



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA QUÍMICA – SISTEMAS

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA
PLANEAR LA INGENIERÍA, PROCURA Y
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA QUÍMICA EN
ETAPA TEMPRANA DEL PROYECTO

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:
MARA ITZEL BÁRCENAS ALONSO

TUTOR PRINCIPAL
M.I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., UNIO 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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: MBA. Elisa Elvira Guinea Corres
Secretario: M.A. Fernando José Baez Ramos
1 er. Vocal: M.I. José Antonio Ortiz Ramírez
2 do. Vocal: M.I. Ezequiel Millán Velasco
3 er. Vocal: Dr. José Fernando Barragán Aroche

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: FACULTAD DE QUÍMICA

TUTOR DE TESIS:

M.I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

FIRMA

Agradecimientos

A mi mamá, este logro no sólo es mío, de hecho es más tuyo que mío. Eres sin duda mi gran ejemplo a seguir, me has llenado de valores y fuerzas para luchar por todos y cada uno de mis sueños, me has apoyado y creído hasta en mis peores locuras y gracias a eso hoy puedo decir que no solo soy feliz, sino que además soy una persona de bien que tiene bastante claro lo que quiere en su vida. Nunca me cansaré de darte las gracias este y absolutamente todos mis logros son y serán siempre en tu honor.

A Jeshua, por tu compañía, apoyo y cariño en cada etapa compartida.

A Luis, por tu amistad, apoyo, orientación e infinita paciencia en el desarrollo de este trabajo.

Al M. José Antonio Ortiz, por su guía y conocimientos compartidos.

A Naye, por tu amistad y apoyo.

A Paty y Fer, por su invaluable amistad.

A todos los eruditos que compartieron conmigo su saber, con esmero y paciencia.

MIBA

Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación y Estado del Arte	1
1.2. Planteamiento del problema	2
1.3. Objetivo	3
1.3.1. Objetivos particulares	3
1.4. Etapas de la propuesta	4
1.5. Contribuciones	4
1.6. Estructura de la tesis	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Proyectos	6
2.1.1. Proyectos IPC	8
2.2. Proyectos en México	8
2.3. Metodologías	10
2.3.1. Modelo en Cascada	10
2.3.1.1. Diagrama de Gantt	11
2.3.1.2. Work Breakdown Structure (WBS)	13
2.3.1.3. Diccionario de WBS	15
2.3.1.4. Método de la ruta crítica	16
2.3.1.5. Metodología del PMBOK®	17
2.3.2. Metodología Ágil	19
2.3.2.1. Metodología Scrum	20
2.3.2.2. Metodología Kanban	21

3. Metodología propuesta	23
3.1. Teoría	23
3.2. Metodología	24
3.2.1. Datos	24
3.2.2. Método 1	29
3.2.3. Método 2	31
3.2.4. Método 3	35
3.2.5. Resultados	37
3.2.6. Gantt	50
4. Metodología de Aspen	59
5. Resultados	63
5.1. Áreas de oportunidad	67
6. Conclusiones	68
Bibliografía	70

Introducción

“Equipado con sus cinco sentidos, el hombre explora el universo que lo rodea y a sus aventuras las llama Ciencia.”

-Edwin Powell Hubble-

1.1. Motivación y Estado del Arte

El origen de los proyectos se remonta al periodo de 9130-7270 a.C., con la construcción del primer complejo de templos del mundo, Göbekli Tepe en Sanliurfa, Turquía. Sin embargo, es hasta la primera mitad del siglo XV que se tiene registro, en un manuscrito de Las Guerras de Alejandro, del uso de la palabra “proyecto” como se utiliza actualmente[1]. Y es hasta inicios del siglo XX que la gestión de proyectos comienza a formalizarse, con la creación de herramientas para facilitar la planeación de los recursos disponibles, como el Armonograma de Karol Adamiecki y el Diagrama de Gantt de Henry Laurence Gantt.

Posteriormente, se crea en Estados Unidos la Asociación para el mejoramiento de Ingeniería de costos, AACE por sus siglas en inglés (Association for the Advancement of Cost Engineering®)[2], en 1956. Y en 1957, se crea por un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand el método de la ruta crítica, el cual es similar a la técnica de revisión y evaluación de programas, PERT por sus siglas en inglés (Program Evaluation and Review Techniques), originada en 1958 por la oficina de proyectos especiales de la Marina de Estados Unidos. Ambas con el propósito de analizar y respresentar las tareas involucradas para culminar un proyecto[3]. En 1969 se funda el Instituto para la Administración de Proyectos, PMI® por sus siglas en inglés (Project Management Institute)[4], con el fin de crear estándares profesionales para la gestión de proyectos. Actualmente, existen diversos estándares

y metodologías para la gestión de proyectos, los cuales se abordarán con mayor detalle en el capítulo 2.

Como se puede observar, los proyectos siempre han estado y estarán presentes; sin embargo, es a través de las metodologías y estándares que la gestión de proyectos ha ido evolucionando y ganando importancia a lo largo de la historia. Por lo que la presente tesis busca proponer una metodología que ayude a llevar a cabo la planeación de los recursos de una planta química en etapa temprana del proyecto, debido a que es el momento en el que se pueden tomar las mejores decisiones respecto a los recursos y aceptación del proyecto. En este caso nos centraremos en el recurso del tiempo, debido a que a partir de esa estimación se pueden definir los demás pilares del proyecto, los cuales se abordarán en el capítulo 2.

1.2. Planteamiento del problema

Los resultados obtenidos de la encuesta Pulse of the profession 2020[5], llevada a cabo por el Project Management Institute (PMI®), mostraron que en promedio el 11.4 % de la inversión de un proyecto se desperdicia debido a la mala ejecución. Adicionalmente, dependiendo de la madurez de las empresas para desarrollar proyectos, como se muestra en la Figura 1.1, solamente del 56 % al 77 % de los proyectos cumplen, con los objetivos planteados, del 46 % al 67 % cumplen con el presupuesto y del 39 % al 63 % cumplen con el tiempo establecido. En la mayoría de las ocasiones, esas estadísticas se pueden mejorar llevando a cabo buenas planeaciones y cumpliéndolas, desde etapas tempranas del proyecto.

Debido a la importancia de contar con herramientas y estrategias en la planeación de recursos en etapas tempranas en los proyectos, la metodología desarrollada en esta tesis pretende proporcionar una alternativa más rápida y práctica para obtener dicha planeación de recursos. Los resultados de la metodología propuesta, serán comparados con los resultados que arroja el método de Aspen Capital Cost Estimator®, el cual es el utilizado por Petróleos Mexicanos® para estimar horas hombre (HH) y costos en etapas tempranas de proyectos de inversión.

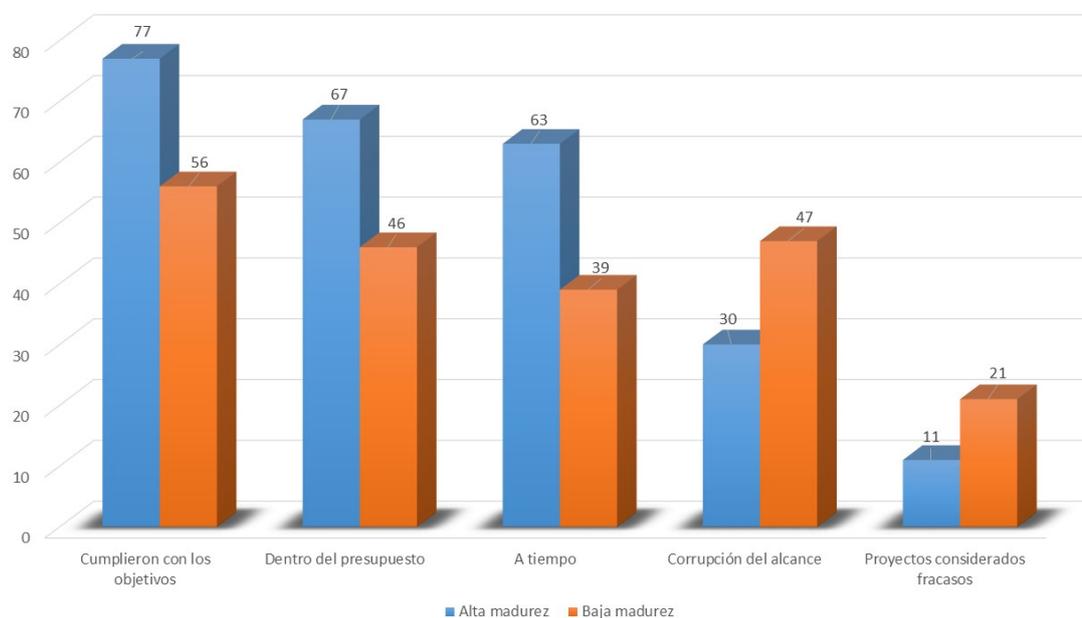


Figura 1.1: Métricas de evaluación de proyectos

1.3. Objetivo

El objetivo planteado para esta tesis es:

- Proponer una metodología para planear en etapa temprana del proyecto los recursos necesarios para la ingeniería, procura y construcción de una planta química.

1.3.1. Objetivos particulares

- Obtener un estimado de horas hombre de Ingeniería básica e Ingeniería de detalle, así como los tiempos de ejecución del proyecto en procura y construcción.
- Elaborar una comparación entre los datos obtenidos por la metodología propuesta y los datos generados por ACCE que utiliza el área de costos de Petróleos Mexicanos®.

1.4. Etapas de la propuesta

Las etapas a seguir para cumplir con los objetivos antes mencionados de la presente tesis son los siguientes:

1. **Metodología propuesta**

Se presentará la propuesta de la metodología diseñada.

2. **Metodología Aspen**

Se planteará la metodología utilizada por ACCE que utiliza el área de costos de Petróleos Mexicanos®.

3. **Comparación**

Se llevará a cabo una comparación práctica de la planeación de un proyecto por medio de ambas metodologías.

1.5. Contribuciones

Las contribuciones principales se enumeran a continuación:

1. Al obtener una metodología alternativa que nos dé resultados similares a la metodología empleada por el área de costos de Petróleos Mexicanos®, al obtener horas hombre y costos de los recursos en etapas tempranas por medio del software de Aspen Capital Cost Estimator®, de forma más práctica, se podrá tener un mejor control de los recursos desde las etapas tempranas del proyecto, sin la necesidad de contar con un software especializado. Lo que ayudará a disminuir el porcentaje de desviaciones del proyecto.

1.6. Estructura de la tesis

El presente trabajo está organizado en cinco capítulos, los cuales se describen a continuación. El capítulo dos, presenta la teoría necesaria referente a proyectos. En el capítulo tres, se describe a detalle la metodología propuesta y se va desarrollando un ejemplo práctico. En el capítulo cuatro, se explica brevemente la metodología del ACCE utilizada por el área de costos de Petróleos Mexicanos®. En el capítulo cinco, se encuentran los resultados obtenidos a través de la metodología propuesta, así como la comparativa hecha contra los resultados obtenidos con la metodología del ACCE. Posteriormente, en el capítulo seis se presentan las conclusiones de este trabajo.

Marco Teórico

*“La duda es la madre del
descubrimiento.”*

-Ambrose Bierce-

En el presente capítulo se expone la teoría referente a proyectos, la perspectiva de los proyectos en el país y un poco de teoría acerca de las metodologías utilizadas para la planeación de proyectos.

2.1. Proyectos

Un proyecto es un esfuerzo temporal, es decir con un inicio y un fin definidos, en el cual participan distintas disciplinas para lograr un resultado único.

Los proyectos, a menudo, se utilizan como medio para alcanzar directa o indirectamente los objetivos propuestos en el plan estratégico de una organización. Por lo general, los proyectos se autorizan como resultado de una o más de las siguientes consideraciones estratégicas:

- Demanda del mercado
- Oportunidad estratégica
- Necesidad social
- Consideraciones ambientales

- Solicitud de cliente
- Avance tecnológico
- Requisito legal

A pesar de que todos los proyectos varían en complejidad y tamaño, se pueden distinguir las siguientes etapas: Inicio, Planeación (que engloba la organización y preparación), Ejecución & control y el Cierre. Al conjunto de estas etapas se le conoce como *Ciclo de vida de un proyecto*, como se muestra en la Figura 2.1.

