



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS

ESTRATEGIAS PARA MEJORAR LA PRUEBA Y ARRANQUE DE UNA

PLANTA

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

MISAEEL MANRÍQUEZ ROMERO

DIRECTOR DE TESIS

JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ



CIUDAD DE MÉXICO

AÑO 2018



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: **Profesor: ORTIZ RAMIREZ JOSE ANTONIO**

VOCAL: **Profesor: MORALES CABRERA JUAN MARIO**

SECRETARIO: **Profesor: BARRAGAN AROCHE JOSE FERNANDO**

1er. SUPLENTE: **Profesor: RIVERA TOLEDO MARTIN**

2° SUPLENTE: **Profesor: ALVAREZ MACIEL CARLOS**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA

FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

M.I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

SUSTENTANTE (S):

MISAELE MANRÍQUEZ ROMERO

ÍNDICE

Índice de Tablas	V
Índice de Figuras	VI
Acrónimos.....	VII
Simbología.....	VIII
1 Objetivo	1
1.1 Objetivos particulares	1
2 Introducción	2
2.1 Definición de arranque	3
2.2 Éxito del proyecto, éxito del arranque, y planeación para el arranque	3
2.3 Definición de buenas prácticas	4
3 Antecedentes.....	6
4 Factores de medición para el éxito del arranque.....	7
5 Modelo de Planeación del Arranque	9
6 Aplicación e Implementación.....	21
6.1 Visión general de las herramientas	23
6.2 La “SuPER” herramienta	25
6.3 Plan de ejecución del arranque.....	30
6.4 Caso de Estudio (Planta de Alquiler).....	33
6.5 Descripción del proceso	34

6.5.1 Sección de Hidrisom.....	35
6.5.2 Sección de Alimentación de Hidrocarburos	37
6.5.3 Sección de Reacción	38
6.5.4 Sección de Re destilación ácida	39
6.5.5 Sección de Fraccionamiento y Tratamiento de productos	40
6.6.1 Sección de Hidrisom.....	49
6.6.2 Sección de Alimentación de Hidrocarburos	56
6.6.3 Sección de Reacción	59
6.6.4 Sección de Regeneración de Ácido	62
6.6.5 Sección de Fraccionamiento y tratamiento de productos.....	65
6.7 Análisis comparativo.....	68
7 Conclusiones	75
8 Bibliografía	77

Índice de Tablas

Tabla 1. Fases y actividades del modelo de planeación del arranque.

Tabla 2. Herramientas para la planeación del arranque.

Tabla 3. Tabla comparativa fase de prueba y arranque.

Índice de Figuras

Figura 1. Éxito del proyecto vs. Éxito en el arranque.

Figura 2. Modelo de planeación del arranque.

Figura 3. Uso de la “SuPER” herramienta.

Figura 4. Perfil del objetivo usando la “SuPER” herramienta.

Figura 5. Esquema organizacional del modelo de planeación del arranque.

Figura 6. Diagrama de flujo de proceso para la planta de alquiler.

Acrónimos

QA (Quality Assurance): Aseguramiento de la calidad.

QC (Quality Control): Control de calidad.

CPM (Critical Path Method): Método de la ruta crítica.

RACI (Responsibility, Accountability, Consult, Inform): Responsabilidad, Contabilidad, Consulta, Informe.

SuPER (Startup Planning Evaluation Rating): Índice de evaluación de planeación del arranque.

Simbología

Anillos Rasching: Equipo metálico para separación de componentes.

ASAS: Aceites solubles en ácido.

BSPD: Barriles de servicio por día.

CO: Monóxido de carbono.

DME: Di Metil Éter.

FCC: Craqueo Catalítico Fluidizado.

H₂: Hidrógeno.

HC: Hidrocarburo.

HF: Ácido Fluorhídrico.

Hidrisom: Sección de preparación de carga para plantas de alquilación.

iC₄: Isobutano.

KOH: Hidróxido de Potasio.

L.B.: Límite de Batería.

MBTE: Metil Ter Butil Éter.

NaOH: Hidróxido de Sodio.

ΔT: Diferencial de Temperatura.

1 Objetivo

El presente trabajo tiene como objetivo proporcionar información a los ingenieros recién egresados sobre cuáles son las buenas prácticas necesarias que deben ser consideradas para la prueba y arranque de una planta, el cual es un muy buen ejemplo industrial de régimen no permanente; tomando como referencia un modelo, y empleando como caso de estudio una planta previamente puesta en operación.

1.1 Objetivos particulares

- Mostrar el modelo de planeación para el arranque conformado con base en la investigación realizada, el cual será usado como referencia para trabajar.
- Realizar un análisis comparativo entre las prácticas que fueron usadas en el caso de estudio y las que propone el modelo.
- Ejemplificar que el uso del modelo puede complementar las prácticas usadas en el caso de estudio.

2 Introducción

La importancia de la planeación del arranque es evidente dadas las desafiantes características del ambiente de negocio industrial que se presenta hoy en día, como son:

- Presión para incrementar ganancias reduciendo costos.
- Reducción del staff en el proyecto e incrementar los servicios de outsourcing.
- Demanda de proyectos con menores ciclos de tiempo.
- Falta de capacidades en cuanto a planificación se refiere y también la falta de herramientas de apoyo

La puesta en marcha de una planta es una actividad de alto riesgo que no es nada fácil de planificar. Algunas organizaciones poseen y aplican rutinariamente enfoques detallados para la planeación de la puesta en marcha.

Estos son algunos objetivos a cumplir dentro de la investigación:

- Entender los retos para lograr el éxito en el arranque y las causas que hacen que este falle.
- Comprender la relación entre la planificación para el arranque, un arranque exitoso, y el éxito del proyecto en general.
- Hacer conciencia de lo importante que es hacer una planificación oportuna y completa para la puesta en marcha.

- Proporcionar herramientas de implementación que sirvan de apoyo para lograr una planificación completa y eficiente de la puesta en marcha.
- Establecer estándares de rendimiento que midan el éxito de la puesta en marcha y que faciliten una evaluación comparativa.

2.1 Definición de arranque

El arranque de una planta está definido como la fase transicional entre la conclusión de la construcción de la planta y las operaciones comerciales, incluidas todas las actividades que unen estas dos fases. Algunos pasos críticos dentro de la fase del arranque son la rotación del personal, revisión de los sistemas, acondicionamiento de los mismos, alimentación de la materia prima, capacitación del personal y pruebas de funcionamiento.

2.2 Éxito del proyecto, éxito del arranque, y planeación para el arranque

La administración del proyecto y la percepción del éxito del mismo deben ser alineadas con un nuevo paradigma, ***“El objetivo del proyecto no está en la conclusión mecánica, el éxito de las operaciones comerciales lo son”***¹ Y este éxito en las operaciones requiere de un arranque exitoso.

Diversos factores pueden afectar el éxito que tendrá nuestro proyecto. Un análisis de los arranques que son exitosos y de los que no lo son nos muestra una fuerte correlación entre el éxito de nuestro proyecto y el éxito en el arranque, así que para

¹ ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998)

tener un proyecto exitoso, se debe de hacer una planeación para un arranque exitoso.

Un análisis más extenso con respecto al tema nos indica la relación que hay entre un arranque exitoso y el alcance de la planificación del mismo. La investigación también nos indica que de no tener el cuidado necesario durante la planeación del arranque puede traernos resultados desastrosos, así que para lograr una planeación eficaz se requiere de un enfoque completo, además de tener a la mano herramientas de planificación como apoyo resulta esencial para lograrlo.

Para poder cubrir este aspecto es necesario desarrollar un modelo con mejores prácticas/estrategias para la planeación del arranque. Este modelo tiene como objetivo ayudar a todos aquellos que busquen tener una puesta en marcha exitosa, que cumpla con los requisitos establecidos por el cliente.

La transición entre la construcción de la planta a las operaciones comerciales recibe muy poca planeación y la recibe demasiado tarde en el ciclo del proyecto, como consecuencia se obtienen pérdidas de tiempo y de dinero.

Por lo que podemos decir que el mensaje es claro: ***“Una planeación efectiva del arranque requiere que los asuntos a tratar sean dirigidos en el tiempo adecuado y por las personas correctas”***².

2.3 Definición de buenas prácticas

Conjunto coherente de acciones que han rendido buen servicio en un determinado contexto y que se espera que, en contextos similares, rindan resultados similares,

² ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998)

proveen valor a la industria de la construcción cuando son implementadas a nivel proyectos.

La implantación de las mejores prácticas se realiza a nivel de los procesos corporativos y está condicionada a contar con el compromiso directivo para su correcta utilización.

No todas las mejores prácticas aplican a todas las empresas, es necesario realizar un proceso de discriminación para conocer en cuales se deberán enfocar los esfuerzos. Ya que puede ser que la empresa contrate a una firma de ingeniería para encargarse de ello, o en su defecto, que formen su propio grupo de trabajo/staff para encargarse del trabajo.

3 Antecedentes

El arranque de una planta es un tema del cual se puede obtener bastante información, pero hay un problema con ella, la información tiene muchas diferencias entre sí; debido a que cada situación en la cual se efectúa un arranque es única y cada una de ellas presenta diversas situaciones, por lo tanto no es posible generalizar el cómo se debe de realizar esta fase del proceso. A lo largo de los años se han presentado diversos inconvenientes, los cuales han hecho que el arrancar una planta resulte una tarea complicada de realizar, esto la vuelve mucho más importante aún, ya que influye directamente en el éxito del proyecto.

Algunos de los problemas que se presentan más comúnmente en el desarrollo de dicha tarea son:

- Falta de planeación y herramientas que ayuden a completar dicha tarea.
- Fallas en los equipos.
- Errores de construcción.
- Nula capacitación o falta de entrenamiento hacia las personas que se harán cargo de operar la planta (error humano).

Estos problemas traen como consecuencia que se generen costos excesivos y retrasos que frecuentemente exceden el presupuesto inicial reduciendo drásticamente las ganancias.

Debido a esto, con el paso de los años se ha puesto mucha mayor atención en lo que respecta al arranque de una planta; con la ayuda e implementación de nuevas prácticas que generen los resultados esperados.

4 Factores de medición para el éxito del arranque

La investigación realizada por el equipo de investigación para la planeación del arranque, la cual tiene como propósito dar a conocer lo importante que es hacer una buena planeación para el arranque³, nos indica que un arranque exitoso requiere una ejecución acertada, basada en 8 diferentes criterios que se muestran a continuación:

- Calidad de producto
- Cantidad de producto
- Rendimiento programado
- Rendimiento de seguridad
- Cumplimiento ambiental
- Rendimiento del equipo de operaciones
- Impacto en las operaciones en curso
- Nivel de estrés experimentado por el equipo encargado del arranque

³ ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998) fuente principal de donde se obtuvo la información de dicha investigación.

Estos criterios fueron medidos mediante el análisis de algunos arranques de plantas, en los que el equipo de investigación tuvo oportunidad de presenciar para realizar su investigación.

Con los criterios mencionados anteriormente se pudo integrar un índice de éxito acerca del arranque, el cual permitió hacer comparaciones entre los arranques, las compañías y la misma industria.

A continuación se presenta la **Figura 1**⁴, la cual nos muestra un gráfico de dispersión obtenido por el equipo de investigación, usado para evaluar el índice de éxito en el arranque vs el índice de éxito del proyecto; para 23 proyectos, con su ayuda se puede observar la relación que existe entre estos dos parámetros.

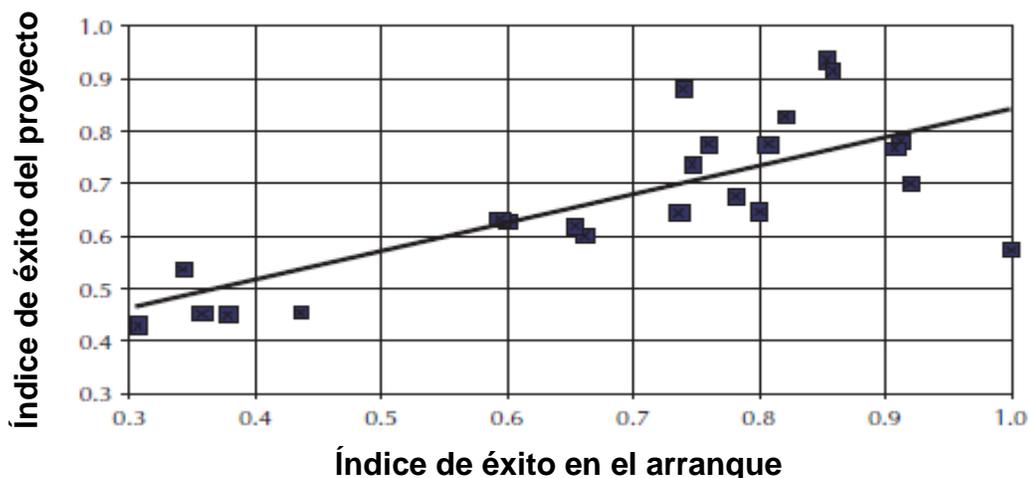


Figura 1. Éxito del proyecto vs Éxito en el arranque.

Del mismo modo hay una gran cantidad de factores que pueden afectar el éxito del proyecto, lo que representa un hallazgo muy significativo y enfatiza la importancia de buscar conseguir arranques exitosos.

⁴ ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998)

5 Modelo de Planeación del Arranque

El propósito de este modelo, es ayudar a planificar el arranque de un nuevo proyecto de una manera más completa, efectiva y eficiente. **El modelo de planeación del arranque**⁵, es una secuencia de 45 actividades planeadas y organizadas (Ver **Figura 2**) acorde a 8 fases típicas del proyecto, que son:

- Definición de requisitos y transferencia de tecnología
- Desarrollo conceptual y factibilidad
- Interfaz de ingeniería
- Diseño detallado
- Procuración
- Construcción
- Comprobación y puesta en marcha
- Operaciones iniciales

Las actividades que se realizarán para cada fase quedan de la siguiente manera:

Fase	No. De actividades planeadas para el arranque
Definición de requisitos y transferencia de tecnología	1
Desarrollo conceptual y factibilidad	3
Interfaz de ingeniería	10
Diseño detallado	15
Procuración	3
Construcción	7
Comprobación y puesta en marcha	3
Operaciones iniciales	3

Tabla 1. Fases y actividades del modelo de planeación del arranque.

⁵ ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998)

Dentro de las 8 fases previamente mencionadas, encontramos varias actividades, las cuales conforman el modelo de planeación del arranque, y deben ser completadas por el personal en cuestión (firma de ingeniería/staff de la empresa), para cumplir con el propósito del mismo, estas son:

Definición de requisitos y transferencia de tecnología:

- Asegurar el compromiso del director del proyecto.

Desarrollo conceptual y factibilidad:

- Buscar un pronóstico realista de duración del arranque.
- Estimar el costo que tendrá el arranque.
- Reconocer el impacto que este tendrá en la economía del proyecto.

Interfaz de ingeniería:

- Establecer los objetivos del arranque.
- Desarrollar el plan de ejecución del arranque.
- Hacer las asignaciones para el equipo encargado del arranque.
- Identificar los sistemas para el arranque.
- Adquirir aportaciones para el mantenimiento y las operaciones.
- Evaluar el riesgo del arranque.
- Analizar los incentivos para el arranque.
- Identificar los requerimientos de procuración.
- Ultime el presupuesto y el calendario de inicio.
- Actualizar el plan de ejecución del arranque.

Diseño detallado:

- Tratar los problemas del arranque en las sesiones de formación de los equipos.
- Evaluar y comunicar los efectos de los cambios en el arranque.
- Plan para el soporte de campo del proveedor para el arranque.
- Incluir el arranque en los horarios del proyecto.
- Plan para el arranque QA/QC (Aseguramiento y control de calidad).
- Clarificar la organización en el equipo y la responsabilidad en sus asignaciones.
- Adquirir inversiones adicionales para el mantenimiento y las operaciones.
- Indicar los números del sistema de arranque para los productos de ingeniería.
- Clarificar la evaluación de riesgo en el arranque.

