- 9.1 Panel gráfico: CRT
- 9.2 Controladores programables: Si
- 9.3 Controladores analógicos independientes: Si
- 9.4 Pintura : usar existente
- 9.5 Fuente de alimentación ininterrumpida (UPS): No
- 9.6 Arranque/ Paro: (en campo, cuarto de control)
- 9.7 Paro por emergencia: (en campo, cuarto de control)
- 9.8 Paneles de campo: Si

10. Repuestos instalados

- 10.1 Procesos: No
- 10.2 Eléctrico: No
- 10.3 Instrumentación: No

11. Jurisdicción

- 11.1 Ciudad: Paducah
- 11.2 Condado: Mc Cracken
- 11.3 Estado: Kentucky
- 11.4 Regulador:

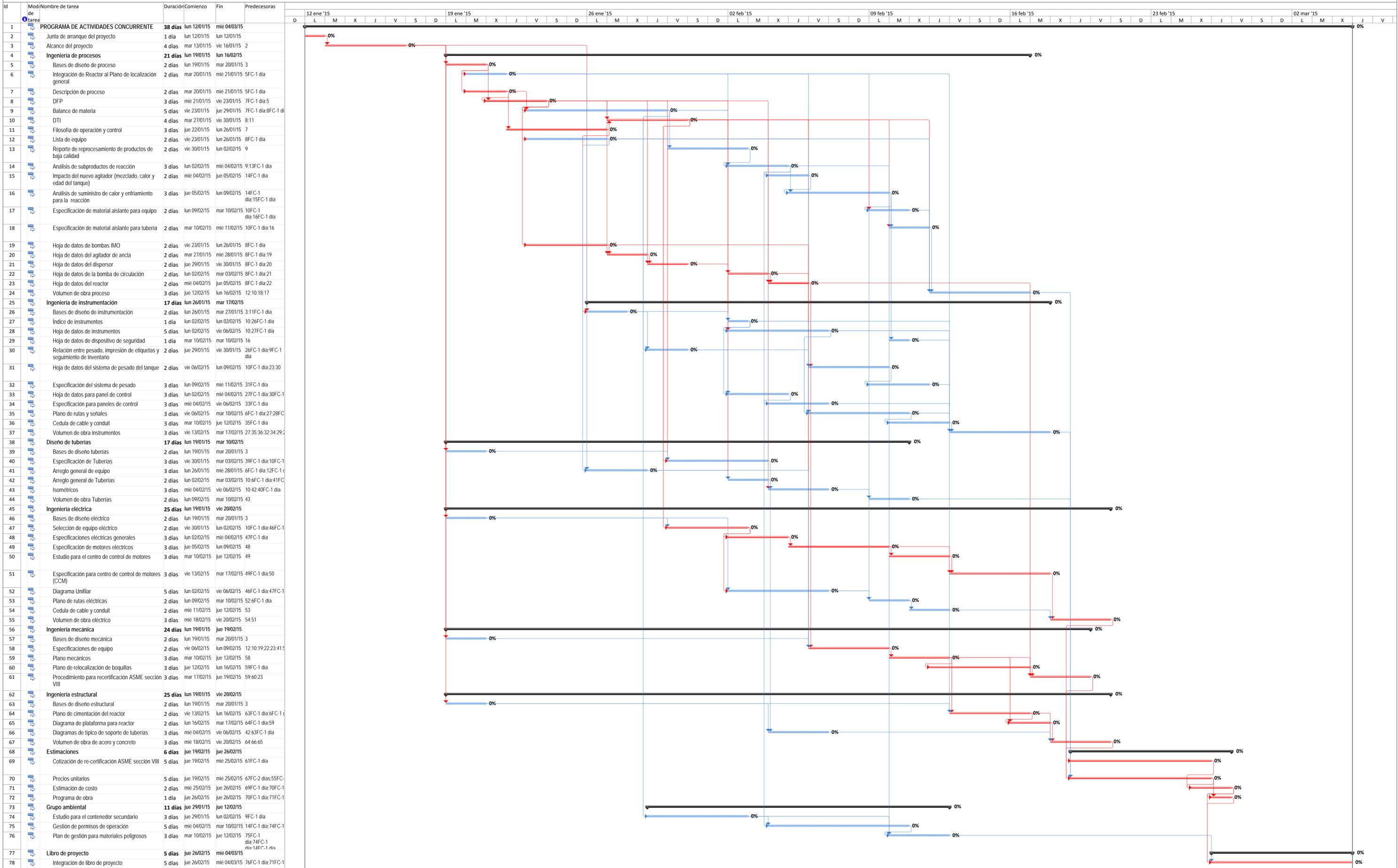
12. Estudios económicos

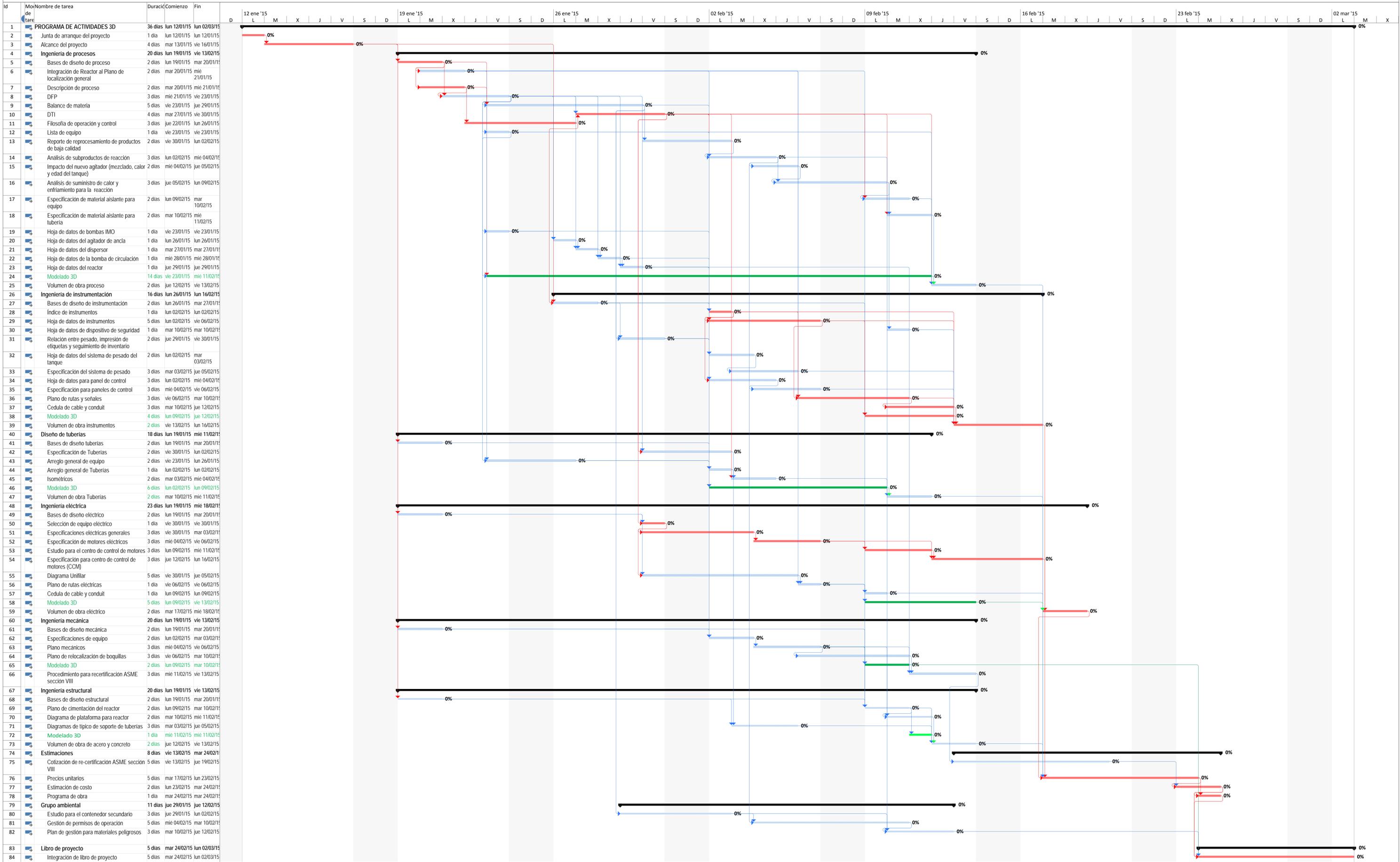
- 12.1 Barrera ROI: el 20 por ciento (antes de impuestos)

ANEXO 3. PROGRAMAS DE EJECUCIÓN PARA EL CASO DE ESTUDIO

Los programas de actividades aparecen en las páginas subsecuentes, en el siguiente orden:

- Programa de Actividades Tradicional
- Programa de Actividades Concurrente
- Programa de Actividades en 3D





Tareas críticas	Progreso de tarea crítica	División	Tarea manual	Sólo fin	Linea base	Hito de línea base	Progreso del resumen	Resumen manual	Tareas externas	Tarea inactiva	Resumen inactivo	Fecha limite
División crítica	Tarea	Progreso de tarea	Sólo el comienzo	Sólo duración	División de la línea base	Hito	Resumen	Resumen del proyecto	Hito externo	Hito inactivo		