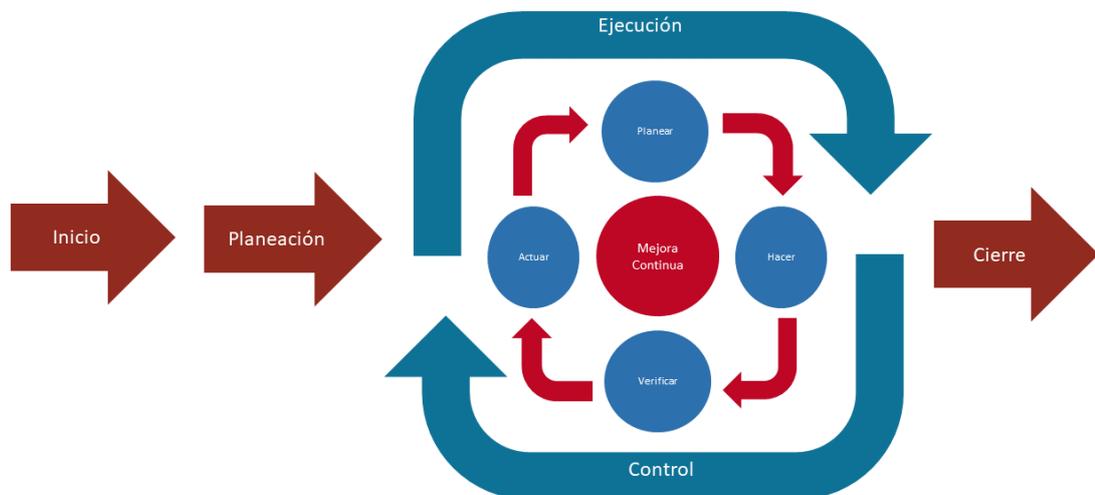


Figura 2.1: Ciclo de vida de un proyecto

2.1.1. Proyectos IPC

Se denomina proyecto IPC (Ingeniería, Procura y Construcción)[6], a aquellos proyectos en los que los contratistas, pueden ser uno o más, se hacen responsables desde la etapa de diseño, la cual incluye la ingeniería conceptual, básica, básica extendida y de detalle; la etapa de procura, en la cual se adquieren los materiales y equipos necesarios; la etapa de construcción, en la que se administra toda la obra y se entrega funcionando la planta; y la etapa de pruebas y arranque, durante la cual se hacen las pruebas y ajustes necesarios para entregar la planta en total y correcto funcionamiento.

El logro de los objetivos del proyecto está estrechamente vinculado al manejo adecuado de las interfases entre cada etapa, particularmente en las fases tempranas del proyecto. Si este manejo no se hace apropiadamente, lo más probable es que se incurra en retrasos, sobrecostos y por lo tanto, mucho estrés para el equipo de trabajo.

2.2. Proyectos en México

A partir de datos de Proyectos México[7] actualmente hay 185 proyectos nuevos en el país, en diferentes sectores, como se muestra en la Tabla 2.1, así como 335 proyectos en operación, como se muestra en la Tabla 2.2. (Actualizado el 19 de noviembre de 2021).

Sector	Preinversión	Licitación	Ejecución	Total
Hidrocarburos	1	0	82	83
Electricidad	38	0	14	52
Transporte	12	2	15	29
Agua y medio ambiente	8	1	3	12
Infraestructura social	0	0	2	2
Inmobiliario y turismo	6	0	1	7
TOTAL	65	3	117	185

Tabla 2.1: Proyectos nuevos

Sector	Total
Transporte	208
Electricidad	62
Hidrocarburos	38
Infraestructura social	19
Agua y medio ambiente	6
Telecomunicaciones	1
Inmobiliario y turismo	1
TOTAL	335

Tabla 2.2: Proyectos en operación

Cada sector de los antes mencionados, comprende los subsectores indicados en la Tabla 2.3.

Sector	Subsectores
Transporte	Carreteras y puentes, ferrocarriles, movilidad urbana, puertos.
Electricidad	Energía eólica, energía solar, transmisión y distribución, entre otros.
Hidrocarburos	Exploración y producción, transporte, almacenamiento y distribución, entre otros.
Infraestructura social	Seguridad pública y justicia.
Agua y medio ambiente	Abastecimiento de agua, gestión de agua, residuos sólidos, saneamiento del agua, entre otros.
Telecomunicaciones	Red de telecomunicaciones
Inmobiliario y turismo	Turismo

Tabla 2.3: Sectores y subsectores

Como se puede observar, existe un número considerable de proyectos que se estarán desarrollando en el país, en los sectores mencionados, durante los próximos años. Por lo que es importante tener una buena planeación y control de los recursos necesarios, desde etapas tempranas de los proyectos, para asegurar su éxito.

2.3. Metodologías

La palabra metodología proviene de las raíces griegas *μέθοδος* (métodos), que se puede traducir como método y del sufijo *λογία* que deriva de la voz *λόγος* (lógos), que significa ciencia, tratado o estudio. Por lo tanto, la palabra metodología significa el estudio del método, sin embargo la palabra método se forma con los vocablos *μετά* (metá), que se puede entender como más allá y *ὁδός* y (odós), que significa camino, por lo que metodología también hace referencia al conjunto de métodos y técnicas de rigor científico empleado para desarrollar un trabajo y alcanzar resultados teóricamente válidos [8].

Por lo que es recomendable plantear y seguir alguna metodología para la gestión de un proyecto, desde el principio. A continuación se mencionarán algunas de las metodologías que se pueden utilizar.

2.3.1. Modelo en Cascada

El modelo Waterfall (en cascada) fue el primer modelo desarrollado para la gestión de proyectos. Se origina en 1970 en el ensayo “Managing the Development of Large Software Systems” (Gestión del Desarrollo de Grandes Sistemas de Software) del Dr. Winston Royce[9]; donde se describe un método en el que se divide en fases el proyecto. Se le denomina en cascada por las posiciones que tienen las diferentes fases que componen el proyecto, colocadas una encima de la otra y siguiendo un flujo de ejecución de arriba hacia abajo, como se muestra en la Figura 2.2.



Figura 2.2: Modelo de gestión de proyectos en cascada

Los requisitos del proyecto deben definirse y aprobarse en su totalidad al principio, debido a que entre más avanzado se encuentre el proyecto es más complicado realizar cambios y generalmente requieren solicitudes. Cada fase debe completarse antes de que la siguiente pueda comenzar y no haya superposición en las fases. Por lo general, los resultados de una fase actúan como entradas de la siguiente. Este modelo es el más utilizado en los proyectos IPC.

Debido a que se requiere una estricta planeación para cumplir con lo requerido en tiempo y forma se pueden utilizar diferentes herramientas de planeación, como las mencionadas a continuación.

2.3.1.1. Diagrama de Gantt

Desarrollado por el Ingeniero Henry Gantt[10], entre 1910 y 1915. La esencia del diagrama de Gantt se inspira en la frase: *“Nada es especialmente difícil si se divide en pequeñas tareas”*, dicha por el mismo Henry Gantt. Por lo que, al observar un diagrama se obtiene una visión general del proyecto, debido a que normalmente en la parte izquierda se incluye una lista de tareas y en la derecha un cronograma con barras, que representa la duración de cada actividad, como se muestra en la Figura 2.3.



Figura 2.3: Diagrama de Gantt

Para desarrollar un diagrama de Gantt se recomienda:

1. Conocer el alcance aprobado del proyecto y definir el Work Breakdown Structure (WBS) [Explicado en la siguiente sección]
2. Definir la tareas y etapas que requiere el proyecto
3. Analizar su duración
4. Definir dependencias entre actividades
5. Asignar los recursos necesarios

Los diagramas de Gantt pueden incluir las fechas de inicio y término de cada actividad, los hitos, las dependencias entre actividades, las personas asignadas y el porcentaje de avance del proyecto. Actualmente hay software especializado que nos permite realizar estos diagramas con mayor facilidad como lo es Microsoft Project®.

2.3.1.2. Work Breakdown Structure (WBS)

De acuerdo al Project Management Book (PMBOK®)[11], el Work Breakdown Structure (WBS), también conocido como Estructura de Desglose de Trabajo (EDT), es una descomposición jerárquica del trabajo a realizar por el equipo del proyecto, para cumplir con los objetivos del proyecto y crear los entregables requeridos. El WBS organiza y define el alcance total del proyecto y representa el trabajo especificado en el enunciado del alcance del proyecto aprobado y vigente.

El WBS[12] muestra gráficamente los elementos que representan el trabajo que debe ser realizado y se compone de diferentes niveles de jerarquización, que permiten desglosar el alcance del proyecto en todos sus componentes, agrupados de acuerdo al nivel correspondiente.

Para formar el WBS del proyecto, se comienza clasificando los componentes del alcance de acuerdo al nivel al que correspondan, desde los aspectos generales hasta los más detallados.

Los niveles típicos en que se desglosa el contenido del proyecto y conforman al WBS son:

- **Nivel 1:** Proyecto
- **Nivel 2:** Etapas
- **Nivel 3:** Áreas físicas
- **Nivel 4:** Sistemas o disciplinas
- **Nivel 5:** Paquetes de trabajo
- **Nivel 6:** Actividades
- **Nivel 7:** Documentos o tareas

Posteriormente, se comienza a generar el diagrama del WBS. Existen diversas formas en las que se puede hacer el diagrama, las más comunes son:

- Con un enfoque descendente, como se muestra en la Figura 2.4[11], en el cual se parte del nivel de proyecto y se va desglosando en niveles más detallados (antes mencionados), hasta llegar a los documentos necesarios para llevar a cabo lo especificado en niveles superiores.
- Con guías y plantillas específicas de la empresa.

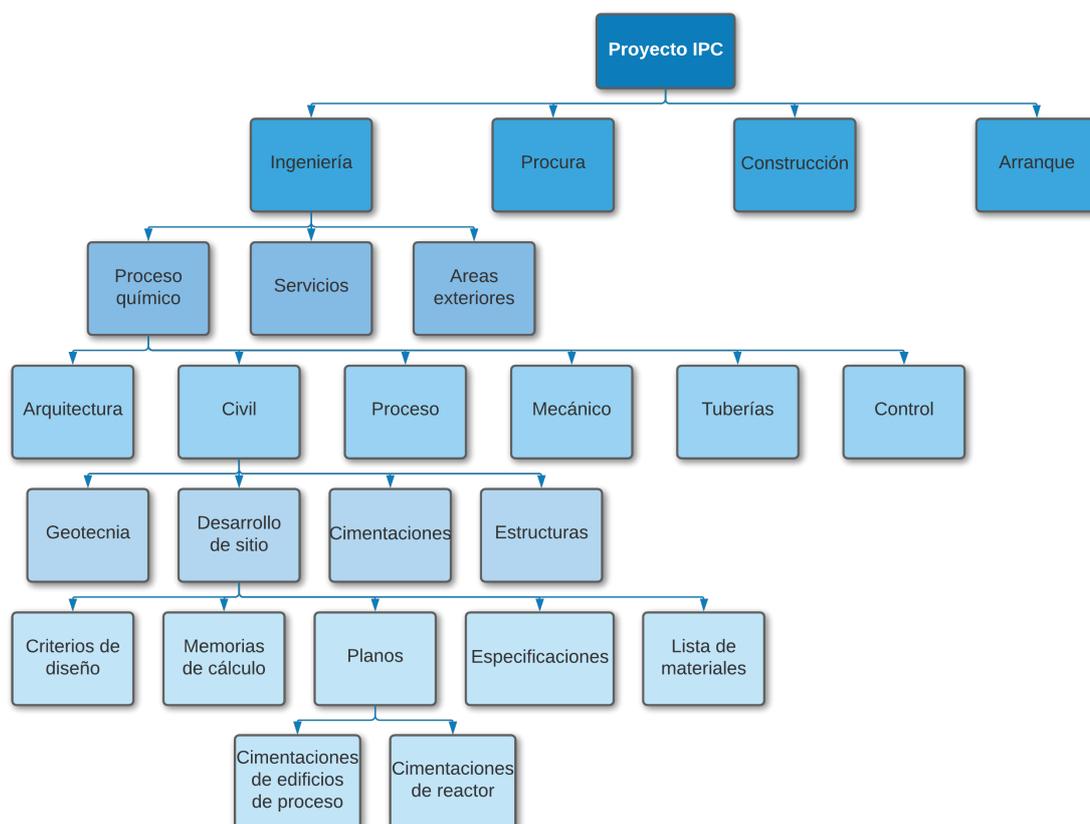


Figura 2.4: Ejemplo de WBS con enfoque descendente

Una vez que se tenga el diagrama con todos los documentos o tareas a realizar, se procede a definir las horas hombre y periodos de realización necesarios para cada uno, así como el tipo de especialista preciso para realizarla. Al hacer la suma de las horas hombre, así como la distribución de los periodos de realización se tiene el programa preliminar a seguir, y al calcular las horas hombre por especialista y multiplicarlas por el costo promedio de su hora hombre, se tiene el costo aproximado de la fase de ingeniería.