- Plan de entrenamiento para el mantenimiento.
- Desarrollar el plan de repuestos para el arranque.
- Desarrollar el plan de rotación del sistema.
- Desarrollar y comunicar los procedimientos para el arranque.
- Refinar el presupuesto y el horario para el arranque.
- Actualizar el plan de ejecución del arranque.

Procuración:

- Calificar proveedores para los servicios del arranque.
- Refinar y agilizar el plan de repuestos para el arranque.
- Implementar el plan de procuración QA/QC (Aseguramiento y control de calidad).

Construcción:

- Actualizar el plan de ejecución del arranque y el tema para la construcción.
- Conducir al equipo para que inicie la construcción.
- Clarificar el cronograma integral para el arranque CPM.
- Conducir el entrenamiento para el mantenimiento y la operación.
- Implementar el plan de campo QA/QC (Aseguramiento y control de calidad).
- Finalizar la evaluación de riesgo del arranque.
- Transición del sistema de arranque basado en la educación.

Comprobación y puesta en marcha:

- Finalizar las etapas de organización, mantenimiento, operaciones y el sistema de gestión.
- Revisión de los sistemas (Pruebas de equipos, pruebas por área, prueba final para el arranque).
- Sistemas para la puesta en marcha

Operaciones Iniciales:

- Introducir la materia prima
- Realizar pruebas de rendimiento
- Finalizar la documentación

Este modelo no pretende ser una guía de manejo ni mucho menos; más bien, las actividades estipuladas en el deben ser completadas con prácticas básicas y eficaces de gestión de proyectos, como son: planeación previa, gestión del alcance, control de costos y horarios, administración de la seguridad, administración del

riesgo, entre otras. Sin olvidar, que pueden existir áreas que no se puedan arrancar debido a que durante el proceso no es conveniente hacerlo, un buen ejemplo de ello, es en las plantas de tratamiento de agua, en particular con el área que trabaja con los lodos que se forman durante el proceso, los cuales no están presentes, sino hasta el final del mismo.

Cada actividad planeada es detallada en el perfil de una página que presenta 9 campos de información descriptiva, como son:

- Fase.
- Conceptos clave.
- Entregables.
- Motivo/Razón fundamental.
- Responsabilidad/Contabilidad/Consultar/Informar (RACI) por sus siglas en inglés.
- Puerta de calidad/Restricciones de secuenciación.
- Pasos básicos.
- Herramientas necesarias/previstas.
- Retos para una implementación exitosa.

Y cada una de estas fases posee un contenido que se puede observar a continuación:

- Fase de proyecto asociada.
- Principales propósitos de la actividad de planificación descrita.
- Producto tangible de la actividad.

- Razones principales para ejecutar esta actividad.
- Matriz de para la asignación de roles de planificación a los participantes del proyecto.
- Puntos de verificación para evaluar la calidad de las actividades de planeación anteriores y la necesidad de hacer una mayor planeación.
- Componentes de las tareas para llevar a cabo la actividad.
- Herramientas necesarias para la implementación deben ser desarrolladas; herramientas que provee el modelo.
- Obstáculos comunes que deben ser superados durante la ejecución de la actividad.

Las actividades que conforman el modelo son completadas con la ayuda de alrededor de 26 herramientas, cada una detallada apropiadamente en los perfiles de actividad bajo la rúbrica de “Herramientas Necesarias/Previstas”. Estas herramientas tienen la intención de facilitar la implementación de las actividades de planificación del arranque en particular. La “Puerta de calidad” es la actividad principal de cada fase del modelo, y representa la unión entre cada una de ellas; está dirigida a uno de los campos del perfil de actividad, y pretende comunicar la importancia de una planeación de “tiempo de espera” que permita que la planificación del arranque se ponga al día con los desarrollos que se tienen en el proyecto.

La “Puerta de Calidad” no pretende frenar el progreso del proyecto, pero sirve como un recordatorio para los gestores del proyecto y de la puesta en marcha que la planeación no debe retrasar las demás actividades que tiene el proyecto. Si a la

planeación para la puesta en marcha se le deja de dar el trabajo y la atención que requiere, ponerla al día resultará en algo difícil y costoso de realizar.

Este modelo cuenta con 8 actividades que deben ser tratadas como **puertas de calidad**, como son:

- Reconocer el impacto de la puesta en marcha en la economía del proyecto.
- Actualizar el plan de ejecución para el arranque.
- Finalizar la organización de operaciones y mantenimiento y los sistemas de gestión.
- Verificar los sistemas.
- Poner en marcha los sistemas.
- Concluir la documentación.

El éxito en el arranque de un nuevo proyecto o planta requiere un equipo que se enfoque en realizar exclusivamente la planeación del mismo, con la participación activa de todas las partes interesadas en el proyecto. En consecuencia, este modelo está dirigido a una amplia variedad de audiencias. El siguiente mensaje está dirigido a la gestión de la unidad de negocio de fabricación, gestión de operaciones mantenimiento de la planta, la gestión del proyecto del dueño, y al contratista encargado de dirigir el mismo.

Mensaje para todas las audiencias

- El éxito que tenga el proyecto es directamente dependiente del nivel de éxito que tenga el arranque de la planta.

- Lo exitoso que puede llegar a ser el arranque de la planta depende del grado de planificación que se le haya dado.
- Para tener un arranque exitoso se requiere del compromiso para la planificación del mismo de las entidades que están gestionando el proyecto: unidad de negocio, operaciones de la planta, y la gestión de proyecto del dueño.

Mensaje para los gestores de la unidad de negocio de fabricación

El gerente de esta unidad de negocio debe tomar la iniciativa para definir cuáles son los objetivos que se tienen para el arranque.

Mensaje para los gestores de mantenimiento y operaciones de la planta

Todo el personal encargado de las operaciones y el mantenimiento de la planta es responsable de muchas de las actividades planeadas al principio de la etapa ingenieril para el arranque de la planta.

Mensaje para el propietario encargado de gestionar el proyecto

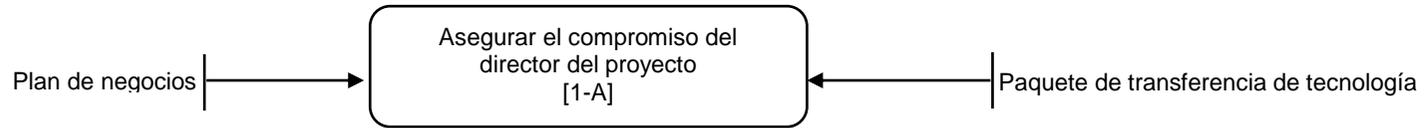
El gerente de proyecto es el supervisor del proceso de planeación para el arranque. Este individuo es el principal responsable de que la planificación para que el arranque sea exitoso.

Las fases mencionadas anteriormente y las actividades que las conforman se pueden observar de mejor manera con ayuda de los esquemas que se presentan a continuación. En ellos se puede apreciar la relación que existe entre cada una de

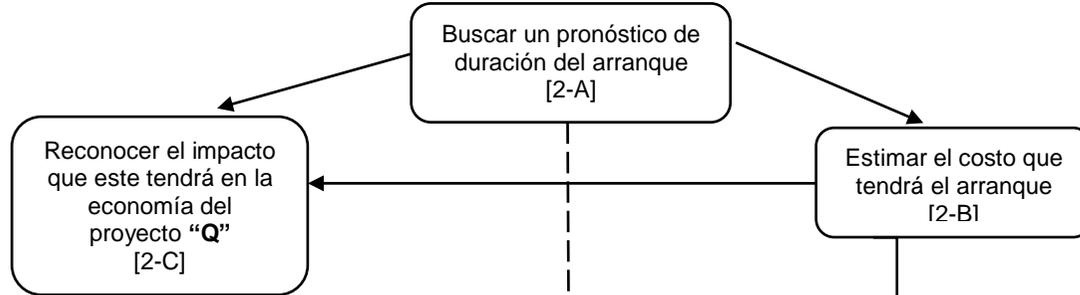
las fases y como la mayoría de las actividades que las conforman están interconectadas entre sí, haciéndolas a todas de suma importancia para completar exitosamente el modelo.

Es preciso cumplir con estas actividades y poner mucho más énfasis en las denominadas “**puertas de calidad**” ya que son claves en durante el proceso, y se usará el símbolo “**Q**” para identificarlas dentro de los esquemas mostrados en la **Figura 2** que se presenta a continuación.

Fase 1. Definición de requisitos y transferencia de tecnología



Fase 2. Desarrollo conceptual y factibilidad



Fase 3. Interfaz de Ingeniería

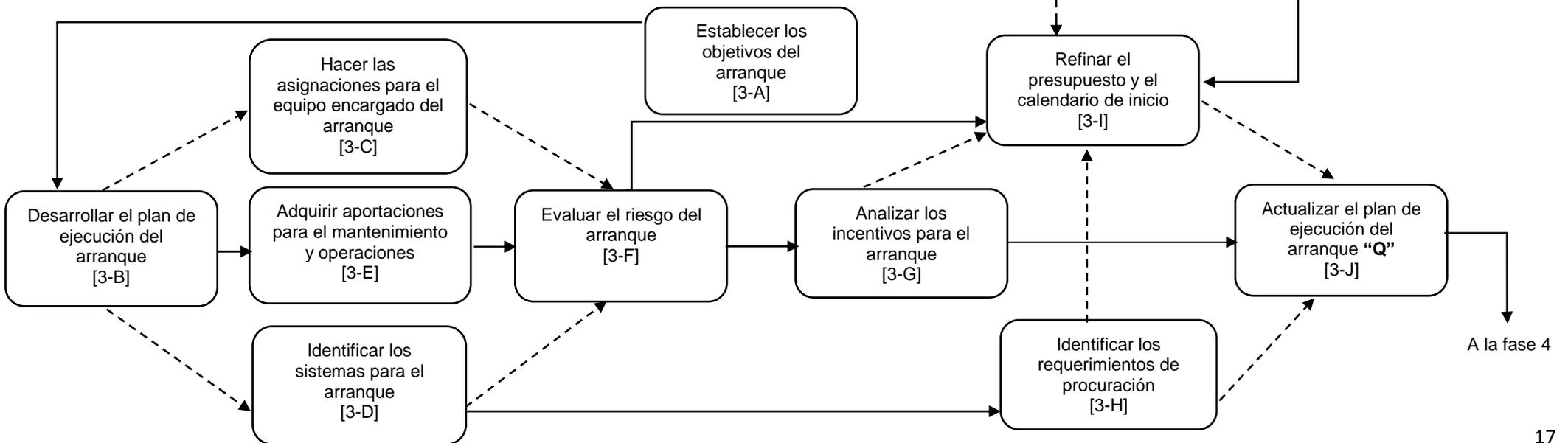


Figura 2. Modelo de planeación del arranque.

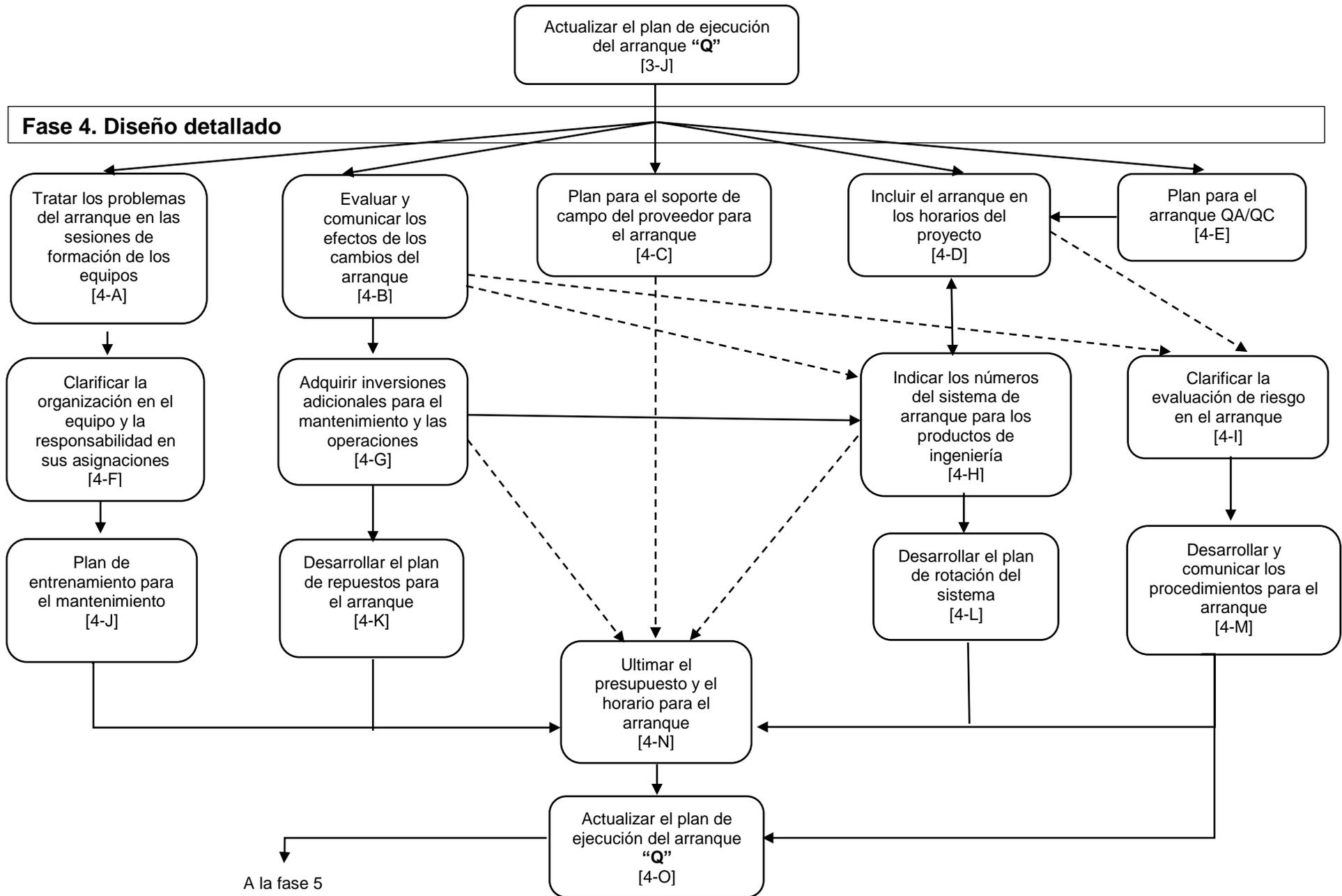


Figura 2. Modelo de planeación del arranque.