2.3.1.3. Diccionario de WBS

El diccionario del WBS es un documento de apoyo del WBS, en donde se proporciona información detallada sobre los entregables, actividades y programación de cada uno de los componentes del WBS. Principalmente se integra de dos componentes[12]:

- Apartado dónde se especifique el título del elemento de trabajo, proyecto al que pertenece, contratista responsable, códigos que el contratista y cliente acordaron, puede contener el presupuesto, el número de informes, una descripción detallada del trabajo a realizar, así como un resumen de los entregables requeridos.
- Resumen de los elementos del diccionario, deben ser todos los documentos y tareas a realizar, que se han codificado.

Además de lo antes mencionado, se puede agregar lo siguiente[11]:

- Los supuestos y restricciones
- Los hitos del cronograma
- Las actividades asociadas al cronograma
- Los recursos necesarios
- Los requisitos de calidad
- Los criterios de aceptación
- Las referencias técnicas y
- La información sobre acuerdos

2.3.1.4. Método de la ruta crítica

El método de la ruta crítica, CPM, por sus siglas en inglés Critical Path Method, se crea por un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont® y Remington Rand® en 1957. Este método, determina el camino crítico o la ruta más larga del proyecto, así como los posibles cuellos de botella. Las actividades que se encuentren en la ruta crítica son las de mayor prioridad, debido a que si alguna de ellas sufre un retraso, afectaría todo el proyecto.

Para definir la ruta crítica se sugiere seguir los siguientes pasos:

1. Definir todas las actividades del proyecto.
2. Establecer las relaciones entre las actividades, es decir las dependencias, para poder decidir qué actividad hay que hacer antes y cuál después.
3. Construir una red de precedencias.
4. Calcular los tiempos próximos, es decir, los tiempos más tempranos en la realización de las actividades.
5. Calcular los tiempos remotos, es decir, los tiempos más tardíos en los que se pueden realizar las actividades (comenzando desde la última actividad).
6. Calcular los tiempos de holgura, es decir, la diferencia entre los tiempos próximos y los tiempos remotos.

La ruta crítica será aquella en la que no existan tiempos de holgura, es decir, los tiempos próximos serán iguales a los tiempos remotos, como se muestra en rojo en la Figura 2.5. Es importante considerar que puede haber más de una ruta crítica.

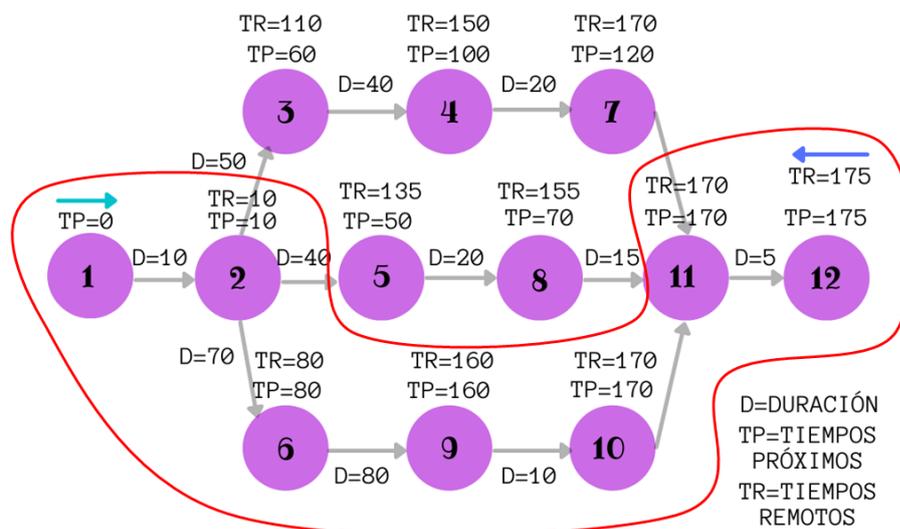


Figura 2.5: Método de la ruta crítica

2.3.1.5. Metodología del PMBOK®

Desarrollada por el Project Management Institute (PMI®)[4], es un conjunto de estándares, procesos, terminologías y pautas que se aceptan como buenas prácticas en el desarrollo de proyectos. Se centran en cinco grupos de proceso:

- **Procesos de inicio:** Realizados para definir un nuevo proyecto o nueva fase de un proyecto existente.
- **Procesos de planificación:** Requeridos para establecer el alcance del proyecto, definir objetivos y el curso de acción requerido para cumplir lo propuesto.
- **Procesos de ejecución:** Realizados para completar el trabajo definido en el plan, para satisfacer los requisitos del proyecto.
- **Procesos de monitoreo y control:** Requeridos para hacer seguimientos, analizar y regular el progreso y desempeño del proyecto, identificar áreas en las que el plan requiera cambios y llevarlos a cabo.

- **Procesos de cierre:** Llevados a cabo para completar o cerrar formalmente el proyecto, fase o contrato.

Los procesos también se categorizan en áreas de conocimiento, las cuales están definidas como: un área identificada de la dirección de proyectos, definida por sus requisitos de conocimientos y que se describe en términos de procesos, prácticas, entradas, salidas, herramientas y técnicas que la componen. A pesar de que las áreas de conocimiento están interrelacionadas, se definen por separado. La mayoría de los proyectos utilizan las diez áreas de conocimiento descritas a continuación:

1. **Gestión de la integración del proyecto:** Incluye los procesos y actividades para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de dirección del proyecto dentro de los grupos de procesos de la dirección de proyectos.
2. **Gestión del alcance del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para garantizar que el proyecto incluye todo el trabajo requerido y únicamente el trabajo requerido para completarlo con éxito.
3. **Gestión del cronograma del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo.
4. **Gestión de los costos del proyecto:** Incluye los procesos involucrados en planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.
5. **Gestión de la calidad del proyecto:** Incluye los procesos para incorporar la política de la calidad de la organización en cuanto a la planificación, gestión y control de los requisitos de calidad del proyecto y el producto, a fin de satisfacer las expectativas de los interesados.
6. **Gestión de los recursos del proyecto:** Incluye los procesos para identificar, adquirir y gestionar los recursos necesarios para la conclusión exitosa del proyecto.
7. **Gestión de las comunicaciones del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para garantizar que la planificación, recopilación, creación, distribución, almacenamiento, recuperación, gestión, control, monitoreo y disposición final de la información del proyecto sean oportunos y adecuados.

8. **Gestión de los riesgos del proyecto:** Incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, análisis, planificación de respuesta, implementación de respuesta y monitoreo de los riesgos de un proyecto.
9. **Gestión de las adquisiciones del proyecto:** Incluye los procesos necesarios para la compra o adquisición de los productos, servicios o resultados requeridos por fuera del equipo del proyecto.
10. **Gestión de los interesados del proyecto:** Incluye los procesos requeridos para identificar a las personas, grupos u organizaciones que pueden afectar o ser afectados por el proyecto, para analizar las expectativas de los interesados y su impacto en el proyecto, y para desarrollar estrategias de gestión adecuadas a fin de lograr la participación eficaz de los interesados en las decisiones y en la ejecución del proyecto.

2.3.2. Metodología Ágil

Se crea en febrero del 2001, cuando diecisiete CEO de las principales empresas en desarrollo de software se reunieron en Utah, para compartir las mejores prácticas de cada compañía. Como resultado se obtuvo el “Manifiesto por el desarrollo ágil de software” [13], en el cual se plantean los cuatro valores en los que se basan:

- *Individuos e interacciones*, sobre procesos y herramientas
- *Software funcionando*, sobre documentación extensiva
- *Colaboración con el cliente*, sobre negociación contractual
- *Respuesta ante el cambio*, sobre seguir un plan

De estos valores, se derivan los doce principios del manifiesto ágil. Como se puede observar en realidad no es una metodología, sino un conjunto de principios para desarrollar proyectos. Cuando se refieren a una metodología ágil de gerencia de proyectos, generalmente se refieren a un proceso de diseño y construcción flexible e iterativo, lo que ayuda a responder a la imprevisibilidad. Actualmente la metodología ágil no es muy recomendada o usada en la industria química, sin embargo, se llega a utilizar de forma interna para el desarrollo de proyectos. Existen diversas metodologías o herramientas para poner en practica los valores y principios ágiles como los mencionados a continuación.

2.3.2.1. Metodología Scrum

El término de Scrum se encuentra originalmente en el Rugby, sin embargo, el método de trabajo se crea en 1986 en Japón, cuando Hirotaka Takeuchi e Ikujiro Nonaka[14] introducen el término en un artículo, hablando de una forma de aumentar la velocidad y la flexibilidad en el desarrollo de productos. En Scrum[15] se realizan entregas parciales y regulares del producto final, priorizadas por el beneficio que aportan al proyecto, por lo que se recomienda para proyectos que tengan alguna de las siguientes características:

- Con entornos complejos
- Dónde se necesite obtener resultados pronto
- Con requisitos cambiantes o poco definidos
- Cuándo la innovación, competitividad, flexibilidad y productividad son fundamentales
- Cuándo las entregas se alargan demasiado, los costos se disparan o la calidad no es aceptable
- Cuándo se necesita capacidad de reacción ante la competencia
- Cuándo la moral de los integrantes es baja y la rotación es alta
- Cuándo es necesario identificar y solucionar ineficiencias sistemáticamente
- Cuándo se quiere trabajar siguiendo un proceso especializado en el desarrollo del producto

El proceso de la metodología Scrum, se basa en tres pasos:

1. Planificación de la iteración
2. Ejecución de la iteración
3. Inspección y adaptación

2.3.2.2. Metodología Kanban

El sistema Kanban se crea en Toyota® en la década de los 50[16], como un plan de mejora necesario en la producción de automóviles. Se utilizaban tarjetas para señalar los procesos y materias primas, de ahí el nombre que proviene de las palabras japonesas Kan = visual y Ban = tarjetas. Se basa en los principios de:

- Visualización de todas las tareas
- Priorización según importancia y urgencia
- Seguimiento del tiempo

Es ideal para entornos donde las prioridades pueden cambiar con frecuencia. Se centra en medir los tiempos de entrega a partir del momento en que se informa la actividad a realizar. Se utilizan notas adhesivas en una pizarra o alguna herramienta en línea como Trello®, donde se categorizan las actividades en: tareas pendientes, tareas en proceso y tareas hechas, como se muestra en la Figura 2.6.



Figura 2.6: Metodología Kanban

Esto facilita la reorganización de actividades, la resolución de problemas, previene que las tareas se estanquen y permite ver cómo cualquier actividad nueva puede afectar al trabajo en curso.

Como se puede observar, existen muchas metodologías con las que se pueden gestionar los proyectos, dependerá de los ingenieros de proyectos, empresas y/o contratistas, elegir la que más les convenga (o la combinación de metodologías), con la que más se ajusten las necesidades del proyecto, si no se tiene algún procedimiento riguroso a seguir en la empresa, como parte de los procesos y cultura de cada organización.

Metodología propuesta

“Uno llega a ser grande por lo que lee y no por lo que escribe.”

-Borges-

En este capítulo se presenta la metodología propuesta, mediante el desglose de un ejemplo práctico. Así como, un poco de la teoría en la que está basada. En la Figura 5.1 (página 66) encontrarán el código QR y la dirección web, mediante las cuales se podrá acceder a la carpeta con los archivos correspondientes, en el presente capítulo se explicará el archivo nombrado “Metodologia_tesis_hidro_nafta”.

3.1. Teoría

Una de las actividades más importantes para cualquier empresa o persona que se dedique al desarrollo de proyectos IPC es, la proyección de proyectos. Por lo que, los evaluadores de proyectos deben ser cuidadosos al obtener la mejor y mayor cantidad de información disponible para modelar la situación real[17].

De acuerdo a Pablo Navarrete y William Cole[18], los principales ingredientes, en orden de importancia, para tener una estimación sólida son:

- Experiencia y sentido común
- Trabajo duro
- Técnicas o sistemas de estimación

La metodología propuesta, nos dará como resultado un estimado de orden de magnitud, el cual es necesario en las etapas tempranas del proyecto, debido a que nos ayuda a decidir si es viable o no. Está basado en el método de los factores de H.J. Lang[18], con la diferencia de que algunos de los factores utilizados están propuestos de acuerdo a la experiencia profesional del M.I. José Antonio Ortiz Ramírez. Además de que parte de una base de datos, la cual está definida como una recopilación organizada de información, que normalmente se almacena de forma electrónica en un sistema informático[19].

Por lo que se puede observar, la metodología cumple con los tres principales ingredientes, antes mencionados, para obtener una estimación sólida. A continuación se presentará a detalle la estructura de la metodología propuesta.

3.2. Metodología

La metodología está desarrollada en un archivo de excel, con varias pestañas, por lo que se irá explicando el contenido de cada pestaña.

3.2.1. Datos

En esta primera pestaña, denominada “Datos”, se encuentra la base de datos recopilada, dicha información se obtuvo principalmente de los HPI Construction Boxscore®[20] y se complementó con información de distintas empresas dedicadas a la construcción de plantas químicas, entre ellas Petróleos Mexicanos®. La base de datos contiene:

- Nombre del proceso
- La capacidad de la planta en miles y puede estar en cualquiera de las siguientes unidades:
 - barriles / día
 - pies cúbicos / día
 - pies cuadrados / día
 - metros cúbicos / día

- libras / año
 - litros / segundo
 - litros / año
 - galones / año
 - toneladas / día
 - toneladas / año
 - mega watt / hora
-
- El costo de la planta en millones de dólares
 - El número total de equipos
 - La compañía dueña de la tecnología
 - La compañía constructora
 - El año en el que se llevó a cabo el proyecto
 - El país en el que se llevó a cabo

Además de lo anterior, con ayuda de Visual Basic for Applications (VBA®)[21] y el año en el que se llevó a cabo el proyecto, se programaron los índices CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index®)[22] del año 1995 hasta el 2020, por lo que automáticamente en la columna “Índice CEPCI” aparecerá el índice correspondiente, en caso de que no se conozca el año en el que se llevó a cabo el proyecto aparecerá la leyenda “Año desconocido” y en caso de que el año no se encuentre dentro de los programados aparecerá la leyenda “Dato desconocido”. En las Figuras 3.1, 3.2, se muestra la programación en VBA.

```
Function CEPCI(x)

If x = "" Then
    CEPCI = "Año Desconocido"

ElseIf x = 1995 Then
    CEPCI = 381.1

ElseIf x = 1996 Then
    CEPCI = 381.7

ElseIf x = 1997 Then
    CEPCI = 386.5

ElseIf x = 1998 Then
    CEPCI = 389.5

ElseIf x = 1999 Then
    CEPCI = 390.6

ElseIf x = 2000 Then
    CEPCI = 394.1

ElseIf x = 2001 Then
    CEPCI = 394.3

ElseIf x = 2002 Then
    CEPCI = 395.6

ElseIf x = 2003 Then
    CEPCI = 402

ElseIf x = 2004 Then
    CEPCI = 444.2

ElseIf x = 2005 Then
    CEPCI = 468.2

ElseIf x = 2006 Then
    CEPCI = 499.6

ElseIf x = 2007 Then
    CEPCI = 525.4

ElseIf x = 2008 Then
    CEPCI = 575.4

ElseIf x = 2009 Then
    CEPCI = 521.9

ElseIf x = 2010 Then
    CEPCI = 550.8

ElseIf x = 2011 Then
    CEPCI = 586.7

ElseIf x = 2012 Then
    CEPCI = 584.6
```

Figura 3.1: Programación en VBA de índice CEPCI parte 1

```
ElseIf x = 2013 Then
    CEPCI = 567.3

ElseIf x = 2014 Then
    CEPCI = 576.1

ElseIf x = 2015 Then
    CEPCI = 556.8

ElseIf x = 2016 Then
    CEPCI = 541.7

ElseIf x = 2017 Then
    CEPCI = 567.5

ElseIf x = 2018 Then
    CEPCI = 603.1

ElseIf x = 2019 Then
    CEPCI = 607.5

ElseIf x = 2020 Then
    CEPCI = 596.2

Else
    CEPCI = "Dato Desconocido"

End If

End Function
```

Figura 3.2: Programación en VBA de índice CEPCI parte 2

En la sección correspondiente a “CEPCI actual”, deberá ingresarse de manera manual el valor más reciente, para que en la sección “Factor de actualización CEPCI”, se calcule automáticamente el valor necesario como se muestra en la ecuación 3.1. El valor que se encuentra originalmente como el CEPCI actual y que se tomó para el desarrollo de los ejemplos, corresponde al valor del año 2020, debido a que es el último dato anual que se tiene.

$$\text{Factor de actualización} = \frac{CEPCI_{\text{actual}}}{CEPCI_{\text{original}}} \quad (3.1)$$

Para el desglose del ejemplo a desarrollar en este capítulo, se tomará una planta de Hidrotratamiento de Nafta, ubicada en la fila 852 de la base de datos, con las siguientes características:

- La capacidad de la planta en miles de barriles / día = 57
- El costo de la planta en millones de dólares = 235
- El número total de equipos = 70
- La compañía dueña de la tecnología = SKEC
- La compañía constructora = SKEC
- El año en el que se llevó a cabo el proyecto = 2003
- El país en el que se llevó a cabo = Kuwait

Por lo que el Factor de actualización para el ejemplo queda como se muestra a continuación:

$$\text{Factor de actualización} = \frac{CEPCI_{actual}}{CEPCI_{original}}$$

$$\text{Factor de actualización} = \frac{596.2}{402}$$

$$\text{Factor de actualización} = 1.483084577$$

3.2.2. Método 1

En la segunda pestaña del archivo, nombrada “Método 1” se encuentra lo calculado a partir del costo total instalado de la planta.

En las primeras filas se repiten las secciones de la pestaña “Datos” y se tiene un espacio libre para copiar los datos requeridos de la planta a evaluar. Posteriormente, en la sección “Construction Hours”, primero se calcula el costo total instalado en dólares, como se muestra en la ecuación 3.2, utilizando el costo y el factor de actualización CEPCI.

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = \text{Cost (millones dolares)} \cdot (\text{ec.3.1}) \cdot 1000000 \quad (3.2)$$

Para el ejemplo se obtiene:

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = 235 (\text{millones dolares}) \cdot (1.483084577) \cdot 1000000$$

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = 348'524,875.62$$

Considerando que el 38 % (factor de mano de obra, de Lang)[18] del costo total instalado, corresponde al costo de mano de obra de la construcción y tomando el costo por hora de 50 dólares, se calculan las horas preliminares de construcción como se muestra en las ecuaciones 3.3 y 3.4.

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = (\text{ec.3.2}) \cdot \text{Construction Labor Factor} \quad (3.3)$$

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = (348'524,875.62) \cdot 0.38$$

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = 132'439,452.74$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = \frac{(ec.3.3)}{50} \quad (3.4)$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = \frac{(132'439,452.74)}{50}$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = 2'648,789.05$$

Después, en la sección “Engineering Hours”, nuevamente utilizando el cálculo del costo total instalado (ec. 3.2), considerando un factor de ingeniería (de Lang) del 16% [18] y un costo promedio por hora de ingeniería de 75 dólares por hora (considerando todas las disciplinas y niveles de ingenieros), se calculan las horas preliminares de ingeniería como se muestra en las ecuaciones 3.5 y 3.6.

$$\text{Engineering Cost (USD)} = (ec.3.2) \cdot \text{Engineering Factor} \quad (3.5)$$

$$\text{Engineering Cost (USD)} = (348'524,875.62) \cdot 0.16$$

$$\text{Engineering Cost (USD)} = 55'763,980.10$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = \frac{(ec.3.5)}{75} \quad (3.6)$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = \frac{(55'763,980.10)}{75}$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = 743,519.73$$

Posteriormente, en la sección “Process Design Hours”, considerando que el 12% (factor de diseño del proceso, de Lang)[18] de las horas de ingeniería (ec. 3.6) corresponden a ingeniería de proceso, se calculan las horas preliminares del diseño del proceso, como se muestra en la ecuación 3.7.

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = (\text{ec.3.6}) \cdot \text{Process Design Factor} \quad (3.7)$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = (743, 519.73) \cdot 0.12$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = 89, 222.37$$

3.2.3. Método 2

En la tercera pestaña del archivo, nombrada “Método 2” se encuentra lo calculado a partir del costo total instalado a partir del número de equipos de la planta.

Nuevamente, en las primeras filas se repiten las secciones de la pestaña “Datos” y se tiene un espacio libre para copiar los datos requeridos de la planta a evaluar, el cual se copia automáticamente de lo colocado en esa sección en la pestaña “Método 1”. Después en la sección “Total Installed Cost”, se calcula el costo total instalado, a partir del número de equipos que tenga la planta, un factor de equipos (en miles), tomado de Navarrete y Cole[18]; en este caso se programó con el factor más alto (500) para considerar la actualización de los factores desde la publicación del libro, así como todos los tipos de plantas que se pueden tener, además de un factor de crecimiento (de Lang) de 1.25[18], el cálculo correspondiente se muestra en la ecuación 3.8.

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = \text{Equipment Number} \cdot \text{Equipment Factor} \cdot \text{Growth Factor} \cdot 1000 \quad (3.8)$$

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = 70 \cdot 500 \cdot 1.25 \cdot 1000$$

$$\text{Total Installed Cost (USD)} = 43'750,000$$

Después, en las secciones “Construction Hours” y “Engineering Hours”, se calculan nuevamente las horas preliminares de construcción e ingeniería con ayuda de las ecuaciones mencionadas en la sección anterior, con la diferencia de que ahora el costo total instalado se tomará de acuerdo a la ecuación 3.8. Para nuestro ejemplo quedaría:

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = (\text{ec.3.8}) \cdot \text{Construction Labor Factor} \quad (3.9)$$

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = (43'750,000) \cdot 0.38$$

$$\text{Construction Labor Cost (USD)} = 16'625,000$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = \frac{(\text{ec.3.9})}{50} \quad (3.10)$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = \frac{(16'625,000)}{50}$$

$$\text{Preliminar Construction (H)} = 332,500$$

$$\text{Engineering Cost (USD)} = (ec.3.8) \cdot \text{Engineering Factor} \quad (3.11)$$

$$\text{Engineering Cost (USD)} = (43'750,000) \cdot 0.16$$

$$\text{Engineering Cost (USD)} = 7'000,000$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = \frac{(ec.3.11)}{75} \quad (3.12)$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = \frac{(7'000,000)}{75}$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = 93,333.33$$

Posteriormente, en la sección “Process Design Hours”, con ayuda del número de equipos de la planta y tres factores[18], dependiendo del tipo de proceso a realizar, se calculan tres rangos de horas de diseño del proceso, los cuales se explican a continuación:

- **Low Range = 30:** Se utiliza cuando:
 - El proceso es simple
 - El equipo es simple
 - Se está repitiendo el proyecto (se están utilizando manuales de la primera fase)
 - Todo se llevará a cabo en la misma compañía
- **Average Range = 75**
- **High Range = 150:** Se utiliza cuando:
 - Es tecnología nueva
 - El proceso es peligroso

- El proceso es complejo
- Los equipos son muy grandes
- No se sabe exactamente el número de equipos
- Hay varias opciones del proceso
- Se ejecutará por un contratista

En este caso, el programa calcula automáticamente los tres rangos por lo que quedaría como se muestra a continuación:

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{Low Range Factor} \quad (3.13)$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = (70) \cdot 30$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = 2,100$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{Average Range Factor} \quad (3.14)$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = (70) \cdot 75$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = 5,250$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{High Range Factor} \quad (3.15)$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = (70) \cdot 150$$

$$\text{Preliminar Process Design (H)} = 10,500$$

3.2.4. Método 3

En la cuarta pestaña, llamada “Método 3” se encuentra lo calculado a partir del número de equipos de la planta y factores.