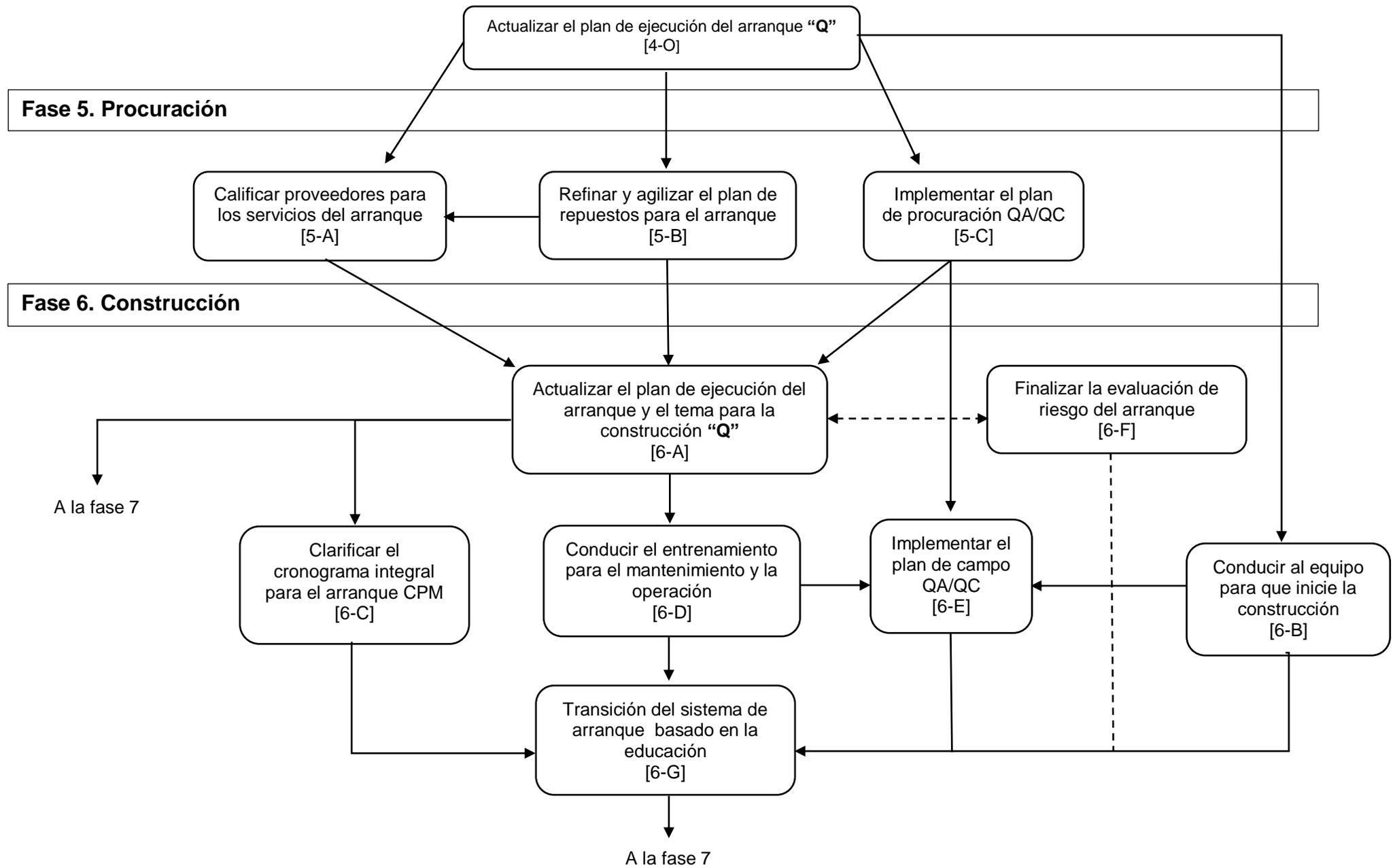


Figura 2. Modelo de planeación del arranque (continuación).

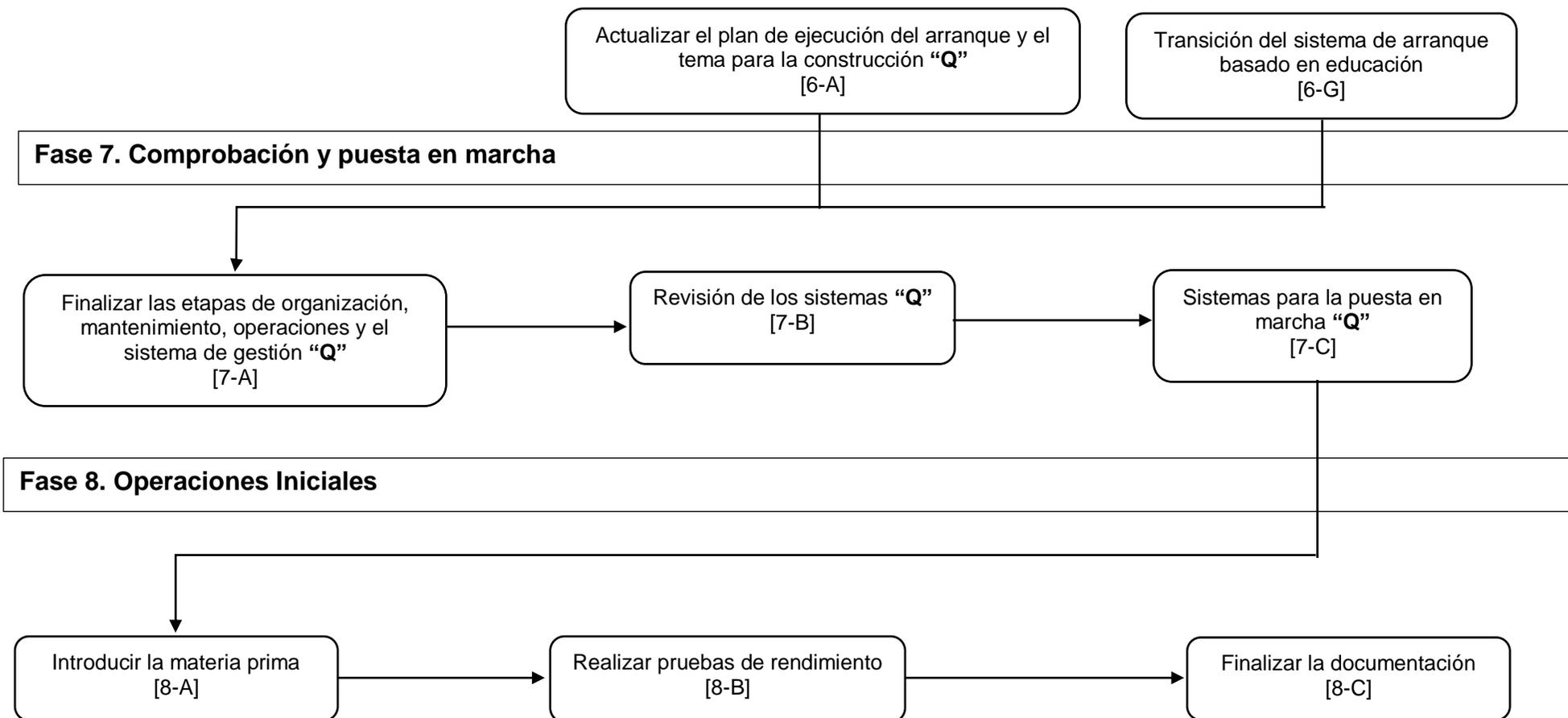


Figura 2. Modelo de planeación del arranque (continuación).

6 Aplicación e Implementación

Propiamente implementadas, todas las 45 actividades de planeación y ejecución contenidas en el modelo de planeación del arranque incrementan significativamente la previsibilidad de que el arranque y la puesta en marcha sean exitosos. Como consecuencia, todas las actividades de planeación para el arranque deben ser debidamente implementadas.

Obviamente, algunas de estas actividades son más importantes que otras. Un listado donde se muestre el nivel de prioridad para cada actividad emerge del análisis de los proyectos industriales que han obtenido arranques exitosos actualmente. Este listado se presenta a continuación:

- Garantizar el compromiso de la gestión para la planeación del arranque.
- Buscar una previsión realística de la duración del arranque.
- Reconocer el impacto del arranque en la economía del proyecto.
- Establecer los objetivos del arranque.
- Desarrollar el plan de ejecución para el arranque.
- Identificar los sistemas del arranque.
- Adquirir las inversiones para las operaciones y el mantenimiento.
- Actualizar el plan de ejecución del arranque.
- Incluir el arranque en el horario del proyecto.
- Actualizar la organización y la asignación de actividades para el equipo de trabajo.
- Planear la capacitación para la fase de operación y mantenimiento.

- Desarrollar el sistema de rotación de arranque.
- Desarrollar y comunicar los procedimientos para el arranque.
- Actualizar el horario integrado del arranque.
- Conducir el entrenamiento para la parte de operación y mantenimiento.
- Transición de los sistemas de arranque basados en la ejecución.
- Finalizar la organización y los sistemas de gestión para la fase de operación y mantenimiento.
- Revisión de los sistemas.
- Sistemas para la puesta en marcha.
- Finalizar la documentación.

Estas tareas deben ser ejecutadas de manera completa y oportuna por la firma de ingeniería o el staff de la propia empresa. Un mecanismo cuantitativo para monitorear y dar seguimiento a la extensión de esta planificación se facilita con la ayuda de la “*SuPER*” herramienta por sus siglas en inglés que se discutirá más adelante.

Fundamentalmente, este modelo debe ser visto como una colección de mejores prácticas para ser personalizado para satisfacer las necesidades del usuario. No está destinado a comunicar que dicha planeación sea excesivamente pesada o costosa.

6.1 Visión general de las herramientas

El modelo de planeación del arranque es apoyado por 26 herramientas. Veinte de ellas apoyan a las actividades planeadas en áreas críticas de la parte inicial de la ingeniería y en el detallado del diseño. Mientras que las 26 herramientas son importantes y pueden facilitar la planificación del arranque de alguna manera beneficiosa, hay dos herramientas en particular que pueden ser usadas para mejorar la calidad de dicha planificación⁶. Estas dos son la “*SuPER*” herramienta usada para evaluar el grado de planeación, y *el plan de ejecución de arranque*, un mecanismo para integrar todos los desarrollos que se efectúan dentro de la planeación.

Las 26 herramientas se encuentran enlistadas en la **Tabla 2** que se muestra a continuación.

⁶ ("Research Investigation into Planning for Startup", June 1998)

# Herramienta	Nombre de la herramienta
1-A-1	Plot de la planeación del arranque vs. Éxito del arranque
1-A-2	Herramienta de evaluación de la planeación del arranque
2-A	Integración de la planeación en el horario conceptual del proyecto
2-B	Ejemplo de la hoja de los costos estimados del arranque
2-C	Lista de evaluación de riesgos financieros
3-A	Lista de verificación de los objetivos del arranque
3-B-1	Transición entre la construcción y las operaciones
3-B-2	Tabla de muestra con los contenidos del plan de ejecución del arranque
3-B-3	Lista de verificación de las puertas de calidad
3-C-1	Gráfico de muestra de la organización
3-C-2	Gráfico que muestre el RACI
3-D	Directrices para definir los sistemas de arranque
3-E-1	Diagrama de flujo P&ID
3-E-2	Lista de verificación de los elementos de información P&ID
3-F	Lista de verificación del riesgo del arranque
3-H	Un arranque común necesita estar apoyado por proveedores
3-I	Lista de verificación de las actividades típicas en el arranque
4-B	Lista de verificación del impacto de cambios en el arranque
4-E	Necesidades comunes de la prueba previa al envío
4-H	Ejemplo del sistema de codificación del sistema de arranque
4-J-1	Ejemplo del plan de entrenamiento para el operador contenido en una tabla
4-J-2	Ejemplo del manual del operador contenido en una tabla
4-K	Ejemplo de las piezas de repuesto de la planta contenido en una tabla
4-L-1	Ejemplo del plan de rotación del sistema contenido en una tabla
4-L-2	Ejemplos del cambio de criterio en las listas de verificación y certificaciones
7-B	Revisión de la puesta en marcha

Tabla 2. Herramientas para la planeación del arranque.

6.2 La “SuPER” herramienta

Una planeación de arranque efectiva requiere un enfoque completo, bien planificado y monitoreado. Para lograr esto, la herramienta para medir el índice de evaluación de la planeación del arranque (*SuPER*) por sus siglas en inglés fue desarrollada para permitir el seguimiento y monitoreo de los esfuerzos puestos en la planeación. El concepto es simple, en cualquier punto del proceso de ejecución del proyecto, los gerentes encargados de la planeación deben evaluar el nivel actual que se muestra en el perfil de la gráfica de destino proporcionada como parte de la herramienta. De este modo, los gerentes pueden evaluar fácilmente el nivel de la planeación e identificar cualquier deficiencia que esta pueda tener.

El sistema de ponderación numérica contenido en la “*SuPER*” herramienta (basado en el análisis del grado de planeación hallado en arranques exitosos) puede servir como un incentivo útil e informativo para complementar la planificación del arranque.

¿Cómo se relacionan las puntuaciones de la “*SuPER*” herramienta con los índices de éxito en el arranque? Para realizar este análisis, las puntuaciones finales de esta herramienta para 20 arranques fueron estimadas y analizadas con índices de arranques exitosos asociados. El análisis de la regresión resultante indicó una fuerte relación entre la planeación del arranque y el éxito que tenga el mismo validando tanto el modelo de planeación del arranque como la “*SuPER*” herramienta. En adición, esta herramienta ha sido demostrada en un proyecto de la industria real y resultó ser útil para monitorear el proceso general de planificación para el arranque.

Para mostrar de mejor manera como es que la “*SuPER*” herramienta realiza su función y cuales consideraciones toma en cuenta para realizar la evaluación del arranque observaremos los siguientes esquemas que se presentan en la **Figura 3**.

En ella se observan las fases del proyecto (planeación, logística, procuración, construcción, etc.) y las actividades que conforman el modelo de planeación y que serán tomadas en cuenta para realizar la evaluación, dicha evaluación será realizada por un evaluador; esta persona podrá ser parte de la firma de ingeniería o del staff de trabajo encargado del arranque de la planta. Esta persona deberá cumplir un cierto perfil, ya que debe contar con experiencia y conocimiento del proceso y las actividades que lo conforman para poder asignar una calificación a la forma en la cual se realizan.

Herramienta 1-A-2: SuPER herramienta: Calificación de evaluación de la planeación del arranque (Hoja 1 de 2)

Proyecto:

Evaluador:

Fecha:

No. Actividad	Actividades de planeación	No. Ejecución	Mínimo Esfuerzo	Con Deficiencias	Con menores deficiencias	Completamente ejecutadas	Puntuación
1-A	Compromiso de la alta dirección con la planeación del arranque	0	1	3	4	5	—
2-A	Buscar una previsión realista de la duración del arranque	0	0	1	3	4	<input type="text"/>
2-B	Estimar los costos del arranque	0	0	1	1	1	—
2-C	Reconocer el impacto del arranque en la economía del proyecto	0	1	3	4	5	—
	Definición, concepto, y factibilidad total de la fase	0	2	8	12	15	
3-A	Establecer los objetivos del arranque	0	1	2	4	5	—
3-B	Desarrollar el plan de ejecución del proyecto	0	1	3	4	5	—
3-C	Hacer las asignaciones para el equipo encargado del arranque	0	0	1	2	3	0
3-D	Identificar los sistemas de arranque	0	1	3	4	5	—
3-E	Adquirir inversiones para las operaciones y el mantenimiento	0	0	1	3	4	—
3-F	Evaluar los riesgos del arranque	0	1	1	2	2	0
3-G	Analizar los incentivos del arranque	0	0	1	1	1	—
3-H	Identificar los requerimientos de procuración para el arranque	0	1	1	2	2	—
3-I 4-N	Actualizar el presupuesto y el horario del arranque	0	0	1	1	1	—
3-J 4-O 6-A	Actualizar el plan de ejecución del arranque	0	1	3	4	5	—
	Fase total de la interfaz de ingeniería	0	6	17	27	33	<input type="text"/>
	Total de esta hoja:						<input type="text"/>

Figura 3. Uso de la “SuPER” herramienta

Herramienta 1-A-2: SuPER herramienta: Calificación de evaluación de la planeación del arranque (Hoja 2 de 2)

Proyecto:

Evaluador:

Fecha:

No. Actividad	Actividades de planeación	No. Ejecución	Mínimo Esfuerzo	Con Deficiencias	Con menores deficiencias	Completamente ejecutadas	Puntuación
4-A	Tratar los problemas sobre el arranque en la sesión de formación de equipos.	0	0	1	1	1.5	_____
4-B	Evaluar y comunicar el efecto de los cambios en el arranque	0	0	1	1	1.5	_____
4-C	Plan para el apoyo del proveedor en el arranque	0	0	1	2	2	_____
4-D	Incluir el arranque en el horario CPM del proyecto	0	1	2	3	4	_____
4-E	Plan para el arranque QA/QC	0	0	1	1	1	_____
4-F	Refinar la organización y la responsabilidad de las asignaciones en el equipo encargado del arranque.	0	0	1	3	4	_____
4-G	Adquirir aportaciones adicionales para operaciones y mantenimiento.	0	1	2	2	3	_____
4-H	Indicar los números de sistema del arranque en los entregables	0	1	2	2	3	_____
4-I 6-F	Actualizar la evaluación de riesgo del arranque	0	1	1	2	2	_____
4-J	Plan de entrenamiento para operación y mantenimiento	0	1	2	3	4	_____
4-K	Desarrollar el plan de partes de repuesto para la planta	0	0	1	1	1	_____
4-L	Desarrollar el plan de rotación del sistema	0	0	1	3	4	_____
4-M	Desarrollar y comunicar los procedimientos del arranque y el PSM	0	0	1	3	4	_____
5-A	Calificar a los proveedores para los servicios de arranque	0	0	1	1	1	_____
5-B	Actualizar el plan de partes de repuesto de la planta y expedirlo	0	0	1	1	1	_____
5-C	Implementar el plan de procuración QA/QC	0	0	1	1	1	_____
	Diseño detallado y fase total de procuración	0	7	16	28	37	<input type="text"/>
6-B	Conducir la construcción del equipo construcción-arranque	0	0	1	1	1	_____
6-C	Actualizar el horario del arranque CPM integrado	0	1	2	3	4	_____
6-D	Conducir el entrenamiento de operación y mantenimiento	0	0	1	3	4	_____
6-E	Implementar el plan de campo QA/QC	0	0	1	1	1	_____
6-G	Transición de los sistemas de arranque basados en la ejecución	0	1	3	4	5	_____
	Fase total de construcción	0	3	7	11	15	_____
	Total Máximo: Todas las fases	0	1	43	75	100	_____

Total de esta página:
Total página 1:
Total:

Figura 3. Uso de la “SuPER” herramienta (continuación)

Con la ayuda de estas hojas que muestran cómo es que funciona la *SuPER* herramienta se puede obtener un gráfico que ejemplifique el perfil que tiene el objetivo; que es el de arrancar una planta, en donde se observan las fases del proyecto y la puntuación obtenida de la evaluación hecha con la *SuPER* herramienta y lo se observa en la figura que se muestra a continuación.

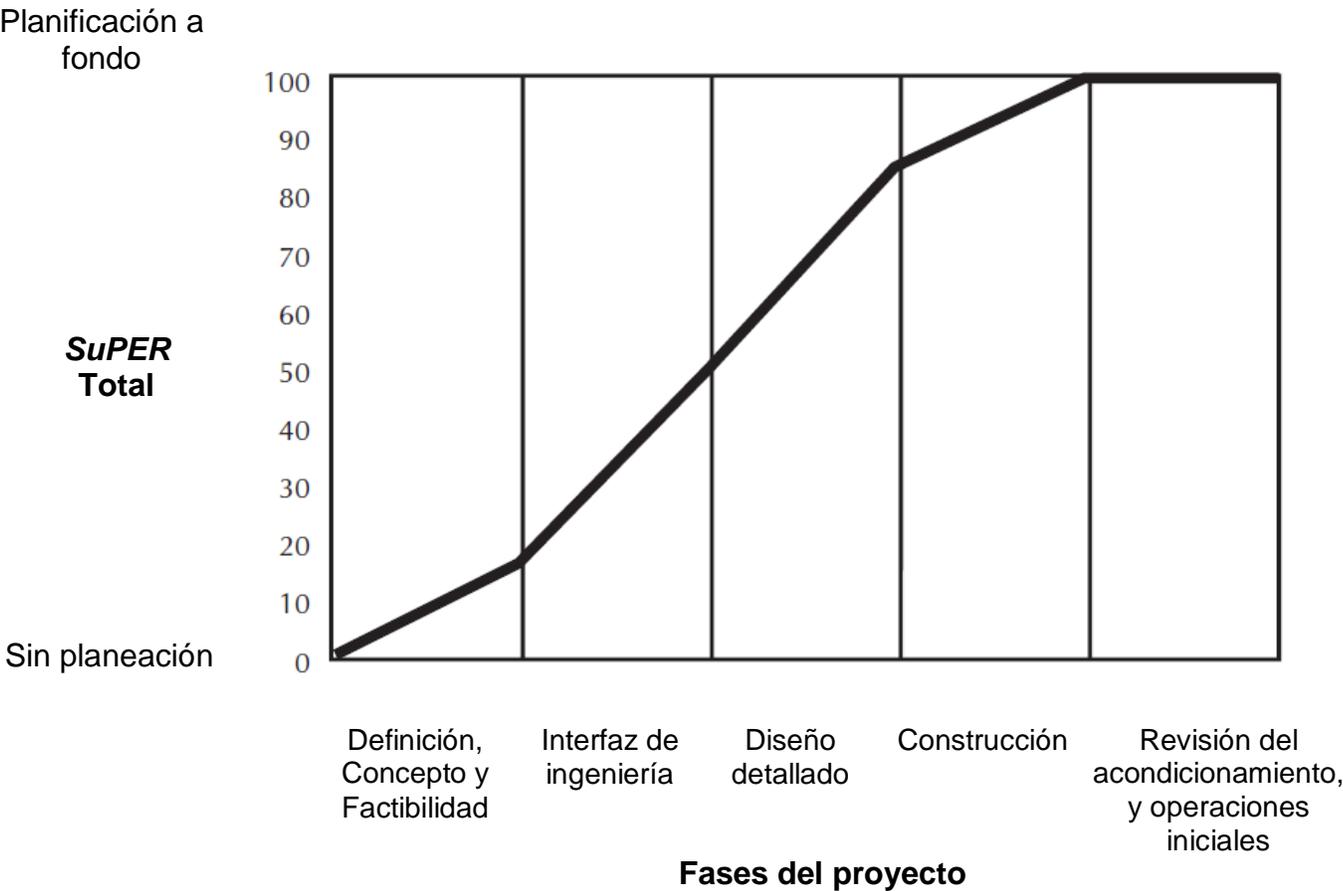


Figura 4. Perfil del objetivo usando la “*SuPER*” herramienta.

6.3 Plan de ejecución del arranque

El plan de ejecución del arranque debe ser desarrollado en cada proyecto y tratado como el documento en el que se integren todas las actividades de planificación para el arranque. Más allá de la orientación contenida en el perfil de la actividad (3-B), el desarrollo del plan de ejecución del arranque se facilita con tres herramientas contenidas en el modelo de planeación del arranque:

- **Herramienta 3-B-1: “Programar los controladores y las transiciones de fase”:** Un recordatorio de que la planificación debe reconocer los paradigmas de trabajo propios de las distintas fases del proyecto y las transiciones asociadas entre cada una de ellas.
- **Herramienta 3-B-2: “Tabla donde se muestra el contenido del plan de ejecución del arranque”:** Orientación sobre los tipos de información que deben abordarse en el plan de ejecución.
- **Herramienta 3-B-3: “Lista de verificación de puertas de calidad del arranque”:** Orientación sobre el concepto de puerta de calidad y como explotarlo para beneficio de la planeación.

Con todos estos componentes (herramientas, plan de ejecución, actividades) el modelo de planeación puede ser aplicado para el caso de estudio siguiendo la siguiente estructura que se muestra en la **Figura 5**.

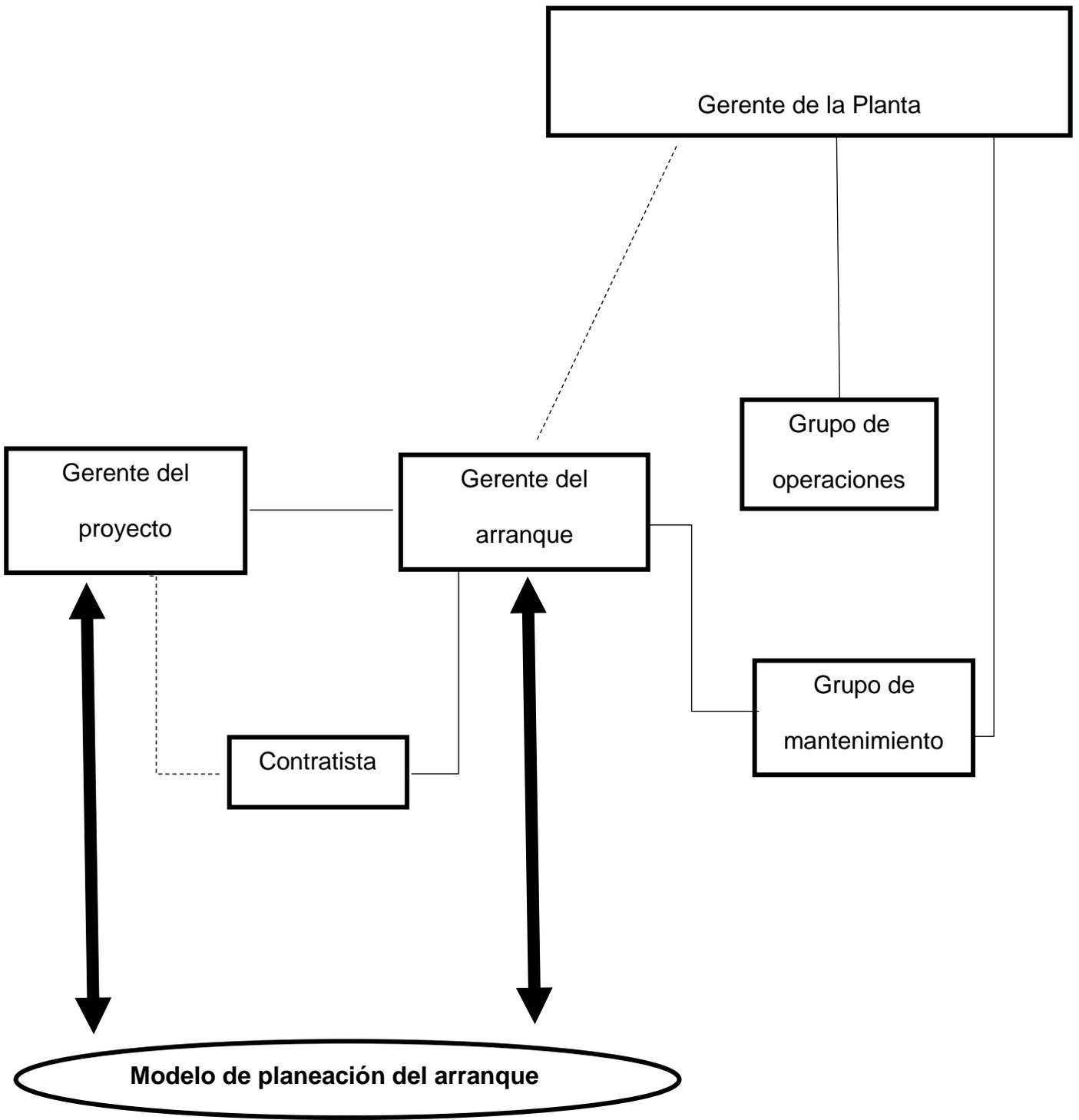


Figura 5. Esquema organizacional del modelo de planeación del arranque.

El esquema organizacional del modelo de planeación del arranque que se muestra en la **Figura 5** reúne ciertos componentes como son:

- **Gerente de la planta:** Es la cabeza de la organización, ya que él es el encargado de dar las órdenes para llevar a buen puerto el proyecto.
- **Gerente del proyecto:** Es el segundo al mando, se encarga de supervisar que el proyecto se lleve a cabo bajo los estándares establecidos.
- **Gerente del arranque:** Se encuentra a cargo de la fase del arranque, se encarga de dar las órdenes para que cada quién realice su trabajo, y supervisar que se efectúe de la mejor manera.
- **Contratista:** Es la persona contratada para que con ayuda de su equipo de trabajo se pueda realizar todas las actividades relacionadas con las fases de procuración y construcción.
- **Grupo de operaciones y mantenimiento:** Estos grupos serán los encargados de operar y dar el mantenimiento a los equipos que conforman la planta, son la fuerza de trabajo del proyecto.

6.4 Caso de Estudio (Planta de Alquilación)

Para corroborar la utilidad que tiene el modelo de planeación del arranque se le pondrá a prueba con un caso de estudio enfocado en una planta de alquilación perteneciente a una refinería que tiene como función obtener una gasolina de alta pureza llamada alquilado como resultado de la reacción de una mezcla de olefinas (butilenos) y parafinas (isobutanos) en presencia de ácido fluorhídrico como catalizador, dicha planta fue arrancada tiempo atrás por lo que habrá que analizar las prácticas que en su momento fueron usadas para lograr ponerla en marcha y que tan eficientes fueron cada una de ellas.

Posteriormente con ayuda del modelo que está formado por prácticas mucho más actuales se observará cuáles de estas pueden ser aplicadas al proceso de arranque que tuvo esta planta para complementar lo hecho en su momento o mejorar las practicas realizadas con las que se espera obtener un mejor resultado que el que se obtuvo cuando la planta fue puesta en operación.

Se comenzará dando un panorama de cuál es el proceso que se lleva a cabo en la planta y cómo es que esta ópera, posteriormente se realizará el análisis de las etapas de prueba y arranque y finalmente se pondrá en práctica el modelo de planeación y observaremos si su uso resulta benéfico tanto para este proyecto en particular como para algún otro que tenga el mismo objetivo.

6.5 Descripción del proceso

Descripción general del proceso⁷

Para la descripción del proceso se consideran las siguientes secciones:

- Sección de Hidrisom
- Sección de Alimentación de Hidrocarburos
- Sección de Reacción
- Sección de Re destilación Acida
- Sección de Fraccionamiento y Tratamiento de Productos

⁷ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

6.5.1 Sección de Hidrisom

La finalidad de esta sección es preparar la carga (el refinado) proveniente de la unidad de Metil-t-butil éter (MTBE), pasando la corriente primero por un reactor en donde se llevan a cabo varias reacciones de las cuales las dos más importantes son: la conversión de butadieno a buteno y la isomerización del 1-buteno a 2-buteno y; segundo eliminándole los hidrocarburos ligeros y el dimetil-éter en una torre agotadora para enviarla finalmente a la sección de reacción en donde se lleva a cabo la reacción de alquilación y se obtienen los productos deseados.

La corriente de refinado proveniente de la Unidad de MTBE entra a Límite de Batería (L.B.) y se recibe en el tanque de alimentación de Hidrisom FA-101, controlando su flujo por medio de un control en cascada nivel-flujo. Del tanque FA-101 el refinado es succionado por la bomba de alimentación GA-101 A/B y enviado a la sección de reacción.

Antes de entrar al reactor, el refinado se precalienta, primero en el intercambiador de fondos/alimentación EA-101 A/F y después, en el calentador EA-102 A/H. La temperatura óptima de entrada al reactor variará de acuerdo a la composición de la carga, la edad del catalizador y la conversión de reactor deseada. Con catalizador fresco, la carga del reactor puede incluso, necesitar enfriarse, debido a la alta actividad de éste. A la salida del cambiador EA-101 A/B se inyecta una corriente de hidrógeno. Este hidrógeno es requerido en la reacción para convertir las trazas de butadieno (que trae el refinado), a buteno, así como la reacción de isomerización de 1-buteno a 2-buteno, aunque en este último caso no se consume el hidrogeno.

La cantidad de hidrógeno adicionada es muy pequeña de acuerdo con la composición de diseño, se requieren aproximadamente 2.5 moles de hidrógeno por

cada mol de butadieno. Esta cifra puede variar un poco dependiendo de la composición. Aunque no exista butadieno en la alimentación es necesario continuar agregando hidrógeno para la reacción de isomerización.