Como en la pestaña anterior, se encuentra la sección con los datos requeridos de la planta, el cual se copia automáticamente de lo colocado en las pestañas anteriores. Posteriormente, considerando un factor de Lang de hora hombre por equipo de 1700[18] y un factor de crecimiento de 1.3[18], se calculan las horas de construcción del diseño conceptual, como se muestra en la ecuación 3.16.

$$\text{Conceptual Design (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{Equipment Factor} \cdot \textit{Growth Factor} \quad (3.16)$$

$$\text{Conceptual Design (H)} = 70 \cdot 1700 \cdot 1.3$$

$$\text{Conceptual Design (H)} = 154,700$$

Después, se calculan las horas preliminares de construcción de la fase 0 de diseño, utilizando nuevamente el número de equipos en la planta, el factor de hora hombre por equipo y un factor de crecimiento de 1.1[18], la ecuación 3.17 muestra el procedimiento.

$$\text{Preliminar Design Phase0 (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{Equipment Factor} \cdot \textit{Growth Factor} \quad (3.17)$$

$$\text{Preliminar Design Phase0 (H)} = 70 \cdot 1700 \cdot 1.1$$

$$\text{Preliminar Design Phase0 (H)} = 130,900$$

Para el cálculo de las horas preliminares de construcción del diseño de la fase 1, nuevamente se utiliza el número de equipos de la planta, el factor de hora hombre por equipo y un factor de crecimiento de 1.05[18], el cálculo queda como se muestra en la ecuación 3.18.

$$\text{Preliminar Design Phase1 (H)} = \textit{Equipment Number} \cdot \textit{Equipment Factor} \cdot \textit{Growth Factor} \quad (3.18)$$

$$\text{Preliminar Design Phase1 (H)} = 70 \cdot 1700 \cdot 1.05$$

$$\text{Preliminar Design Phase1 (H)} = 124,950$$

Después, se calculan las horas preliminares de ingeniería, utilizando el número de equipos, un factor de horas de ingeniería por equipo de 650[18] y un factor de ingeniería de 1.25[18], el cálculo queda como se muestra en la ecuación 3.19.

$$\begin{aligned} \text{Preliminar Engineering (H)} &= \text{Equipment Number} \\ &\cdot \text{Engineering Factor per item} \cdot \text{Engineering Factor} \quad (3.19) \end{aligned}$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = 70 \cdot 278 \cdot 1.25$$

$$\text{Preliminar Engineering (H)} = 24,325$$

3.2.5. Resultados

En la quinta pestaña denominada “Resultados”, se encuentran los resultados finales, obtenidos a partir de los cálculos de las pestañas antes mencionadas. En primera instancia, se calcula el promedio de las horas de ingeniería y las horas de construcción, como se muestra en las ecuaciones 3.20 y 3.21.

$$\text{Average Engineering (H)} = \left(\frac{\text{Metodo 1} + \text{Metodo 2} + \text{Metodo 3}}{3} \right) \quad (3.20)$$

$$\text{Average Engineering (H)} = \left(\frac{ec\ 3.6 + ec\ 3.12 + ec\ 3.19}{3} \right)$$

$$\text{Average Engineering (H)} = \left(\frac{743,519.73 + 93,333.33 + 56,875}{3} \right)$$

$$\text{Average Engineering (H)} = 297,909.36$$

$$\text{Average Construction (H)} = \left(\frac{\text{Metodo 1} + \text{Metodo 2} + \text{Metodo 3}}{3} \right) \quad (3.21)$$

$$\text{Average Construction (H)} = \left(\frac{ec\ 3.4 + ec\ 3.10 + ec\ 3.16}{3} \right)$$

$$\text{Average Construction (H)} = \left(\frac{2'648,789.05 + 332,500 + 154,700}{3} \right)$$

$$\text{Average Construction (H)} = 1'045,329.68$$

Después, con el promedio de las horas de construcción y la ecuación 3.22 tomada del Planning, Estimating, and Control of Chemical Construction Projects[18] mostrada en la Figura 3.3, se calcula la duración de la etapa de construcción.

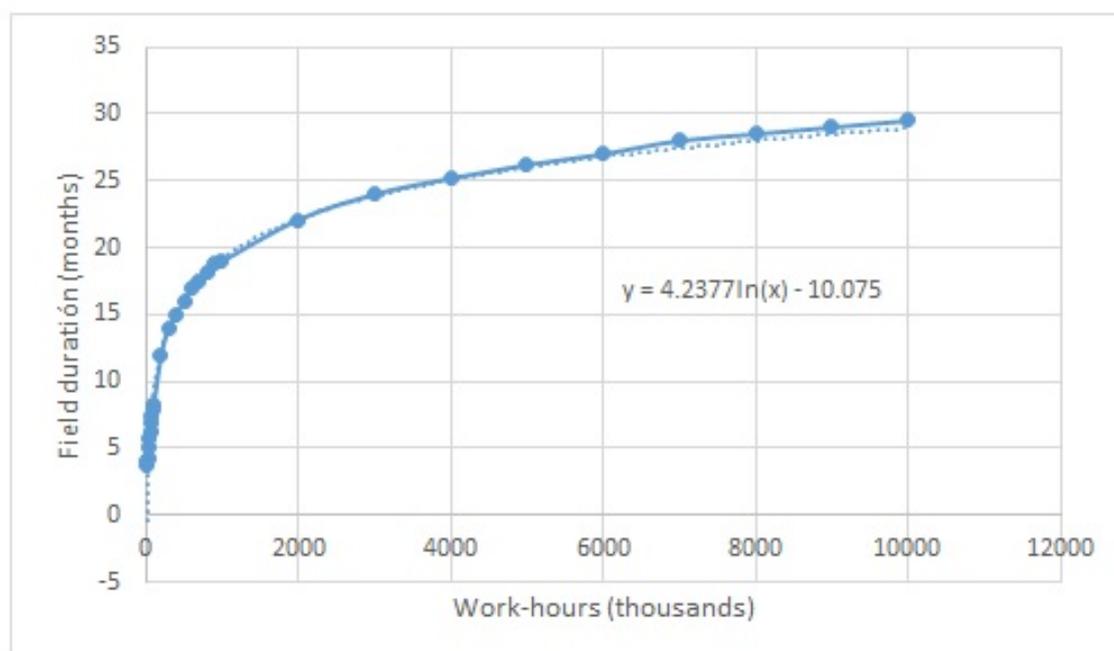


Figura 3.3: Duración de la etapa de construcción

$$\text{Duration (Months)} = 4.2377 \cdot \ln\left(\frac{\text{Construction hours}}{1000}\right) - 10.075 \quad (3.22)$$

$$\text{Duration (Months)} = 4.2377 \cdot \ln\left(\frac{\text{ec. 3.21}}{1000}\right) - 10.075$$

$$\text{Duration (Months)} = 4.2377 \cdot \ln\left(\frac{1'045,329.68}{1000}\right) - 10.075$$

$$\text{Duration (Months)} = 19.39$$

Después, se calcula el personal promedio necesario para la construcción, con ayuda del promedio de horas de construcción ecuación 3.21, los meses obtenidos en la ecuación 3.22 y considerando jornadas de 8 horas al día 5 días a la semana, es decir 160 horas al mes, el cálculo quedaría como se muestra en la ecuación 3.23.

$$\text{Construction Staff} = \frac{\text{Construction hours}}{\text{Construction months} \cdot 160} \quad (3.23)$$

$$\text{Construction Staff} = \frac{\text{ec 3.21}}{\text{ec 3.22} \cdot 160}$$

$$\text{Construction Staff} = \frac{1'045,329.68}{19.39 \cdot 160}$$

$$\text{Construction Staff} = 337.01$$

Para la etapa cumbre de la construcción, se considera un factor de 1.6 del personal promedio que habrá en la construcción (ec. 3.23), por lo que en ese momento se tendrán aproximadamente 539 personas trabajando, como se muestra en la ecuación 3.24.

$$\text{Construction Peak Staff} = \text{Construction Staff} \cdot 1.60 \quad (3.24)$$

$$\text{Construction Peak Staff} = ec\ 3.23 \cdot 1.60$$

$$\text{Construction Peak Staff} = 337.01 \cdot 1.60$$

$$\text{Construction Peak Staff} = 539.22$$

Debido a que normalmente la etapa de construcción de una planta química corresponde al 80 % de la duración del proyecto[18], la duración final quedaría como se muestra en la ecuación 3.25.

$$\text{Total Duration (Months)} = \frac{\text{Construction months}}{0.80} \quad (3.25)$$

$$\text{Total Duration (Months)} = \frac{ec\ 3.22}{0.80}$$

$$\text{Total Duration (Months)} = \frac{19.39}{0.80}$$

$$\text{Total Duration (Months)} = 24.23$$

La diferencia de tiempo entre la duración de la construcción y la duración del proyecto corresponde al “lead time” o “ingeniería básica extendida”, que es el tiempo necesario para el desarrollo de la ingeniería y las actividades de procura necesarias para poder comenzar con la construcción. Es importante considerar que dicho tiempo no debe ser menor a tres meses[18], por lo que se programó en VBA la función necesaria para que al hacer la resta correspondiente a la ecuación 3.26 el resultado sea automáticamente de mínimo tres meses para dicho periodo, en la Figura 3.4 se muestra la programación hecha.

$$\text{Engineering Lead Time (Months)} = \text{Total Duration} - \text{Construction Duration} \quad (3.26)$$

$$\text{Engineering Lead Time (Months)} = ec\ 3.25 - ec\ 3.22$$

$$\text{Engineering Lead Time (Months)} = 24.23 - 19.39$$

$$\text{Engineering Lead Time (Months)} = 4.80$$

```
Function LEAD_TIME(N)
    If N <= 3 Then
        LEAD_TIME = "3"
    Else
        LEAD_TIME = ROUND(N, 1)
    End If
End Function
```

Figura 3.4: Programación en VBA de la función de lead time

Posteriormente, utilizando las horas promedio de ingeniería (ec. 3.20), considerando que el 35% de las horas de ingeniería se llevan a cabo durante el periodo lead[18], con jornadas de 8 horas al día 5 días a la semana, es decir 160 horas al mes y un factor de 1.60 en la etapa cumbre, se calculan las horas de ingeniería en el periodo lead, el personal promedio necesario y el personal necesario en la etapa cumbre de ingeniería como se muestra en las ecuaciones 3.27, 3.28 y 3.29.