La corriente hidrógeno/refinado precalentada, pasa al mezclador ME-101 y después al reactor DC-101. La mezcla refinado, en fase líquida e hidrógeno, en fase vapor, descienden sobre la cama del catalizador (alúmina impregnada con paladio).

En el reactor se llevan a cabo varias reacciones, como ya se mencionó las dos más importantes son: La conversión de butadieno a buteno y la isomerización de 1-buteno a 2-buteno. Las reacciones son exotérmicas y la ΔT del reactor es de aproximadamente 11°C.

No todo el hidrógeno que entra al reactor se consume. Los componentes ligeros que entran con el hidrógeno (tales como el nitrógeno y el metano) salen del reactor sin reaccionar y deben de removerse las olefinas antes de enviarse a la sección de alimentación de hidrocarburos, por lo que se envían a la Torre Agotadora de Dimetil-Eter-DA-101, así mismo, también se eliminan las trazas de DME que puedan haberse arrastrado. Estos componentes ligeros se separan por el domo del agotador mientras que por el fondo se obtienen las olefinas.

Con el fin de remover el metano (trazas) que trae esta corriente, a los vapores que salen por el domo de la torre, se le adiciona una corriente de agua tratada para lavarlos y eliminarlos. Tanto el agua como el metanol se colectan en la bota separadora del tanque acumulador de reflujo FA-102 de donde se envían al drenaje.

Los productos ligeros así como el DME, hidrógeno, dejan el acumulador de reflujo para enviarse al cabezal de gas de combustible.

Los hidrocarburos recibidos en el acumulador de reflujo, se retornan en su totalidad a la columna como reflujo por medio de la bomba GA-102 A/B.

El calor necesario para efectuar la separación en la torre es proporcionado por el rehervidor EA-104, localizado internamente en la torre agotadora. Por el fondo de la agotadora se obtienen las olefinas producto que se irán como carga a la sección de alimentación de hidrocarburos previo enfriamiento en el intercambiador fondos/alimentación EA-101 A/F y en el enfriador EA-106.

6.5.2 Sección de Alimentación de Hidrocarburos

En esta sección se mezclan las diferentes corrientes a la Unidad para enviarse a la sección de reacción.

La corriente de olefinas proveniente de la unidad de craqueo catalítico fluidizado (FCC), entra a Límite de Batería y se recibe en el tanque de balance de alimentación de butilenos FA-201, controlando su flujo por medio de un control en cascada nivel-flujo. De este tanque, los butilenos succionados por la bomba GA-201 A/B y enviados a los secadores de alimentación FF-201 A/B. Antes de entrar a los secadores se mezclan con una corriente de isobutano fresco de L.B. controlando su flujo por medio de un control en cascada nivel-flujo.

En los secadores se absorbe el agua contenida en la mezcla olefinas-isobutano. De los secadores, uno opera normalmente mientras el otro se regenera. La regeneración se efectúa cada 24 horas.

A la mezcla seca de olefinas-isobutano fresco que sale de los secadores, se le une la corriente de butenos proveniente de la sección de Hidrosom para entrar al mezclador tipo "T" ME-201, en donde se adiciona perpendicularmente las corrientes

de isobutano de recirculación de las columnas desisobutanizadora y despropanizadora, para dirigirse finalmente hacia la sección de reacción.

6.5.3 Sección de Reacción

En esta sección se lleva a cabo la reacción de alquilación de la mezcla isobutano-olefina en presencia de ácido fluorhídrico (HF).

La mezcla de hidrocarburos que sale del mezclador se envía a los Enfriadores de Ácido EA-203 A/B en donde se combina con el ácido fluorhídrico proveniente del fondo del asentador de ácido para dirigirse como alimentación al Asentador de Ácido DA-201, en donde se separa el ácido de los hidrocarburos reaccionados.

A las líneas de salida del domo de los enfriadores de ácido por las que circula la mezcla de hidrocarburos-HF que van al asentador de ácido se les conoce como “tubos verticales ascendentes” o “reactores elevadores” y es donde se llevan a cabo las reacciones de alquilación.

El Asentador de Ácido es un recipiente vertical el cual se localiza 15 m sobre los enfriadores EA-203 A/B. El Asentador de Ácido DA-201 recibe la mezcla de los reactores elevadores entrando a este abajo del plato del fondo. En este equipo se separan del HF los hidrocarburos, producto de la reacción.

Los hidrocarburos se separan dentro del asentador por diferencia de densidades, quedando estos en la parte superior, mientras el HF, por su mayor densidad se acumula en el fondo. Los hidrocarburos, se extraen por la parte lateral del mismo y enviándose a la sección de fraccionamiento por medio de la bomba GA-207, para su separación.

Al asentador retornan, para reutilizarse, tanto la corriente de ácido de alta pureza proveniente de la columna re destiladora de ácido, como la corriente de ácido recuperado de las piernas separadoras de los tanques acumuladores de reflujo de la columna desisobutanizadora y de la columna despropanizadora.

Del asentador de ácido, el ácido acumulado en el fondo fluye a los enfriadores de ácido EA-203 A/B de donde parte se mezcla con los hidrocarburos para dirigirse a los reactores elevadores y parte se envía para re destilarse (para eliminar las impurezas formadas), en la columna DA-202 vía la bomba GA-204.

6.5.4 Sección de Re destilación ácida

El propósito de esta sección es la de mantener el ácido fluorhídrico con la mayor pureza posible. El ácido con el uso se va degradando formando fluoruros orgánicos y aceites solubles en ácido (ASAS), por lo que es necesario regenerarlo para eliminar estas impurezas. Esto se lleva a cabo en una columna re destiladora DA-202.

Columna Re destiladora de Ácido D-202

La corriente de fondos de los enfriadores de ácido EA-203 A/B es succionada por la bomba GA-204 y enviada a control de flujo al pre calentador EA-204 y de ahí alimentada a la re destiladora de ácido DA-202.

La destilación del ácido se efectúa introduciendo dos corrientes de isobutanos (iC₄'s) provenientes del fondo de la columna despropanizadora. Una de las corrientes entra por el domo en el plato No. 3 como reflujo y la otra, previo calentamiento, entra por el fondo de la columna como corriente de agotamiento.

Por el domo de la columna DA-202 sale el ácido concentrado junto con los iC_4 's para re utilizarse en el asentador ácido.

Por el fondo de la re destiladora las impurezas (el agua y los aceites solubles en ácido "ASAS") salen para lavarse y neutralizarse cáusticamente, para eliminar el ácido fluorhídrico que pueda arrastrar.

Neutralizadas las ASAS se envían, al tanque de almacenamiento de combustóleo FB-301 para quemarse junto con el combustóleo en el rehervidor de la columna desisobutanizadora BA-201 A/B.

6.5.5 Sección de Fraccionamiento y Tratamiento de productos

La finalidad de esta sección es preparar el propano, el butano e isobutano del alquilado producto para enviarlos a almacenamiento. Las corrientes de propano y butano se purifican antes de enviarse como producto.

Columna Desisobutanizadora DA-203

Los hidrocarburos procedentes del asentador ácido son succionados por la bomba GA-207 A/B y se envían a pre calentarse en el intercambiador de carga/fondos de la desisobutanizadora EA-208 y en el calentador de carga EA-209, para dirigirse a la columna desisobutanizadora DA-203, entrando por el palto No. 40. En esta columna se separa por el domo, el propano e isobutano por el fondo, el butano y el alquilado producto. Para efectuar la separación se suministra calor tanto por el fondo, por medio de los rehervidores a fuego directo BA-201 A/B, así como por el plato No. 40, por medio del intercalentador de vapor EA-211.

Por el domo de la columna se obtienen los vapores de ácido fluorhídrico, propano e isobutano, los cuales pasan por el condensador EA-210 A/F, y los líquidos obtenidos se reciben en el acumulador FA-206.

El acumulador FA-206 cuenta con una pierna de separación en donde se separa el ácido fluorhídrico el cual se envía a control de nivel al asentador de ácido para su reutilización.

De los hidrocarburos líquidos separados en el acumulador FA-206, una parte se retorna al plato No.50 de la columna como reflujo por medio de la bomba GA-208 A/B; otra parte se envía como alimentación, por medio de la bomba GA-210 A/B y a control de flujo, a la columna despropanizadora y; una última parte, se envía a enfriarse en el EA-217 A/C para utilizarse como iC₄'s de recirculación uniéndose con una parte de los hidrocarburos del fondo de la columna despropanizadora.

Del producto de la torre DA-201, una parte se enfría en el enfriador de la corriente de lavado EA-212 A/C y se envía como sello a la bomba de alimentación de la desisobutanizadora GA-207 A/B y otra parte se envía como alimentación a la columna desbutanizadora por medio de un control en cascada nivel-flujo.

Columna Despropanizadora DA-204

Una de las corrientes de hidrocarburos del acumulador de reflujo de la columna desisobutanizadora, es succionada por la bomba GA-210 A/B, se precalienta en el intercambiador carga/fondos EA-213 A/F y se alimenta al plato No. 11 de la columna despropanizadora DA-204.

Por el domo de la DA-204, se separan el propano y el ácido fluorhídrico se condensa en el condensador EA-214 y se colectan en el acumulador FA-207.

El ácido fluorhídrico colectado en el acumulador, se separa en una pierna separadora localizada en el fondo del mismo y se envía a control de nivel al asentador de ácido para reutilizarse.

Los hidrocarburos colectados en el acumulador FA-207 son succionados por la bomba GA-211 A/B y enviados: una parte como reflujo a control de cascada temperatura / flujo al domo de la DA-201 y; otra parte se envía al agotador de ácido fluorhídrico.

Los vapores no condensados recibidos en el FA-207, pasan al absorber de gas de venteo FA-208 en donde se enfrían y condensan para recuperar el propano y el ácido fluorhídrico. Los gases incondensables son periódicamente venteados hacia el neutralizador de ácido DA-207.

Por el fondo de la columna de los hidrocarburos pasan al rehervidor de vapor tipo Kettle EA-215, en donde una parte de los hidrocarburos se evapora para retornar al fondo de la columna; y los hidrocarburos pesados, se enfrían primero en el intercambiador carga/fondos EA-213 A/F y después en el enfriador de fondos EA-216 A/B para dividirse en 5 corrientes: Una se envía como sello a la bomba de reflujo de la desisobutanizadora GA-208 A/B; otro como sello a la bomba de alimentación a la despropanizadora GA-210 A/B; otra más como iC_4 's de recirculación, uniéndose primero con la corriente de domos de la columna desisobutanizadora; otra se envía como iC_4 's de reflujo a la columna regeneradora de ácido DA-202; una más como iC_4 's agotados a la torre re destiladora de ácido; y la última como sellos a la bomba de alimentación a la regeneradora de ácido GA-204.

Neutralizador de Relevo Ácido DA-207

La función de este equipo es neutralizar todos los gases de relevo ácidos así como los incondensables ácidos del domo del tanque acumulador de propano FA-207, haciéndolos reaccionar en contracorriente con una solución cáustica.

Los gases no condensados en el absorbedor de gas de venteo FA-208 son venteados periódicamente hacia el neutralizador DA-207 en donde entran por un tubo sumergido en una solución cáustica (aprox. 5% de NaOH).

Los productos provenientes del cabezal de relevo ácido así como del domo del tanque de balance de ASAS FA-205 llegan al neutralizador, solo que estas corrientes se introducen en una parte más alta que los gases del absorbedor de gas FA-208.

Por el fondo del neutralizador se tiene la bomba GA-216 A/B la cual recircula la solución cáustica del fondo al domo, lavando los gases que ascienden a través de éste, al ponerse en contacto los flujos a contracorriente.

Por el domo del neutralizador salen los gases hacia el tanque de contacto de hidrocarburos FA-301 para finalmente irse al quemador.

Columna agotadora de HF, DA-205 y Tratamiento de Propano Producto

El exceso de líquido, principalmente propano con pequeñas cantidades de ácido fluorhídrico se envía control de flujo a la columna agotadora de HF, DA-205.

La función de la agotadora es separar y recuperar la mayor cantidad de ácido fluorhídrico por el domo de la columna para reutilizarse. Esta columna esta empacada con anillos Rasching de carbón de $\frac{3}{4}$ " de diámetro.

Para efectuar la separación en la agotadora se tiene el rehervidor de vapor EA-218 el cual proporciona el calor necesario al fondo de la columna para evaporar el ácido fluorhídrico. El ácido separado por el domo retorna, a control de presión al tanque acumulador de reflujo de la despropanizadora FA-207.

El propano, con trazas de ácido fluorhídrico y fluoruros orgánicos, sale por el fondo de la agotadora, dividiéndose en dos corrientes: una que se enfría en el EA-219 A/E y se bifurca enviando una parte como sello a la bomba de reflujo de la despropanizadora GA-211 A/B y otra corriente que se envía a mezclarse con la corriente de recirculación de isobutanos (iC_4 's) provenientes del domo de la desisobutanizadora y del fondo de la despropanizadora.

La otra corriente que sale del fondo de la agotadora se sobrecalienta al pasar primero por el intercambiador carga/efluente de los defluorinadores EA-220 y después por el calentador de carga a defluorinadores EA-221, de ahí pasa al defluorinador primario y secundario FA-209 A/B en flujo descendente en donde se disminuye el contenido a fluoruros orgánicos descomponiéndolos en olefinas y en ácido fluorhídrico. A su vez, la mayor parte del ácido fluorhídrico reacciona con la alúmina activada para formar fluoruro de aluminio y agua, enviándose estos por la purga de los defluorinadores a la fosa FE-203.

El efluente de los defluorinadores se enfría al pasar a través del intercambiador fondos/alimentación EA-220 y del condensador EA-222 A/D para dirigirse al tratador de propano FA-210.

El tratador de propano es un recipiente vertical empacado con hojuelas de KOH (hidróxido de potasio), en donde la corriente de propano fluye ascendentemente,

reaccionando con las trazas de ácido fluorhídrico con el hidróxido de potasio para formar fluoruro de potasio y agua, estos productos forma un lodo que debe purgarse periódicamente hacia la fosa FE-203.

El propano libre de fluoruros orgánicos sale por el domo del tratador hacia la bomba GA-212 A/B para ser enviado como producto a L.B. a control de presión.

Columna Desbutanizadora DA-206 y Tratamiento de n-Butano

La corriente principal del fondo de la columna desisobutanizadora DA-203, es enviada a control cascada nivel-flujo como alimentación a la columna desbutanizadora DA-206, al plato 25 o 29.

La finalidad de esta columna es la de separar por el domo los n-butanos y por el fondo obtener el alquilado producto.

Los vapores que salen por el domo se condensan en el condensador EA-223 A/B, recibándose en el acumulador de reflujo FA-211. El líquido colectado es succionado por la bomba de reflujo GA-213 A/B y enviado una parte como reflujo a la columna; y otra como producto a tratamiento hacia los defluorinadores.

Por el fondo de la columna, la corriente de hidrocarburos fluye hacia el rehervidor tipo Kettle de la desbutanizadora EA-224. El cual proporciona por medio de vapor, el calor necesario para efectuar la separación del n-butano del alquilado. Por el domo de este salen los hidrocarburos evaporados retornando a la columna y por el fondo del rehervidor se obtiene el alquilado, para enfriarse al pasar primero por el intercambiador carga/fondos de la desisobutanizadora EA-208 y posteriormente en el enfriador del alquilado producto EA-228 A/B. El alquilado frío es tomado por la

bomba del alquilado GA-215 A/B para enviarse a tanques de almacenamiento a control de presión.

El n-butano producto procedente del acumulador de reflujo FA-211 es tratado antes de salir de la Unidad, para lo cual se sobrecalienta al pasar primero por el intercambiador carga/efluente a defluorinadores EA-225 y después por el calentador con vapor de carga a defluorinadores EA-226, de ahí pasa por el defluorinador primario y secundario FA-212 A/B en flujo descendente. En donde se reduce el contenido de fluoruros orgánicos, descomponiéndolos en olefinas y ácido fluorhídrico, a su vez la mayor parte del ácido reacciona con la alúmina activada para formar fluoruro de aluminio y agua que debe purgarse periódicamente hacia la fosa de neutralización FE-203.

La corriente efluente de los defluorinadores se enfría al pasar a través del intercambiador carga/efluente de los defluorinadores FA-225 y el condensador EA-227 A/B para dirigirse al tratador de butano FA-213.

El tratador de n-butano es un recipiente vertical empacado con hojuelas de hidróxido de potasio por donde la corriente de n-butano fluye ascendentemente reaccionando las trazas de ácido fluorhídrico con el hidróxido para formar fluoruro de potasio y agua. Estos últimos productos se asientan en el fondo del tratador, teniendo que ser purgados periódicamente hacia la fosa de neutralización FE-203.

El n-butano producto libre de fluoruros orgánicos sale por el domo del tratador hacia la bomba GA-214 A/B para ser enviado a control de presión, como n-butano producto a límite de batería⁸.

El diagrama de flujo de proceso puede observarse en la **Figura 6** que se muestra a continuación.

⁸ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

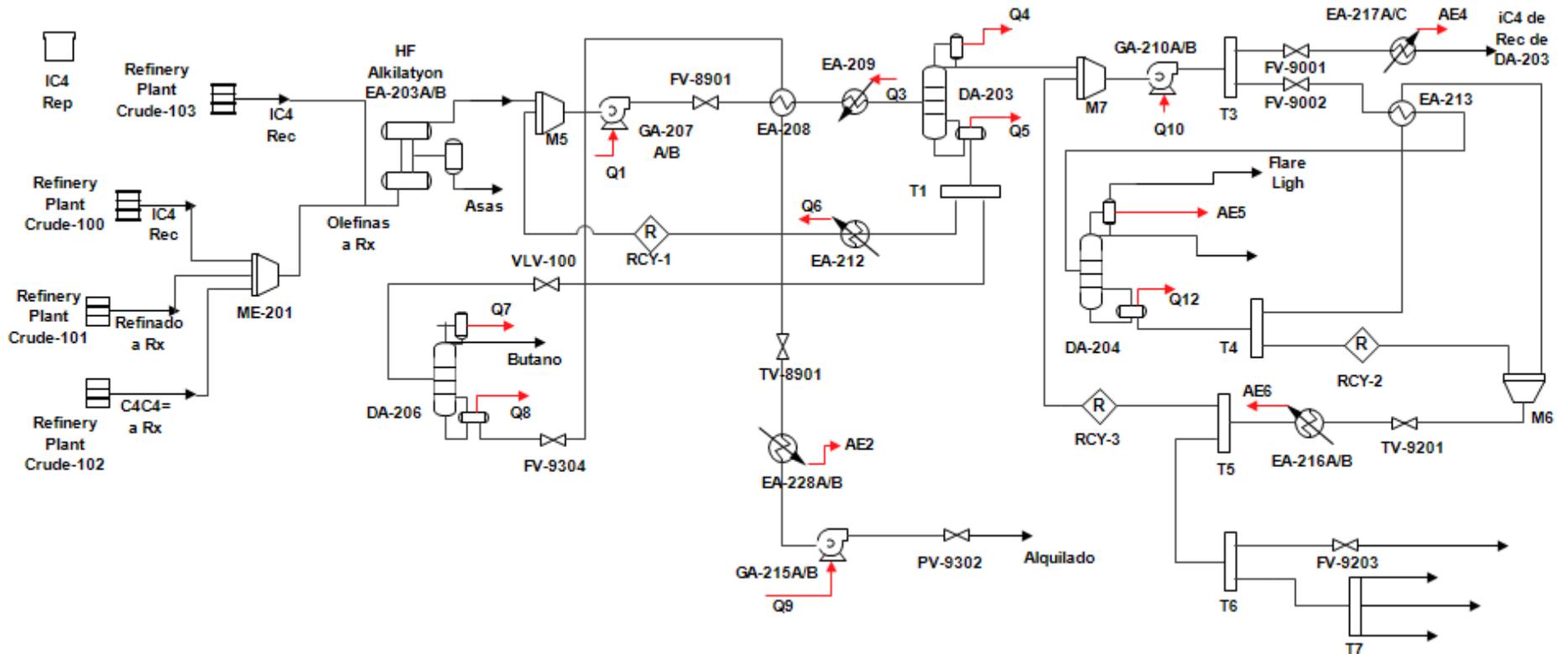


Figura 6. Diagrama de flujo de proceso para la planta de alquilación.

6.6 Descripción de flujo⁹

Para la descripción general del flujo se consideran las siguientes secciones:

- Sección de Hidrisom.
- Sección de Alimentación de Hidrocarburos.
- Sección de Reacción.
- Sección de Re destilación Ácida.
- Sección de Fraccionamiento y tratamiento de productos.
- Sección de Servicios.

El control de esta unidad se realiza por medio de un sistema de control (S.C.D.). La instrumentación que se menciona en esta descripción, envía su señal al S.C.D. a menos que se aclare que es indicación local de campo.

6.6.1 Sección de Hidrisom

La función principal de esta sección es la de preparar la carga de olefinas, convirtiendo primero, el butadieno en buteno e isomerizando el 1-buteno a 2-buteno y; después eliminándole los ligeros (DME, Hidrógeno, etc.) y el agua que pueda arrastrar.

La descripción de flujo de esta sección es:

La corriente de refinado proveniente de la Unidad de MTBE (metil terbutil éter), entra a límite de batería a una presión de 6.0 kg/cm², a una temperatura de 38°C y un

⁹ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

flujo de 4577 BSPD (Barriles de Servicio por Día) medidas por el PI-8404, TI-8406 y el FRC-8402, recibándose en el tanque de balance de Hidrisom FA-101.

Sobre la misma línea de alimentación de refinado, se tiene el totalizador de flujo FQI-8406 así como una toma de muestra para el análisis de la corriente. El control de esta corriente se efectúa por medio del control en cascada nivel del tanque FA-101/flujo de alimentación. LRC-8401/FRC-8402, el cual actúa sobre la válvula FV-8402 de alimentación al tanque FA-101.

El tanque de balance FA-101 cuenta con una pierna separadora en donde se colecta el agua que pudiera traer la carga, verificándose el nivel localmente en el LG-8402, enviándose al drenaje aceitoso cada vez que se acumule esta.

El FA-101 tiene la siguiente instrumentación: el indicador de nivel local LG-8401; el indicador de presión PI-8407 y el indicador control de nivel LRC-8401; la válvula PSV-8401 de relevo hacia el cabezal de desfogue; las alarmas por alto y bajo nivel LAH/LAL-8401; y el interruptor por bajo nivel LSL-8401 el cual actúa parando la bomba de alimentación a Hidrisom GA-101 A/B. Esta bomba también sale de operación al actuar el sistema de protección (interlock) de la unidad, pulsando el botón PB-8701.

Sobre la línea de alimentación al FA-101, convergen dos líneas: la 2" P-8412 la cual se utiliza para drenar los hidrocarburos provenientes del reactor cuando se vaya a reactivar el catalizador y; la otra línea, la 3" P-8614 que se utiliza en el arranque o paro de la Unidad para recircular los hidrocarburos al acumulador FA-101 desde el fondo de la columna agotadora DA-101.

Se tiene la línea de nitrógeno (N_2), 2" N-8401, con el fin de hacer inerte el tanque FA-101 durante el arranque, paro o su mantenimiento.

Del tanque de balance, el refinado es succionado por la bomba GA-101 A/B y enviado hacia el intercambiador de carga a Hidrisom/fondos del agotador de DME EA-101 A/F a 33.4 kg/cm^2 , controlando su flujo (4577 BSPD) por medio del FRC-8403, el cual actúa sobre la válvula FV-8403B. En el cabezal de descarga de la bomba se cuenta con el PI-8403 y el analizador de olefinas AR-8401.

(Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta,N.L.", 1999)La señal de flujo FR-8403, que sale del controlador FRC-8403B se dirige tanto a la válvula FV-8403B como al relacionador controlador RC-8403, que también recibe la señal del registrador de flujo FR-8401 de la línea de entrada de hidrógeno para mantener la relación H_2/HC , en 2.5 enviando una señal al FY-8403A para ajustar el flujo de hidrógeno de alimentación, y mantener la relación, por medio de la válvula FV-8403A.

La corriente de olefinas se precalienta en el intercambiador EA-101 A/F al pasar por la parte de la coraza de este. La temperatura se controla en 62°C por medio del TRC-8405 localizado a la salida del cambiador, este control actúa sobre la válvula TV-8405 desviando la carga caliente que pasa por los tubos, proveniente del fondo de la columna agotadora de DME.

A la salida del intercambiador se inyecta la corriente de hidrógeno para hacer la mezcla H_2/HC , esta mezcla fluye al pre calentador de carga a Hidrisom EA-102 A/H.

La corriente de hidrógeno proviene de la Unidad reformadora, entra a límite de batería a 37°C y 10.0 kg/cm^2 , pasa al tanque separador de hidrógeno FA-214 en

donde se eliminan los líquidos que pudiera traer esta corriente, tanto de H₂O como de hidrocarburos al pasar por el demister del mismo tanque. Los líquidos colectados se envían manualmente al drenaje aceitoso.

El tanque FA-214 cuenta con el indicador de nivel LI-8402 y el interruptor por muy alto nivel LSHH-8402, el cual al accionarse manda a parar el compresor de hidrógeno GB-101 A/B. Este compresor sale también de operación al actuar el sistema de protección de la Unidad, pulsando el botón PB-8701.

Del tanque separador, el gas hidrógeno es succionado por el compresor GB-101 A/B y es enviado a mezclarse con la corriente de olefinas a la salida del intercambiador EA-101 A/F.

A la descarga del compresor se tiene el totalizador de flujo FQI-8405, el indicador de temperatura TI-8401 y el registrador de flujo FR-8401.

La señalización del registrador de flujo de hidrógeno (FR-8401) se dirige hacia el relacionador controlador de flujos (Hidrógeno/Hidrocarburo, H₂HC), el RC-8403. En general incrementando esta relación, mejorará la conversión en el reactor pero también se incrementará la saturación de butenos a butanos. El relacionador RC-8403 recibe las señales de la corriente de refinado FRC-8403 y de hidrógeno FR-8401 para mantener la relación H₂/HC en 2.5, la señal resultante se dirige hacia el selector de señal de sobredominio FY-8403, para finalmente ajustar la abertura de la válvula FV-8403A. El sector de sobredominio FY-8403 recibe dos señales, la proveniente del relacionador RC-8403 y la de la alarma por alta diferencial de temperatura de la cama del reactor. El selector de sobredominio compara ambas señales, si la señal de alta diferencial de temperatura no existe, sale la señal de

ajuste del relacionador de flujo RC-8403. En caso de que si exista la señal de alta diferencial de temperatura se detendrá la señal del relacionador y saldrá la señal de alta diferencial de temperatura de temperatura del reactor (TDSH-8402 el cual esta calibrado a un $\Delta T=15^{\circ}\text{C}$), para mantener a una determinada abertura la válvula FV-8403A, controlando el flujo de hidrógeno y por ende la reacción. La válvula FV-8403A es la que regula el flujo de hidrógeno mientras que la válvula TDV-8402 es una válvula ON/OFF de corte la cual opera normalmente abierta, y cierra cuando recibe la señal del interruptor por muy alta temperatura diferencial del reactor TDSHH-8402 calibrado a un $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$.

Sobre la línea principal de hidrógeno se tiene además la línea 3"H-8401 que provoca un efecto de bypass al compresor GB-101 A/B, la cual se emplea cuando el catalizador del reactor vaya a reactivarse. Así mismo, se tiene la línea 1"H-8406, localizada en la descarga del compresor, que se utiliza durante el arranque de la Unidad para presionar el reactor y la columna agotadora de DME.

A la salida del intercambiador EA-101 A/F se tiene la línea 3"P-8413 la cual se utiliza para provocar un bypass en el reactor enviando las olefinas en forma directa a la columna agotadora de DME, así mismo, se tiene la línea de nitrógeno 1"N-8402 la cual se utiliza para volver inerte la sección de reacción y poder girar la figura 8" a la salida del intercambiador. Ambas líneas se utilizan cuando se regenera el catalizador o durante el arranque o paro de la unidad.

Bajo condiciones normales el hidrógeno, que está presente en muy poca cantidad, se disolverá completamente con los hidrocarburos. La mezcla de H_2/HC pasa al precalentador de carga a Hidrisom EA-102 A/H y de aquí al mezclador ME-101.

En la salida del precalentador, se tiene el indicador de temperatura TI-8409, sin embargo, el control de temperatura se efectúa a la salida del mezclador, una vez que la mezcla H₂/HC haya sido homogeneizada por medio del TX-8403 el cual envía su señal al selector HS-8403 y de ahí al controlador TRC-8403 para que controle 57°C (inicio de corrida) regulando la cantidad de vapor de baja al precalentador.

Para catalizador nuevo puede que sea necesario usar agua de enfriamiento en el precalentador EA-202 para enfriar la alimentación al reactor, por medio del controlador TRC-8404 y el vapor de baja para calentar ligeramente la carga o el vapor de alta se utilizará cuando se reactive el catalizador del reactor, por medio del controlador TRC-8403. El precalentador EA-102 A/H puede operar con vapor de alta, vapor de baja o bien con agua de enfriamiento, dependiendo del caso de operación que se tenga.

El mezclador en línea ME-101 asegura una temperatura uniforme en la corriente, este, está colocado entre el indicador de temperatura TI-8409 y el TX-8403. El mezclador ME-101, es un tubo de 3 ¼" de acero al carbón con 4 placas longitudinales giradas 90° entre ellas lo que provoca una alta eficiencia en el mezclado.

La corriente de H₂/HC que sale del mezclador entra al reactor por la parte lateral superior a través de un tubo distribuidor, desciende por el lecho catalítico y sale por el fondo de la columna agotadora de DME. La función del reactor es mejorar la calidad de la corriente de olefinas para su alquilación.

El reactor es un tubo de acero al carbón de 0.915 m de diámetro y 8.91 m de longitud. El catalizador, constituido por 4378 kgs de bolas de alúmina impregnadas

de paladio, cubre una altura aproximada de 7.70 m esta soportado por: la parte superior, por una capa de 15.2 cm de bolas de alúmina de ½" de diámetro y una malla de acero inoxidable 204 y; por la parte inferior, debajo de la cama del catalizador, se tiene una capa de 7.6 cm de bolas de cerámica de 1/8" de Ø, seguida por una capa de 7.6 cm de bolas de cerámica de ¼" de Ø y, finalmente una tercera cama de 15.2 cm de bolas de cerámica de ½" de Ø y debajo de las capas de las bolas de cerámica se tiene una malla de 10 mesh de acero inoxidable.

Es importante hacer notar que la alimentación al reactor es en fase líquida. Si la alimentación fuera parcialmente vaporizada, presentaría zonas de una muy alta reacción de H₂/HC lo que traería como consecuencia una alta saturación de buteno a butano. Si la alimentación al reactor es totalmente líquida, la corriente será líquida al pasar por el reactor porque el hidrógeno (el componente más ligero) se consumirá progresivamente en la reacción.

Algunos compuestos pueden envenenar o desactivar al catalizador. El monóxido de carbono (CO) tenderá a reducir la actividad del catalizador. Una vez que se detenga la fuente de contaminación de CO, el catalizador llegará a estar nuevamente activo. La probable fuente de contaminación con el monóxido de carbono es la alimentación de hidrógeno. La pasivación, por el CO puede compensarse por el incremento de la temperatura del reactor o un incremento en la adición de hidrógeno.