$$\text{Engineering During Lead Time (H)} = \text{Engineering Hours} \cdot 0.35 \quad (3.27)$$

$$\text{Engineering During Lead Time (H)} = ec\ 3.20 \cdot 0.35$$

$$\text{Engineering During Lead Time (H)} = 297,909.36 \cdot 0.35$$

$$\text{Engineering During Lead Time (H)} = 104,268.27$$

$$\text{Engineering Staff} = \frac{\text{Engineering During Lead Time (H)}}{\text{Engineering Lead Time (months)} \cdot 160} \quad (3.28)$$

$$\text{Engineering Staff} = \frac{ec\ 3.27}{ec\ 3.26 \cdot 160}$$

$$\text{Engineering Staff} = \frac{104,268.27}{4.80 \cdot 160}$$

$$\text{Engineering Staff} = 135.77$$

$$\text{Engineering Peak Staff} = \text{Engineering Staff} \cdot 1.60 \quad (3.29)$$

$$\text{Engineering Peak Staff} = ec\ 3.28 \cdot 1.60$$

$$\text{Engineering Peak Staff} = 135.77 \cdot 1.60$$

$$\text{Engineering Peak Staff} = 217.2$$

A partir de los factores utilizados en la pestaña “Método 1”, se puede encontrar que la relación entre la ingeniería y la construcción corresponde al 42% por lo que, para calcular el tiempo total de ingeniería utilizamos la duración de la construcción (ec. 3.22) y la relación encontrada como se muestra en la ecuación 3.30.

$$\text{Total Engineering Period (months)} = \text{Construction Duration} \cdot 0.42 \quad (3.30)$$

$$\text{Total Engineering Period (months)} = ec\ 3.22 \cdot 0.42$$

$$\text{Total Engineering Period (months)} = 19.39 \cdot 0.42$$

$$\text{Total Engineering Period (months)} = 8.17$$

Después, para calcular las horas de ingeniería básica, se considera la relación de 30 %, por lo que la duración en horas y meses de ingeniería básica queda como se muestra en las ecuaciones 3.31 y 3.32.

$$\text{Basic Engineering (H)} = \text{Engineering Hours} \cdot 0.30 \quad (3.31)$$

$$\text{Basic Engineering (H)} = ec\ 3.20 \cdot 0.30$$

$$\text{Basic Engineering (H)} = 297,909.36 \cdot 0.30$$

$$\text{Basic Engineering (H)} = 89,372.81$$

$$\text{Basic Engineering Duration (Months)} = \text{Total Engineering Period} \cdot 0.30 \quad (3.32)$$

$$\text{Basic Engineering Duration (Months)} = ec\ 3.30 \cdot 0.30$$

$$\text{Basic Engineering Duration (Months)} = 8.17 \cdot 0.30$$

$$\text{Basic Engineering Duration (Months)} \approx 2.5$$

Para calcular las horas de ingeniería de detalle, se considera la relación de 70 %, por lo que la duración en horas y meses de ingeniería de detalle queda como se muestra en las ecuaciones 3.33 y 3.34.

$$\text{Detail Engineering (H)} = \text{Engineering Hours} \cdot 0.70 \quad (3.33)$$

$$\text{Detail Engineering (H)} = ec\ 3.20 \cdot 0.70$$

$$\text{Detail Engineering (H)} = 297,909.36 \cdot 0.70$$

$$\text{Detail Engineering (H)} = 208,536.55$$

$$\text{Detail Engineering Duration (Months)} = \text{Total Engineering Period} \cdot 0.70 \quad (3.34)$$

$$\text{Detail Engineering Duration (Months)} = ec\ 3.30 \cdot 0.70$$

$$\text{Detail Engineering Duration (Months)} = 8.17 \cdot 0.70$$

$$\text{Detail Engineering Duration (Months)} \approx 5.7$$

Después, se calcula el número de ingenieros necesarios para la etapa de ingeniería de detalle, considerando jornadas laborales de 160 horas al mes, por lo que el cálculo queda como se muestra en la ecuación 3.35.

$$\text{Detail Engineering Staff} = \frac{\text{Detail Engineering (H)}}{\text{Detail Engineering Time (months)} \cdot 160} \quad (3.35)$$

$$\text{Detail Engineering Staff} = \frac{ec\ 3.33}{ec\ 3.34 \cdot 160}$$

$$\text{Detail Engineering Staff} = \frac{208,536.55}{5.7 \cdot 160}$$

$$\text{Detail Engineering Staff} = 227.9$$

Posteriormente, se calcula el promedio de las horas de ingeniería de proceso calculadas con el “Método 1” y el “Método 2” (en este caso se utilizará el rango promedio), como se muestra en la ecuación 3.36.

$$\text{Average Process Engineering (H)} = \frac{\text{Process Hours Method 1} + \text{Process Hours Method 2}}{2} \quad (3.36)$$

$$\text{Average Process Engineering (H)} = \frac{ec\ 3.7 + ec\ 3.14}{2}$$

$$\text{Average Process Engineering (H)} = \frac{89,222.37 + 5,250}{2}$$

$$\text{Average Process Engineering (H)} = 47,236.18$$

Después, considerando que el 70% de la ingeniería de proceso se lleva a cabo durante la ingeniería básica, se calculan las horas y los meses de ingeniería de proceso que se llevará a cabo durante la etapa de ingeniería básica, como se muestra en las ecuaciones 3.37 y 3.38.

$$\text{Hours During Basic Engineering Period} = \textit{Average Process Engineering} \cdot 0.70 \quad (3.37)$$

$$\text{Hours During Basic Engineering Period} = ec\ 3.36 \cdot 0.70$$

$$\text{Hours During Basic Engineering Period} = 47,236.18 \cdot 0.70$$

$$\text{Hours During Basic Engineering Period} = 33,065.33$$

$$\text{Months During Basic Engineering Period} = \textit{Basic Engineering Duration} \cdot 0.70 \quad (3.38)$$

$$\text{Months During Basic Engineering Period} = ec\ 3.32 \cdot 0.70$$

$$\text{Months During Basic Engineering Period} = 2.5 \cdot 0.70$$

$$\text{Months During Basic Engineering Period} = 1.75$$

Para calcular el número de ingenieros de proceso necesarios durante la etapa de ingeniería básica, nuevamente se consideran las 160 horas al mes como se muestra en la ecuación 3.39.

$$\text{Process Engineering Staff During Basic Period} = \frac{\text{Hours During Basic Engineering Period}}{\text{Months During Basic Engineering Period} \cdot 160} \quad (3.39)$$

$$\text{Process Engineering Staff During Basic Period} = \frac{ec\ 3.37}{ec\ 3.38 \cdot 160}$$

$$\text{Process Engineering Staff During Basic Period} = \frac{33,065.33}{1.75 \cdot 160}$$

$$\text{Process Engineering Staff During Basic Period} = 118.09$$

El 30 % restante de la ingeniería de proceso se lleva a cabo durante la etapa de ingeniería de detalle, por lo que se calculan las horas y meses destinados a la ingeniería de proceso durante la ingeniería de detalle como se muestra en las ecuaciones 3.40 y 3.41.

$$\text{Hours During Detail Engineering Period} = \text{Average Process Engineering} \cdot 0.30 \quad (3.40)$$

$$\text{Hours During Detail Engineering Period} = ec\ 3.36 \cdot 0.30$$

$$\text{Hours During Detail Engineering Period} = 47,236.18 \cdot 0.30$$

$$\text{Hours During Detail Engineering Period} = 14,170.86$$

$$\text{Months During Detail Engineering Period} = \text{Detail Engineering Duration} \cdot 0.30 \quad (3.41)$$

$$\text{Months During Detail Engineering Period} = ec\ 3.34 \cdot 0.30$$

$$\text{Months During Detail Engineering Period} = 5.70 \cdot 0.30$$

$$\text{Months During Detail Engineering Period} = 1.71$$

Después, se calculan los ingenieros de proceso durante la etapa de ingeniería de detalle como se muestra en la ecuación 3.42.

$$\text{Process Engineering Staff During Detail Period} = \frac{\text{Hours During Detail Engineering Period}}{\text{Months During Detail Engineering Period} \cdot 160} \quad (3.42)$$

$$\text{Process Engineering Staff During Detail Period} = \frac{ec\ 3.40}{ec\ 3.41 \cdot 160}$$

$$\text{Process Engineering Staff During Detail Period} = \frac{14,170.86}{1.71 \cdot 160}$$

$$\text{Process Engineering Staff During Detail Period} = 51.79$$

3.2.6. Gantt

En la sexta pestaña denominada “Gantt”, se encuentra el Diagrama de Gantt generado a partir de los resultados obtenidos en la pestaña anterior. En la tabla correspondiente se tienen las secciones de:

- Actividades
- Fecha de inicio de la actividad
- Duración en días
- Fecha de término de la actividad

En la fecha de inicio de la actividad de “Start/Inicio” se tiene que colocar manualmente la fecha en la que se quiere iniciar el proyecto, en este caso se eligió el 01 de enero del 2022, esta actividad tiene una duración de un día por lo que termina el 02 de enero del 2022.

La actividad del “Lead Period/Ing. Básica Extendida” toma como fecha de inicio la fecha de término de la actividad anterior y considerando los meses de duración de dicho periodo (ecuación 3.26) multiplicado por 30 días se obtienen los días de duración como se muestra en la ecuación 3.43.

$$\text{Days of Lead Period} = \text{Engineering Lead Time} \cdot 30 \quad (3.43)$$

$$\text{Days of Lead Period} = ec. 3.26 \cdot 30$$

$$\text{Days of Lead Period} = 4.8 \cdot 30$$

$$\text{Days of Lead Period} = 144$$

Dichos días se le suman a la fecha de inicio de la actividad y se tiene como fecha final el 26 de mayo del 2022.

Para la actividad de “Basic Engineering/Ingeniería Básica”, se toma la misma fecha de fin de inicio del proyecto (02 de enero del 2022) y considerando los meses de duración de periodo (ecuación 3.32), multiplicado por 30 días se obtienen los días de duración como se muestra en la ecuación 3.44.

$$\text{Days of Basic Engineering Period} = \text{Basic Engineering Duration} \cdot 30 \quad (3.44)$$

$$\text{Days of Basic Engineering Period} = ec. 3.32 \cdot 30$$

$$\text{Days of Basic Engineering Period} = 2.5 \cdot 30$$

$$\text{Days of Basic Engineering Period} = 75$$

Estos días se le suman a la fecha de inicio de la actividad y la fecha final sería 18 de marzo del 2022. Fecha en la que iniciará la siguiente actividad, de “Detail Engineering/Ingeniería de Detalle”, los días de duración se obtienen como se muestra en la ecuación 3.45.

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = \text{Detail Engineering Duration} \cdot 30 \quad (3.45)$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = ec. 3.34 \cdot 30$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = 5.7 \cdot 30$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = 171$$

Al sumar los días a la fecha de inicio de la actividad, se obtiene como fecha de término el 05 de septiembre del 2022.

Para la actividad de “Construction & Procurement/Procura y Construcción”, se toma como fecha de inicio de la actividad, la fecha de término de la actividad “Lead Period/Ing. Básica Extendida” (26 de mayo del 2022), los días de duración se obtienen como se muestra en la ecuación 3.46.

$$\text{Days of Construction Procurement Period} = \text{Construction Duration} \cdot 30 \quad (3.46)$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = ec. 3.22 \cdot 30$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = 19.4 \cdot 30$$

$$\text{Days of Detail Engineering Period} = 582$$

Por lo que la fecha de término de la actividad sería el 29 de diciembre del 2023. Fecha en la que inicia la última actividad denominada “End/Fin”, la cual tiene una duración de un día, por lo que el fin del proyecto es el 30 de diciembre del 2023.

Adicional a lo anterior, se agregó al diagrama de Gantt el tiempo en el que ingeniería básica y de detalle pudiera apoyar en el proyecto. Para ingeniería básica el tiempo de apoyo sería desde el momento en el que termina el periodo establecido para ingeniería básica (18 de marzo del 2022), hasta la finalización del proyecto (29 de diciembre del 2023), en dicho periodo el apoyo requerido sería para realizar alguna modificación, resolver alguna duda existente, verificar información, etc. Mientras que ingeniería de detalle realiza apoyos planificados conforme avance la procura y construcción al 10 %, 30 %, 60 %, 90 % y 100 %, para ir actualizando los modelos 3D y la matriz de revisiones.