La contaminación de azufre se comporta de la misma manera que el CO. Generalmente, un incremento de 2 a 5 °C en la temperatura del reactor será suficiente para compensar la presencia de azufre y CO.

El catalizador del reactor se irá desactivando por la acumulación gradual de compuestos de azufre y carbón sobre su superficie. Cuando se llega a tener una gran cantidad de carbón sobre el catalizador, se debe parar la unidad y enviar el catalizador para que se elimine el carbón. La operación de eliminación del carbón se conoce como **Regeneración del catalizador**¹⁰.

6.6.2 Sección de Alimentación de Hidrocarburos

La finalidad de esta sección es mezclar y eliminar la humedad a las diferentes corrientes de alimentación para enviarlas a la sección de reacción de alquilación.

Aquí convergen las dos corrientes principales de alimentación de olefinas y la de isobutanos de reposición. Una de las corrientes de olefina, la que proviene de la Unidad MTBE pasa primero la sección de Hidrisom para isomerizarse y eliminarle los componentes ligeros que puede traer; la otra corriente que proviene de la Unidad de FCC, se une con la corriente de isobutano de reposición, ambas corrientes se secan y se mezclan con la corriente isomerizada de MTBE proveniente de la sección de Hidrisom y con la corriente de recirculación de iC_4 para dirigirse a la sección de reacción.

La carga proveniente de la Unidad FCC entra a límite de batería, a 38°C y 13.4 kg/cm², su flujo (496.04 m³ std) se controla por medio del FRC-8603, sus condiciones de entrada se conocen por la siguiente instrumentación; el TI-8609; el PI-8606; y el totalizador de flujo FQI-8608. Controlada la carga, fluye hacia el tanque de balance de alimentación de butilenos FA-201.

¹⁰ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

También se cuenta con una toma de muestra en la línea de alimentación dentro del límite de batería con el fin de analizar la carga de FCC.

El tanque FA-201 cuenta con una bota separadora, para separar parte del agua que trae la corriente de FCC, drenando manualmente el agua que se acumule, verificando el nivel localmente en el LG-8604.

El nivel de hidrocarburos del tanque se controla por medio del LRC-8602 el cual opera en cascada con el controlador de flujo FRC-8603 de alimentación al mismo tanque.

El tanque cuenta además con la siguiente instrumentación para su mayor control: los indicadores de presión tanto local como remoto PI-8609 y PI-8603 respectivamente; el indicador local de nivel LG-8603, y la válvula de relevo PSV-8607.

Las condiciones de operación del tanque FA-201 son 38°C y 3.8 kg/cm².

Las olefinas del tanque de balance son tomadas por la bomba de alimentación de butilenos GA-201 A/B y enviadas, a 38°C y 16.8 kg/cm², a control de flujo por medio del FRC-8604 (496 m³ std) hacia el secador de carga olefina FF-201 A/B, previo mezclado con el isobutano de reposición.

La bomba GA-201 A/B está unida al sistema de protección de esta planta, saliendo de operación al actuarse el interlock de paro. Además en el cabezal de descarga de estas, cuenta con un indicador de presión PI-8604.

El isobutano proveniente de la Unidad Fraccionadora de Gases, entra a límite de batería a 38°C y 7.6 kg/cm², se controla su flujo (234 m³ std) por medio del FRC-8601 y se envía al tanque de balance de alimentación de isobutano FA-203. Las

condiciones en límite de batería de esta corriente se conocen por el TI-8608; el PI-8605; el totalizador de flujo FQI-8607 y el controlador de flujo FRC-8601.

También se cuenta con una toma de muestra de línea de alimentación dentro de límite de batería con el fin de analizar la carga fresca de isobutanos.

Las condiciones de operación del tanque FA-203 son 38°C y 3.9 kg/cm².

Este tanque cuenta con una bota separadora en el fondo del mismo, para separar parte del agua que trae esta corriente. El agua acumulada es drenada manualmente verificando el nivel en el indicador local de la bota LG-8602.

El nivel del tanque FA-203 se controla por medio del controlador C-8601, el cual opera en cascada con el controlador de flujo de alimentación al mismo FRC-8601.

El tanque cuenta además con la siguiente instrumentación complementando su control: el indicador local de nivel LG-8601, los indicadores de presión local y remoto PI-8606 y PI-8601, respectivamente; y la válvula de relevo PSV-8601.

Sobre la línea (2" P-8601), de alimentación al tanque FA-203, converge la línea 2" P-9228 la cual se utilizará para recircular el isobutano en el arranque. Además sobre el tanque se cuenta con la línea de N₂, 2" N-8602 para hacer inerte este equipo durante el arranque o paro de la Unidad.

El isobutano es tomado por la bomba de alimentación de isobutano GA-203 A/B y enviado a 38°C y 16.8 kg/cm², a control de flujo (234 m³ std) por medio del FRC-

8602, al secador de carga olefínica FF-201 A/B previo mezclado con la corriente de butilenos proveniente de la Unidad FCC¹¹.

6.6.3 Sección de Reacción

En esta sección se lleva a cabo la reacción alquilación de la mezcla de isobutanos-butilenos en presencia de ácido fluorhídrico.

La sección de reacción comprende en enfriador de ácido EA-203 A/B, las líneas de levantamiento o “tubos reactores” y el asentador de ácido DA-201.

En la alimentación de hidrocarburos totales a los reactores, la relación de volumen de isobutano respecto a las olefinas es de 12:1 (iC₄'s/C₄=’s).

A las dos corrientes de hidrocarburos que se dividen a la salida del mezclador ME-201 se les ajusta su flujo (4352 m³ std por c/u) manualmente por medio de unas válvulas de globo que están sobre la línea, verificando dicho flujo en los FI-8701 y FI-8702, para que fluyan a los enfriadores de ácido EA-203 A/B. Antes de la entrada a los enfriadores se tienen las válvulas operadas por motor eléctrico aire POV-8706 y POV-8711 de corte de suministro de hidrocarburos, las cuales cierran al actuar el sistema de protección que tiene implementada la unidad.

Los hidrocarburos entran por el lado de la coraza de los enfriadores EA-203 A/B, mientras que el agua de enfriamiento fluye por el lado de los tubos.

La función del enfriador EA-203 A/B es eliminar el calor generado en la reacción. Ya que el ácido se recircula del asentador a los enfriadores. El enfriador es de dos pasos, de tubos en “U”. La envolvente se extiende más allá de los tubos

¹¹ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta,N.L.", 1999)

ascendentes en donde se mezclan los hidrocarburos con el ácido fluorhídrico para que la mezcla fluya hacia los tubos reactores.

Con el fin de tener un mejor control de temperatura en estos enfriadores se tiene indicación tanto a la entrada como a la salida en el lado de los tubos (agua de enfriamiento), así como en la salida del lado de la coraza como en la misma coraza.

El agua de enfriamiento de retorno que sale de los enfriadores EA-203 A/B se utiliza en otros equipos como agua de enfriamiento. Para prevenir algún peligro en caso de una fuga interna en los enfriadores a la salida del lado de los tubos (agua de retorno), en cada enfriador se tiene una toma de muestra para verificar con "Papel Tornasol" que no exista fuga de ácido de la coraza hacia los tubos, esta verificación debe efectuarse cada 4 horas. En caso de que se detecte la presencia de ácido, la Unidad debe parar tan pronto como sea posible y reparar el enfriador de ácido para prevenir mayores consecuencias.

La diferencia de temperatura entre la tubería elevada o tubos reactores antes de entrar al asentador (TI-8702 y TI-8703) y el enfriador (en la coraza TI-8709 y TI-8706) debe ser de 4 a 5 °C y la diferencia de temperatura en el asentador será de 7°C más alta que la temperatura del ácido debido al calor removido por la condensación de los vapores de la columna agotadora de ácido.

Por el extremo superior del lado coraza de cada cambiador, sale una línea de 28" Ø, la cual tiene una longitud de 9114 mm, y se extiende de la salida del enfriador hasta la entrada del asentador, cada una de estas líneas es un reactor, conocido como tubo reactor, ya que a lo largo de ellos se efectúan las reacciones de

alquilación, siendo reacciones instantáneas. El tiempo de residencia de los hidrocarburos en el reactor es de aproximadamente 20 seg.

Los hidrocarburos con el ácido fluorhídrico entran al asentador de ácido DA-201 a 40°C y 8.5 kg/cm².

Entrando al asentador, la mezcla de hidrocarburos/ácido fluorhídrico, se separa en dos fases: la fase pesada, constituida por el ácido fluorhídrico, se asienta en el fondo regresando a los enfriadores de ácido EA-203 A/B, a través de dos líneas de 20" de diámetro en donde se remueve el calor generado en la reacción, este ácido fluorhídrico se recircula y es lo que se utiliza como catalizador. La función del ácido fluorhídrico es la de fungir como catalizador en la reacción. La circulación de ácido a través de los enfriadores EA-203 A/B, los tubos reactores y el asentador es causada por la diferencia en la densidad del ácido entre la tubería de salida del fondo del asentador y los tubos reactores.

La gravedad específica del ácido en la tubería de salida del fondo es de aproximadamente 0.95, mientras que la mezcla de ácido/hidrocarburos en los tubos reactores es de cerca de 0.88 lo cual es una diferencia suficiente para inducir una circulación de ácido de 4 veces el flujo total de hidrocarburos hacia el reactor, por lo tanto, la relación volumétrica líquida ácido/hidrocarburos es de 4 a 1¹².

¹² (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

6.6.4 Sección de Regeneración de Ácido

Columna Regeneradora de Ácido DA-202

La sección de re destilación ácida comprende la columna regeneradora de ácido DA-202, así como las líneas, equipos e instrumentación, que conllevan las corrientes que convergen a esta misma columna.

La función de la columna regeneradora DA-202 es la de mantener el ácido fluorhídrico lo más puro que sea posible, eliminando principalmente los aceites solubles en ácido (ASAS) y el agua.

El ácido fluorhídrico con impurezas que sale del fondo del enfriador EA-203 A/B, es succionado por la bomba GA-204, enviándose a la columna regeneradora DA-202 previo calentamiento, controlando su flujo, por medio del controlador FRC-8802 el cual actúa sobre la válvula FV-8802. Las condiciones del ácido antes de calentarse en el vaporizador de ácido EA-204 son 10.23 kg/cm² y 38°C, medidos en el PI-8706 y TI-8804.

El ácido pasa por el lado de tubos del vaporizador en donde se calienta hasta 143°C, esta temperatura se controla por medio del control de sobre dominio por baja señal RX-8801, el cual selecciona la señal más baja entre la señal de la temperatura de proceso a la salida del evaporador TRC-8801 y la señal del control de presión del vapor de media PIC-8801. La señal más baja seleccionada sale hacia la válvula PV-8801 para regular la cantidad de vapor de media presión al vaporizador.

Con el objeto de prevenir una corrosión acelerada en los tubos de monel del EA-204, es importante que la temperatura del vapor en la coraza se mantenga debajo de 166°C. El esquema empleado en el vaporizador EA-204, no permite suministrar

una presión que exceda la presión del lado proceso hacia el lado vapor. Una parte el condensado de la bota del EA-204 es succionado por el eductor (eductor de condensado) y mezclado con el vapor de media para atemperar, la corriente de sobrecalentamiento que fluye al vaporizador BH-303. A la salida de condensado del vaporizador debe verificarse dos veces al día con papel tornasol que no exista fuga de ácido.

Una vez caliente el ácido fluorhídrico con impurezas, fluye a la columna regeneradora, alimentándose debajo del plato No.1 de la sección superior.

La columna opera a 148°C y 9.5 kg /cm². El material tanto de la línea de entrada como de la columna es de monel. La columna es un recipiente que tiene forma de botella invertida, ensamblada en dos secciones, la parte inferior tiene un diámetro de 457 mm, y una longitud de 3,200 mm; y la parte superior tiene un diámetro 1219 mm, y una longitud de 3,048 mm. En la parte inferior tiene 6 deflectores igualmente espaciados, los deflectores tienen un ángulo de 15° con respecto a la horizontal y sirven como platos de agotamiento. En la sección superior se tienen 3 platos tipo válvula.

Por el domo de esta, salen los gases de ácido fluorhídrico junto con los iC₄'s que se alimentan como corriente de reflujo como de agotamiento, retornando al asentador de ácido DA-201. Sobre esta línea de domos se tiene el indicador de temperatura TI-8802. Arriba del plato No.3 entra una corriente de iC₄'s proveniente del fondo de la columna despropanizadora previo enfriamiento. A esta corriente se le controla su flujo por medio del FRC-8801 el cual actúa sobre la válvula FV-8801. Como protección se tiene la válvula de corte POV-8801 la cual cierra la accionar el botón de vaciado PB-8701, accionando el interlock de emergencia.

En la sección inferior, a la altura de la placa deflectora del fondo, se tiene la válvula de relevo PSV-8801, la cual releva al cabezal de desfogue ácido. La válvula de relevo está ubicada abajo, con el fin de disminuir la cantidad de ácido relevado ya que la mayor parte está constituida por hidrocarburos y ASAS.

Debajo de las placas deflectoras se tiene la entrada de otra corriente de iC_4 's proveniente también del fondo de la columna despropanizadora, previo enfriamiento. Esta corriente se utiliza como corriente de agotamiento de fondos. Antes de que entre a la columna, esta corriente se calienta con vapor de media al pasar por el lado coraza del sobrecalentador del agotador de isobutano EA-205 A/G. A la salida del sobrecalentador se tiene el controlador de flujo FRC-8803 el cual actúa sobre la válvula FV-8803 regulando el flujo a la columna. El control de temperatura de esta corriente se efectúa por medio del control de sobre domino por baja señal RX-8806, el cual selecciona la señal más baja al comparar la señal del control de temperatura TRC-8806, localizado después del control de flujo, y la señal proveniente del controlador de presión PIC-8802 del vapor de media presión a la entrada del sobrecalentador. La señal más baja sale hacia la válvula automática PV-8802 para regular el flujo de vapor de media presión al sobrecalentador EA-205 A/G. El esquema empleado en este vaporizador no permite suministrar una presión que exceda la presión del proceso. Por lo que en caso de existir alguna fuga, esta será del lado proceso al del vapor¹³.

¹³ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

6.6.5 Sección de Fraccionamiento y tratamiento de productos

En esta sección se obtiene el propano, butano y el alquilado producto por medio del fraccionamiento de la corriente de hidrocarburos que sale del asentador de ácido, primero con alúmina activada y después tratando con hidróxido de potasio las corrientes de propano y butano para eliminar los residuos de ácido que haya sido arrastrado.

La descripción de flujo es la siguiente:

La corriente de hidrocarburos efluente del asentador es succionada por la bomba GA-207 A/B. A la descarga se controla su flujo por medio del FRC-8901, el cual actúa sobre la válvula FV-8901, fluyendo hacia el lado de los tubos del intercambiador carga/fondos de la desbutanizadora EA-208, en donde se precalienta hasta 59°C. Esta temperatura se controla por medio del TRC-8901 el cual actúa sobre la válvula de 3 vías que bypassea a este mismo cambiador por el lado coraza, cuya corriente proviene del fondo de la columna desbutanizadora.

La bomba GA-207 A/B cuenta con una corriente de iC_4 de flushing a los sellos, proveniente del fondo de la columna desbutanizadora. Dicha corriente se enfría, al pasar por el enfriador EA-212 A/C, hasta 30°C.

Esta bomba (GA-207 A/B), está unida al sistema de protección de la Unidad, parando cuando sea accionado el botón PB-8701 y se tenga bajo nivel de hidrocarburos en el asentador de ácido DA-201.

La corriente efluente del cambiador EA-208 pasa al calentador de carga de la columna desisobutanizadora EA-209, por el lado de los tubos, calentándose hasta 71°C al intercambiar calor con vapor de baja presión, el cual pasa por el lado de la

coraza. La temperatura se controla por medio del TRC-9001, y la válvula TV-9001 de suministro de vapor de baja al calentador. La corriente que sale del EA-209 entra a la columna desisobutanizadora DA-203.