De acuerdo con ICA Fluor Daniel®, algunas de las cosas que se deben realizar en cada actualización son las siguiente :

- Al 10 %:
 - Para los Modelos Bidimensionales Inteligentes (MEBI):
 - Revisión de los elementos a dibujar, líneas, colores y pesos de líneas estén dentro de normatividad y de la simbología definida
 - Revisión de la configuración inicial del sistema 2D, así como los atributos dados de alta para la elaboración de los DTI's inteligentes, los diagramas eléctricos, las hojas de datos y diagramas de lazo de instrumentación
 - Para los Modelos Tridimensionales Inteligentes (METI):
 - Revisión de la configuración inicial del sistema 3D, los gráficos por especialidad, así como los atributos mostrados en la plataforma de diseño como en el visualizador, para la elaboración de los modelos de todas las especialidades
 - Revisión y entrega de los procedimientos aplicables al desarrollo asistido por computadora
 - Supervisión de la arquitectura del hardware y software del contratista con su respectiva documentación de licenciamiento

- Al 30 %:
 - Reporte completo de interferencias para sistemas enterrados
 - Evidencia de la entrega mensual de lo siguiente:
 - Bases de datos y archivos del MEBI-METI, con la integración de sus atributos relacionados para visualizarlos en el navegador correspondiente
 - Actualización de los reportes de inconsistencias entre aplicaciones 2D y 3D
 - Comentarios de la revisión del MEBI
 - Ingeniería básica extendida de los DTI's mostrada en el modelo

- Diagramas de flujo de proceso congelado
- Entrega preliminar de las listas de líneas de tuberías, instrumentos, válvulas y listas de equipo, junto con la revisión de los atributos hasta dicho avance en cada componente
- Modelos preliminares y planos de localización de las siguientes disciplinas:
 - Civil:
 - ◊ Terracería y pavimentos
 - ◊ Drenajes
 - ◊ Cimentaciones
 - ◊ Estructuras
 - Arquitectura: Envolvertes de edificios
 - Mecánico: Equipos especiales con sus boquillas
 - Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC)
 - Tuberías
 - Eléctrico:
 - ◊ MEBI-Eléctrico
 - ◊ METI-Eléctrico:
 - ◊ Equipos
 - ◊ Ductos y charolas
 - ◊ Clasificación de áreas
 - Instrumentación:
 - ◊ MEBI-Instrumentación
 - ◊ METI-Instrumentación
 - ◊ Instrumentos
 - ◊ Ductos y charolas
 - Telecomunicaciones:
 - ◊ Circuito de TV
 - ◊ Intercomunicaciones y voiceo
 - ◊ Telefonía
 - ◊ Cableado

- Seguridad Industrial:
 - ◇ Rutas de evacuación
 - ◇ Contraincendio
 - Verificación de los puntos mínimos de seguridad multidisciplinaria
-
- Al 60 %:
 - Comentarios incorporados de la revisión B del modelo y el Hazard and Operability Study (HAZOP)
 - Reporte completo de interferencias
 - Evidencia de la entrega mensual de lo descrito en el avance al 30 % además de:
 - Mostrar todos los documentos electrónicos emitidos hasta su última revisión ligados al METI
 - Implementación de los comentarios hechos en las revisiones pasadas y del HAZOP en los modelos de cada disciplina mencionada en el avance al 30 %, además de:
 - Puesta en servicio:
 - ◇ Líneas de arranque
 - ◇ Numeración de circuitos
 - ◇ Requerimientos especiales de limpieza
 - ◇ Requerimientos de equipos para limpieza de tuberías

- Al 90 %:
 - Comentarios incorporados de las revisión C del modelo
 - Reporte completo de interferencias y modelado
 - Evidencia de la entrega mensual de lo descrito en el avance al 30 % y 60 % además de:
 - Incorporación de los comentarios de la revisión anterior y de la revisión de constructabilidad
 - Implementación de los comentarios hechos en las revisiones pasadas en los modelos definitivos de cada disciplina mencionada en el avance al 30 % y 60 %

- Al 100 %:
 - Comentarios incorporados de la revisión D del modelo
 - Evidencia de la entrega mensual de lo descrito en el avance al 30 %, 60 % y 90 % además de:
 - Reportes de no interferencias
 - Modelados de todos los elementos especificados sin errores o falta de información gráfica
 - Documentos electrónicos en su versión aprobada que fueron incorporados al METI
 - Todos los documentos electrónicos emitidos hasta su última revisión ligados METI
 - Revisión de cada componente y su liga con la información de los libros de documentos
 - Incorporación de los comentarios hechos en revisiones pasadas a los documentos aprobados en su última versión mencionados en el avance al 30 %, 60 % y 90 %

- As Built:
 - Documentos especificados en cada avance en su revisión final

La tabla que aparece en el archivo es la que se encuentra en la Figura 3.5 y el diagrama de Gantt se muestra en la Figura 3.6.

ACTIVIDAD	FECHA DE INICIO	DURACIÓN (DÍAS)	FECHA DE TÉRMINO
Start/Inicio	01/01/2022	1	02/01/2022
Lead Period/Ing. Básica Extendida	02/01/2022	144	26/05/2022
Basic Engineering/Ingeniería Básica	02/01/2022	75	18/03/2022
Basic Engineering support/Apoyo de Ing. Básica	18/03/2022	651	29/12/2023
Detail Engineering/Ingeniería de Detalle	18/03/2022	171	05/09/2022
Detail Eng. support 10%/Apoyo de Ing. De Detalle al 10%	17/05/2022	10	27/05/2022
Detail Eng. support 30%/Apoyo de Ing. De Detalle al 30%	06/11/2022	10	16/11/2022
Detail Eng. support 60%/Apoyo de Ing. De Detalle al 60%	30/04/2023	10	10/05/2023
Detail Eng. support 90%/Apoyo de Ing. De Detalle al 90%	21/10/2023	10	31/10/2023
Detail Eng. support 100%/Apoyo de Ing. De Detalle al 100%	19/12/2023	10	29/12/2023
Construction & Procurement/ Procura y Construcción	26/05/2022	582	29/12/2023
End/Fin	29/12/2023	1	30/12/2023

Figura 3.5: Tabla de fechas del Diagrama de Gantt

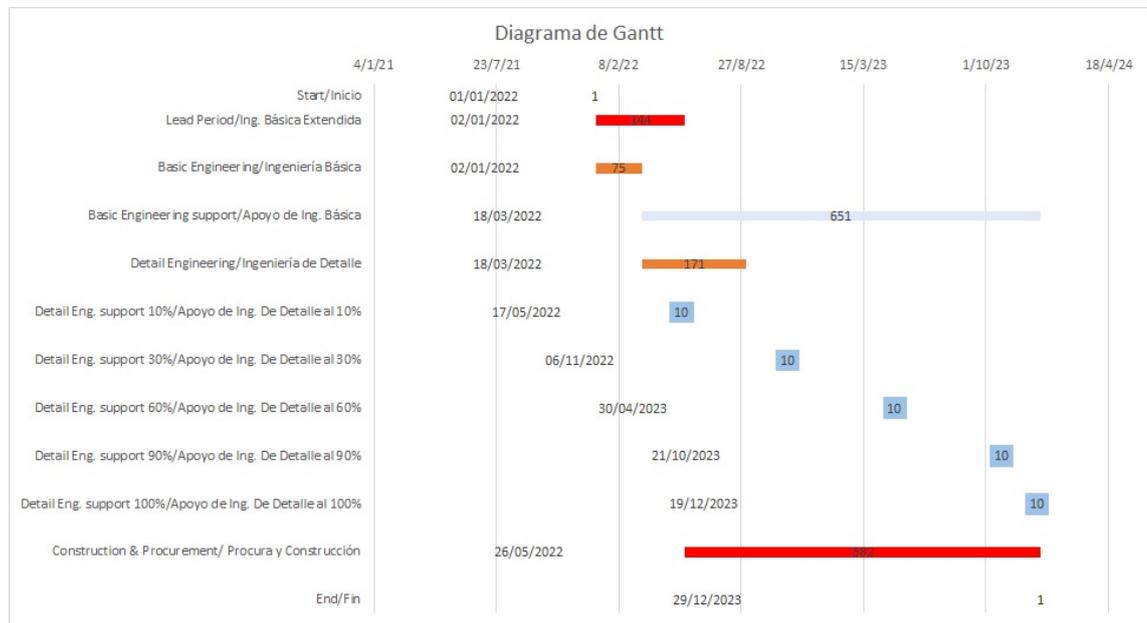


Figura 3.6: Diagrama de Gantt

Metodología de Aspen

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano.”

-Isaac Newton-

En el presente capítulo se explicará un poco de la metodología utilizada por el área de costos de Petróleos Mexicanos con el software Aspen Capital Cost Estimator®.

Aspen Capital Cost Estimator® es un software de Aspen Tech®[23], el cual te permite obtener estimados de costo de clase III y IV, dependiendo del grado de ingeniería que se tenga desarrollado. El software emplea las características del proceso y de las especificaciones de los equipos, ya sean calculadas por una simulación de proceso utilizando el software especializado de Aspen Plus® o Hysys®, o mediante la información obtenida en el desarrollo de la ingeniería básica.

El software permite cargar la información técnica necesaria de todo lo relacionado a una planta industrial, desde tuberías, pintura, equipos de proceso, hasta edificios. Como se puede observar en la Figura 4.1 están clasificados en siete apartados.

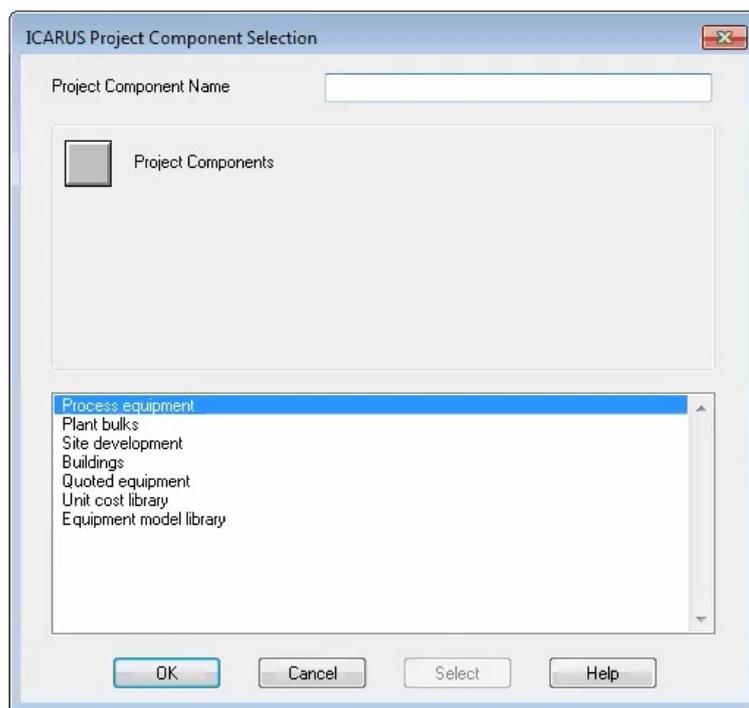


Figura 4.1: Recuadro de selección de componentes

De acuerdo a la información proporcionada, el software realizará el diseño de cada elemento, asignándole un peso como se muestra en la Figura 4.2. A partir del peso realizará un desglose de las horas hombres necesarias por disciplina, el costo de la mano de obra y del material necesario, como se puede ver en la Figura 4.3.

WEIGHT DATA		
Shell	6800	LBS
Tubes	24100	LBS
Heads	4000	LBS
Internals and baffles	2600	LBS
Nozzles	2000	LBS
Flanges	2000	LBS
Base ring and lugs	60	LBS
Tube sheet	1500	LBS
Saddles	390	LBS
Fittings and miscellaneous	210	LBS
Total weight per item	43700	LBS
Total weight	87400	LBS

Figura 4.2: Peso asignado a un intercambiador de tubos y coraza

Summary Costs			
Item	Material(USD)	Manpower(USD)	Manhours
Equipment&Setting	824400.	10572.	323
Piping	478678.	104329.	3139
Civil	6718.	7987.	299
Structural Steel	33260.	5809.	186
Instrumentation	63082.	13015.	386
Electrical	0.	0.	0
Insulation	109030.	67089.	2653
Paint	4896.	12266.	489
Subtotal	1520064	221067	7475

Total material and manpower cost=USD 1741100.