Columna Desisobutanizadora DA-203

La corriente efluente del calentador EA-209 se alimenta a la columna DA-203, entrando al plato chimenea No.40 a 71°C y 11.5 kg/cm².

La columna cuenta con 50 platos tipo rejilla en "V", instalados de la siguiente manera: del 1 al 38 son de 4 pasos, del 41 al 50 son de 2 pasos y los platos 39 y 40 son tipo chimenea.

Una vez establecida el flujo de alimentación a esta columna no se debe variar, ya que de esta manera se controla el nivel en el asentador de ácido, variando pues el flujo se rompe el equilibrio de las recirculaciones internas por el desequilibrio en las columnas desisobutanizadora DA-203 y despropanizadora DA-204, lo cual requerirá de 12 a 24 horas para volver a estabilizar el sistema.

En esencia la velocidad de alimentación a la desisobutanizadora, ajusta la relación isobutano/olefina en el reactor ya que del 80 al 85% de esta alimentación es isobutano en reciclo.

Es conveniente ajustar la velocidad de alimentación a la columna a la de diseño y nunca cambiarla. Esto permitirá variar la relación isobutano/olefina mientras varíe la cantidad de olefinas de alimentación siempre en la dirección que se desea, esto es mientras disminuya la alimentación de olefinas, la relación se incrementará, y mientras la alimentación se incrementa, la relación se disminuirá a la relación óptima

limitada por el tamaño del equipo de fraccionamiento. Recordar que esta Unidad ha sido diseñada para mantener una relación de isobutano/olefina de 12:1.

La columna desisobutanizadora opera a 71°C y 11.3 kg/cm², por el domo y; 158°C y 11.6 kg/cm², por el fondo.

Los vapores que salen por el domo de la columna se condensan en los condensadores EA-210 A/F. Los hidrocarburos condensados se colectan en el tanque acumulador de reflujo de la desisobutanizadora FA-206.

En la línea de salida de vapores del domo de la columna, se tiene el indicador e interruptor por alta presión PI-9001/PSH-9001. Este interruptor esta calibrado de tal manera que cuando aumenta la presión se desencadenan las siguientes acciones: Cierre de la válvula controladora de nivel LIC-8801, de salida de ASAS hacia lavado, del fondo de la torre regeneradora DA-202; así mismo cierra la válvula de corte de gas combustible o combustóleo a los rehervidores de la desisobutanizadora BA-201 A/B¹⁴.

¹⁴ (Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.", 1999)

6.7 Análisis comparativo

En esta sección se efectuara un análisis, el cual tendrá la finalidad de realizar una comparación con respecto a las buenas prácticas usadas en el caso de estudio y las que se proponen en el modelo de planeación, para las fases de prueba y arranque de la planta. Esto se realiza con la finalidad de observar si el uso de estas prácticas ayudaría a que dichas fases se lleven a cabo de la mejor manera posible.

Con esto se busca mostrar cuales son y cómo se implementarían las prácticas que complementen a las usadas previamente en el caso de estudio, teniendo como objetivo que sirvan de guía en la creación de futuros proyectos.

Para ejemplificar de mejor manera lo dicho anteriormente, haremos uso de una tabla comparativa que nos permita observar cuáles fueron las prácticas usadas en el caso de estudio, y cuáles son las que se proponen en el modelo de planeación, para de este modo efectuar la comparación entre ellas.

Finalmente podremos cotejar si algunas de las prácticas que aquí se proponen han sido usadas o tomadas en cuenta previamente, de no ser así, se explicará la manera en la que su uso resulta benéfico en este tipo de circunstancias.

Prácticas para la fase de Prueba y Arranque	
Caso de Estudio	Modelo de Planeación
Inspección final	Asegurar el compromiso del director del proyecto
Lavado	Buscar un pronóstico realista de duración del proyecto
Prueba hidrostática de equipos y sistemas	Estimar el costo que tendrá arranque
Prueba de continuidad	Reconocer el impacto que este tendrá en la economía del proyecto
Prueba de hermeticidad	Establecer los objetivos del arranque
Introducción de servicios	Desarrollar el plan de ejecución del arranque
Inspección y comprobación de equipo eléctrico	Hacer las asignaciones para el equipo encargado del arranque
Comprobación de circuitos de control e instrumentos	Identificar los sistemas para el arranque
Corrida de prueba de bombas y compresores	Adquirir aportaciones para el mantenimiento y las operaciones
Secado de hornos	Evaluar el riesgo del arranque
Eliminación de humedad	Analizar los incentivos para el arranque
Lavado, prueba y alineamiento de tanquería, tuberías y equipo de patio	Identificar los requerimientos de procuración
Verificación del inventario de materias primas y reactivos	Refinar el presupuesto y el calendario de inicio
Procedimiento de arranque	Actualizar el plan de ejecución del arranque
Verificación de faltantes	Tratar los problemas del arranque en las sesiones de formación de los equipos
Arranque de sección de Hidrisom	Evaluar y comunicar los efectos de los cambios en el arranque
Arranque de las secciones de preparación de carga, reacción y fraccionamiento de productos	Plan para el soporte de campo del proveedor para el arranque
Producción de alquiler	Incluir el arranque en los horarios del proyecto
Puntos de control de la operación	Plan para el arranque QA/QC
Operaciones de rutina	Clarificar la organización en el equipo y la responsabilidad en sus acciones

Tabla 3. Tabla comparativa fase de Prueba y Arranque.

Prácticas para la fase de Prueba y Arranque	
Caso de Estudio	Modelo de Planeación
-----	Adquirir inversiones adicionales para el mantenimiento y las operaciones
-----	Indicar los números del sistema de arranque para los productos de ingeniería
-----	Clarificar la evaluación de riesgo en el arranque
-----	Plan de entrenamiento para el mantenimiento
-----	Desarrollar el plan de repuestos para el arranque
-----	Desarrollar el plan de rotación del sistema
-----	Desarrollar y comunicar los procedimientos para el arranque
-----	Refinar el presupuesto y el horario para el arranque
-----	Actualizar el plan de ejecución del arranque
-----	Calificar los proveedores para los servicios del arranque
-----	Refinar y agilizar el plan de repuestos para el arranque
-----	Implementar el plan de procuración QA/QC
-----	Actualizar el plan de ejecución del arranque y el tema para la construcción
-----	Conducir al equipo para que inicie la construcción
-----	Clarificar el cronograma integral para el arranque CPM
-----	Conducir el entrenamiento para el mantenimiento y la operación
-----	Implementar el plan de campo QA/QC
-----	Transición del sistema de arranque basado en la educación
-----	Finalizar la organización para el mantenimiento, la organización y los sistemas de gestión
-----	Revisión de los sistemas
-----	Sistemas para la puesta en marcha
-----	Introducir la materia prima
-----	Realizar pruebas de rendimiento
-----	Finalizar la documentación

Tabla 3. Tabla comparativa fase de Prueba y Arranque (Continuación).

Al comenzar con este análisis, se puede observar que para el caso de estudio, esta fase del proyecto no es tan específica con respecto a cuales fueron las prácticas usadas para llevarla a cabo, ya que al compararlas con las que propone el modelo de planeación aquí presentado estas son menos en cuanto a número, y abarcan menos áreas de las que en él se proponen.

Todas las prácticas que se mencionan en el caso de estudio nos brindan una mayor información sobre lo relacionado al funcionamiento de los equipos y ultimar todos los detalles de la planta para ponerla en operación, dichas prácticas las podemos equiparar con las que se mencionan en la parte final del modelo de planeación justo antes de que la planta sea puesta en marcha que están referidas como:

- Finalizar la organización para el mantenimiento, la organización y los sistemas de gestión.
- Revisión de los sistemas.
- Sistemas para la puesta en marcha.
- Introducir la materia prima.
- Realizar pruebas de rendimiento.
- Finalizar la documentación.

Aun así, se puede observar que detrás de estas prácticas hay más de ellas que tienen como finalidad el facilitar la realización de estas etapas y cumplir adecuadamente con ellas.

Muchas de las prácticas propuestas están relacionadas con los orígenes de la creación y planeación de un proyecto, e involucran a todos aquellos que tengan participación en el mismo. Otro aspecto que se da a notar en las prácticas

propuestas en el modelo, es que gran parte de ellas son de carácter administrativo, como lo son el desarrollo y ejecución de diversos planes, establecimiento de objetivos, estimaciones de costos, evaluaciones de riesgos, etc. El conjunto de todas estas prácticas sirven de base para comenzar con la implementación de la fase de prueba y arranque.

Dentro de esta fase, se propone como opción el llevar a cabo ciertos planes que sirvan de entrenamiento al personal que estará encargado de llevar a cabo la operación y mantenimiento de la planta principalmente.

Posteriormente, el modelo nos presenta las prácticas correspondientes a la fase de construcción y acondicionamiento de la planta, donde se destacan prácticas tales como:

- Conducir al equipo para que inicie la construcción.
- Finalizar la organización para el mantenimiento, la organización y sistemas de gestión.
- Transición del arranque basado en la educación.

Finalmente, las últimas prácticas a las que hace alusión el modelo de planeación son las que más se asemejan a las desarrolladas en el caso de estudio usado para efectuar el análisis, y son las que principalmente podemos relacionar entre los dos casos, entre ellas se encuentran:

- Revisión de los sistemas.
- Sistemas para la puesta en marcha.
- Introducción de la materia prima.
- Realización de pruebas de rendimiento.

En ellas se toma en cuenta todo lo relacionado con la revisión y buen funcionamiento de todos los equipos, sistemas y aditamentos que hacen que la planta funcione correctamente, que fue la parte que más atención tuvo en el desarrollo del caso de estudio.

De este modo, podemos observar que efectivamente existen prácticas que necesitan ser tomadas en cuenta para complementar aquello que no está enfocado en el funcionamiento de la planta, ya que como propone el modelo, son muchas las aristas que en conjunto componen todo lo relacionado con la fase de prueba y arranque de la planta, entre ellas están:

- **Planeación:** Es la parte fundamental del proyecto ya que aquí es donde todo nace, y donde la idea se pone en marcha, tomando en cuenta el compromiso del director del proyecto para que brinde su apoyo en todo momento.
- **Administrativa:** Todo aquello relacionado con contratos, evaluaciones de riesgo, estimación costos, implementación de horarios, desarrollo de planes de ejecución, duración del proyecto, etc.
- **Personal:** Desarrollo de planes de entrenamiento para el equipo encargado de la operación y el mantenimiento, y posteriormente efectúen el arranque de la planta.
- **Construcción:** Tomar en cuenta todos los detalles como son repuestos, plan de procuración, servicios, equipos, etc., y finalmente llevar a cabo la construcción.
- **Operación:** En ella se toma en cuenta todo lo anteriormente mencionado acerca de la revisión y buen funcionamiento de equipos y sistemas para que la planta funcione correctamente.

Con esto nos damos cuenta de que una serie de buenas prácticas, realizadas de la manera correcta nos traerá como resultado el objetivo deseado de tener un arranque exitoso.

7 Conclusiones

El tema de cómo se debe efectuar la fase de prueba y arranque de una planta posee una gran diversidad de opiniones al respecto; debido a que cada caso es diferente, y en ellos se pueden presentar distintos inconvenientes, por lo que es complicado descifrar cuáles son los pasos exactos a seguir que garanticen que se obtenga un arranque exitoso sin importar el giro de la industria.

Por tal motivo, y con ayuda del análisis comparativo efectuado en el presente documento, principalmente de la tabla comparativa mostrada en la **Tabla 3** del presente documento, se podrá brindar orientación a las personas que no tengan experiencia sobre cómo se lleva a cabo la fase de prueba y arranque; es importante mencionar que no cualquier persona puede llevar a cabo un proceso de tal dimensión, en estos casos el ingeniero encargado debe cubrir un cierto perfil; debe tener capacidad de resolver problemas en corto tiempo, buscar alternativas que beneficien y ayuden a agilizar su trabajo, responsable, con aptitudes para delegar autoridad, debe ser proactivo y saber trabajar bajo presión, entre otras cosas; y eso es algo muy importante que vale la pena recalcar. Gracias al modelo de planeación que aquí se propone, tenemos la facultad de proveer información sobre cuáles son las prácticas mínimas necesarias para llevar a cabo el arranque de una planta.

Aunque se tiene la experiencia de que en otros países ha dado buenos resultados, queda pendiente su aplicación más frecuente en futuros proyectos en nuestro país.

El gran reto de este modelo, es que se presente la oportunidad de someterlo a prueba en un caso real, observar su funcionamiento y corroborar si efectivamente

las prácticas que en él se proponen son las adecuadas, y si su implementación permite obtener mejores resultados, de este modo, podrían ser usadas con una mayor frecuencia

Desde mi punto de vista, el haber aplicado las buenas prácticas que aquí se recomiendan, hubiese traído algunos beneficios en cuanto al desarrollo en el arranque de la planta, posiblemente en cuanto al tiempo y forma en la que se entregó el proyecto; debido a que al tener buenas bases principalmente con respecto a lo que se refiere en temas de planeación, organización y calendarización que son algunas de las prácticas que se recomiendan y en el caso de estudio no se encuentran tan desarrolladas. De la misma manera, las prácticas que tienen que ver con la capacitación y el entrenamiento del personal que se encargará de operar la planta como de darle mantenimiento podrían arrojar buenos resultados, tomando en cuenta que si se presentan fallas o errores al momento de estar operando los equipos, esto se vería reflejado en problemas de retraso en cuanto a la calendarización y cumplimiento de actividades; además de representar pérdidas económicas las cuales afectarían directamente a la economía del proyecto, lo que pondría de algún modo en riesgo su realización.

Es por eso que se hace esta recomendación, el seguir estas prácticas, de este modo el desarrollo de estos proyectos puede resultar un poco más simple y sin tantas trabas.

8 Bibliografía

CHEMICAL ENGINEERING ESSENTIALS FOR THE CPI PROFESSIONAL (2015),
Managing Large Chemical Plant Startups.

Robert A. McCallister, Foster Wheeler Corp. (1970), **Plant Startup Problems.**

The Construction Industry Institute Planning for Startup Research Team (1998),
Planning for Startup: Overview of research.

Hydrocarbon Processing (2001), **Reduce Plant Startup Problems.**

Project Management Institute, **A GUIDE TO THE PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE**".

Ing. Alejandro Bravo Aguirre (2005), "**PRINCIPIOS BÁSICOS PARA EL INICIO EXITOSO DE UN PROYECTO IPC, DE UNA PLANTA DE ENERGÍA**", Tesis de maestría en Ingeniería y Administración de Proyectos, UNAM, México.

O'Connor, J.T., McLeod, J.S, and Graebe, G.B., "**Research Investigation into Planning Startup,**" A report to the Construction Industry Institute, RR121-11, Junio 1998.

Gibson, Bradley Thomas, "**Planning for Startup of Industrial Facilities**", Thesis, The University of Texas at Austin, 1996.

Graebe, Garrick Bullock, "**Tools for Planning Industrial Facility Startup**", Thesis, The University of Texas at Austin, 1997.

O'Connor, James T., McLeod, John S., and Graebe, Garrick B., "**Planning for the Startup of Industrial Facilities,**" Research Report to the Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin.

"**Planning Construction Activity to Support the Startup Process**", Construction Industry Institute, Publication 6-9, Austin, TX, Feb. 1990.

“Planning for Startup: Overview of Research”, Construction Industry Institute Publication, RS121-1, Austin, TX.

Huerta, Lucero, L.B. Eusebio, **“Estrategia de arranque de la planta de alquilación de la refinería Ing. Héctor Lara Sosa: Cadereyta, N.L.”**, Informe de trabajo para obtener el grado de maestro en ciencias, México, D.F., 1999.