Figura 4.3: Desglose de costos de un intercambiador de tubos y coraza

Al terminar de cargarle al sistema la información necesaria de todos los componentes, se evalúa todo el proyecto y se generan los reportes correspondientes, que dan como resultado las horas hombre de ingeniería básica, ingeniería de detalle, de construcción, el costo total del proyecto, modelos volumétricos de cada componente, entre otros. Para ahondar más en la metodología se puede consultar el SIDP de Petróleos Mexicanos®[24], o el Aspen Icarus Reference Guide®.

Resultados

“Las ciencias aplicadas no existen, solo la aplicación de la ciencia.”

-Louis Pasteur-

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de cinco plantas diferentes, a través de la metodología explicada. Un comparativo de lo obtenido en cada una de ellas, contra los resultados de la metodología utilizada en Petróleos Mexicanos® (columnas con las siglas ACCE), así como las desviaciones correspondientes. Además de las áreas de oportunidad detectadas.

En la Tabla 5.1, se encuentran los resultados correspondientes al tiempo de construcción, expresados en horas hombre, de cada planta evaluada.

Planta	Capacidad (MBPD)	Estimado de construcción (HH)	Estimado de construcción ACCE (HH)	Desviación (%)
Hidrotratamiento de Nafta	57	1'045,329.68	728,557.44	30
Alquilación	18	697,500.93	741,213.44	-6
Destilación de crudo	135	1'464,054.63	1'846,777.28	-26
Coquizadora	20	1'816,125.87	1'422,461.09	22
Isomerizadora	22	314,427.83	386,735.31	-23

Tabla 5.1: Horas de construcción

Después, en la Tabla 5.2, se encuentran los resultados correspondientes al tiempo necesario para la ingeniería básica, expresados en horas hombre, de cada planta evaluada.

Planta	Capacidad (MBPD)	Estimado de Ing. básica (HH)	Estimado de Ing. básica ACCE (HH)	Desviación (%)
Hidrotratamiento de Nafta	57	89,372.81	65,446	27
Alquilación	18	60,466.26	68,136	-13
Destilación de crudo	135	128,092.54	127,037	1
Coquizadora	20	157,740.64	115,704	27
Isomerizadora	22	26,766.36	30,718	-15

Tabla 5.2: Ingeniería básica

Después, en la Tabla 5.3, se encuentran los resultados correspondientes al tiempo necesario para la ingeniería de detalle, expresados en horas hombre, de cada planta evaluada.

Planta	Capacidad (MBPD)	Estimado de Ing. detalle (HH)	Estimado de Ing. detalle ACCE (HH)	Desviación (%)
Hidrotratamiento de Nafta	57	208,536.55	188,423	10
Alquilación	18	141,087.95	165,810	-18
Destilación de crudo	135	298,882.59	323,761	-8
Coquizadora	20	368,061.5	297,863	19
Isomerizadora	22	62,454.83	67,613	-8

Tabla 5.3: Ingeniería de detalle

Posteriormente, en la Tabla 5.4, se encuentran los resultados correspondientes al costo total del proyecto, expresados en dólares, de cada planta evaluada.

Planta	Capacidad (MBPD)	Estimado de costo total (dólares)	Estimado de costo total ACCE (dólares)	Desviación (%)
Hidrotratamiento de Nafta	57	348'524,875.62	245'936,333.92	29
Alquilación	18	192'908,260.37	167'311,908.65	13
Destilación de crudo	135	348'968,932.91	471'987,897.01	-35
Coquizadora	20	487'944,423.3	433'617,511.4	11
Isomerizadora	22	110'379,406.54	77'967,397.39	29

Tabla 5.4: Costo total

Por último, se presenta a manera de resumen en la Tabla 5.5 las desviaciones obtenidas en cada rubro evaluado, para cada planta.

Planta	% Desviación del estimado de tiempo de construcción	% Desviación del estimado de ingeniería básica	% Desviación del estimado de ingeniería de detalle	% Desviación del estimado de costo total
Hidrotratamiento de Nafta	30	27	10	29
Alquilación	-6	-13	-18	13
Destilación de crudo	-26	1	-8	-35
Coquizadora	22	27	19	11
Isomerizadora	-23	-15	-8	29

Tabla 5.5: Desviaciones en porcentajes

Para poder consultar los archivos completos de la metodología presentada, así como las evaluaciones hechas, podrán ingresar a través del código QR presentado en la Figura 5.1 , o en la dirección web:

<https://drive.google.com/drive/folders/1Wii4oN9EHrB-NEhVPfvYgMkWBQ9xDXfH>



Figura 5.1: Código QR

5.1. Áreas de oportunidad

Si bien la metodología propuesta es una primera aproximación para la planeación de recursos, es recomendable ir la mejorando, por lo que se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

- Agregar más información a la base de datos, debido a que es una metodología que depende de la capacidad, el número de equipos y el costo del proyecto original.
- Agregar una opción que permita escalar la información necesaria para plantas con mayor o menor capacidad de la que se encuentra en la base de datos.
- Ver la forma en la que se pueda pasar lo hecho en excel a algún programa diseñado para bases de datos.
- Modificar el diagrama de Gantt para que se tenga el traslape adecuado entre cada actividad.
- Hacer los ajustes correspondientes para que se tenga una menor desviación.

Conclusiones

“No basta con alcanzar sabiduría, es necesario saber utilizarla.”

-Cicerón-

Como se puede observar en el capítulo anterior, las desviaciones más grandes obtenidas en las plantas evaluadas son de -35% a 30% , por lo que siguiendo los lineamientos de Petróleos Mexicanos® para la desviación esperada en los estimados de costo[25] mostrados en la Tabla 6.1, las desviaciones obtenidas entrarían en un estimado clase V, el cual es el primer estimado que se hace en un proyecto.

Es necesario considerar que existen muchos factores que afectan las estimaciones, como por ejemplo el lugar dónde se llevará a cabo el proyecto, los costos, variación de salarios, tiempo en el que se quiere desarrollar el proyecto, porcentaje de utilidad de cada empresa, contextos de las organizaciones involucradas, etc. Por lo que se recomienda, que los resultados obtenidos mediante esta metodología se utilicen como lo que son, una primera aproximación de un estimado de un proyecto y conforme se vaya avanzando en el proyecto y obteniendo más información, se utilicen otras metodologías para ir afinando las estimaciones.

Clase	Desviación
V	-30 % a +50 %
IV	-20 % a +35 %
III	-15 % a +25 %
II	-10 % a +15 %
I	-5 % a +10 %

Tabla 6.1: Lineamientos de PEMEX para la desviación esperada del estimado de costo

Por lo que se cumple con los objetivos propuestos en esta tesis, se propuso una metodología para planear en etapa temprana del proyecto los recursos necesarios para la ingeniería, procura y construcción de una planta química, obteniendo un estimado en horas hombre de ingeniería básica e ingeniería de detalle, así como los tiempos de ejecución del proyecto en procura y construcción, además de que se elaboró una comparación entre los datos obtenidos por la metodología propuesta y los datos generados por ACCE que utiliza el área de costos de Petróleos Mexicanos®.

Si bien, las empresas que tienen mucho tiempo y experiencia en la gestión de proyectos cuentan con sus propias bases de datos y/o metodologías para la planeación de sus recursos, la metodología propuesta es una buena primera aproximación o complemento a alguna herramienta o metodología utilizada, sobre todo para empresas o personas que no cuentan con sus propias herramientas o que están empezando en la gestión de proyectos.

Aunado a lo anterior, se corroboró que todos los conocimientos adquiridos durante mi formación como Maestra en Ingeniería Química en el área de Ingeniería y Administración de Proyectos, son fundamentales para ejercer y que el trato con profesionistas expertos en el área, como lo fueron mis profesores, enriqueció aún más mi formación, gracias a las experiencias y conocimientos compartidos durante las clases.

Bibliografía

- [1] DAMON SMITH. **Historic Projects**. [urlhttps://www.historicprojects.com/index.html](https://www.historicprojects.com/index.html), 2019. 1
- [2] AACE. **Association for the Advancement of Cost Engineering**. [urlhttps://web.aacei.org/](https://web.aacei.org/), 2021. 1
- [3] J. A. ZPATA Y A. HENAO S. VÉLEZ. **Gestión de Proyectos: origen, instituciones, metodologías, estándares y certificaciones**. *Entre Ciencia e Ingeniería*, **12(24)**:68–76, 2018. 1
- [4] PMI. **Project Management Institute**. [urlhttps://www.pmi.org/](https://www.pmi.org/), 2021. 1, 17
- [5] PMI. **Ahead of the Curve: Forging a Future-Focused Culture. Pulse of the Profession**. [urlhttps://www.pmi.org/learning/library/forging-future-focused-culture-11908](https://www.pmi.org/learning/library/forging-future-focused-culture-11908), 2020. 2
- [6] ARJAN OOSTERHOF. **Thesis: Engineering, Procurement and Construction Management (EPCM) Services by a Consultant in Industrial Projects**. *Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology*, 2018. 8
- [7] BANCO NACIONAL DE OBRAS Y SERVICIOS PÚBLICOS. **Proyectos México, oportunidades de inversión**. [urlhttps://www.proyectosmexico.gob.mx/proyectos/](https://www.proyectosmexico.gob.mx/proyectos/). 8
- [8] FABIÁN COELHO. **Etimología de la metodología**. [urlhttps://www.diccionariodedudas.com/etimologia-de-metodologia/](https://www.diccionariodedudas.com/etimologia-de-metodologia/). 10
- [9] DR. WINSTON W. ROYCE. **Managing the development of large software systems**. *The Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pages 1–9, August 1970. 10
- [10] FERNÁNDEZ T. Y TAMARO E. RUIZA, M. **Biografía de Henry Gantt. En Biografías y Vidas. La enciclopedia bibliográfica en línea**. [urlhttps://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gantt.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/g/gantt.htm), 2004. 11
- [11] PROJECT MANGEMENT INSTITUTE. *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos, Guía del PMBOK*. 2013. 13, 14, 15
- [12] M.I. LUIS RODOLFO ALVARADO DE LA FUENTE. **Tesis: Metodología para la selección, desarrollo y planeación de proyectos aplicado a una planta criogénica**. *Facultad de Química, UNAM*, 2016. 13, 15
- [13] THE AGILE ALLIANCE. **Manifiesto for agile software development**. <https://agilemanifesto.org/iso/es/manifiesto.html>, 2001. 19

- [14] **Biografía de Nonaka y Takeuchi.** <https://hgmjnhg.blogspot.com/2019/10/biografia-de-nonaka-y-takeuchi.html>, 2019. 20
- [15] **Qué es SCRUM.** <https://proyectosagiles.org/que-es-scrum/>. 20
- [16] **Historia del Kanban.** <https://www.tormetal.com/blog/historia-del-kanban/>, 2017. 21
- [17] CARL BRANAN. *Rules of Thumb for Chemical Engineers, 3rd edition.* Elsevier Science. 23
- [18] WILLIAM C. COLE PABLO F. NAVARRETE. *Planning, Estimating, and Control of Chemical Construction Projects, 2nd Edition.* Marcel Dekker, Inc. 23, 24, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42
- [19] ORACLE. **¿Qué es una base de datos?** <https://www.oracle.com/mx/database/what-is-database/link1>. 24
- [20] HYDROCARBON PROCESSING'S. **HPI Construction Boxscore**, 2001, 2002, 2003, 2004, 2007, 2009. 24
- [21] DIGITAL GUIDE IONOS. **¿Qué es VBA.** <https://www.ionos.mx/digitalguide/online-marketing/vender-en-internet/excel-vba/>. 25
- [22] **The Chemical Engineering Plant Cost Index.** <https://www.chemengonline.com/pci-home>. 25
- [23] **Aspentech.** <https://www.aspentech.com/en>. 59
- [24] PETRÓLEOS MEXICANOS. **Manual del Sistema Institucional de Desarrollo de Proyectos, versión 05**, 2015. 62
- [25] M.I. LUIS RODOLFO ALVARADO DE LA FUENTE. **Ingeniería de Costos, semestre 2021-1.** 68