



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE QUIMICA

**FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE
EXITOSO EN UNA NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

MAESTRO EN INGENIERIA

ING. DE SISTEMAS – INGENIERIA Y ADMINISTRACION DE PROYECTOS

P R E S E N T A :

I. Q. GLADYS AYDEE HERNÁNDEZ GÓMEZ



TUTOR:
M. en C. JORGE LUIS AGUILAR GONZÁLEZ

2010



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: M. en C. Lozano Ríos Leticia
Secretario: M. en C. Aguilar González Jorge Luis
Vocal: M. en C. Millán Velasco Ezequiel
1^{er}. Suplente: M. en E. García del Río Helio Humberto
2^{do}. Suplente: M. en I. Martínez Martínez Guadalupe

Lugar o lugares donde se realizó la tesis:

FACULTAD DE QUIMICA. U.N.A.M.

TUTOR DE TESIS:

M. en C. AGUILAR GONZALEZ JORGE LUIS

FIRMA

DEDICATORIAS

A Dios.

Por permitirme vivir cada día de mi vida.

Por darme a la mejor familia que pude haber tenido, por tener siempre comida y un techo donde vivir, por los logros, alegrías, tristezas, capacidades, oportunidades, enseñanzas de la vida y por estar siempre conmigo.

A mis padres.

A mi mamá[†] por haberme dado la vida, por su amor, cuidados, entrega y por enseñarme a ser fuerte y seguir adelante a pesar de las adversidades.

A mi papá[†] por su amor, apoyo, sacrificios, dedicación y por haberme dejado la mejor herencia que es mi profesión.

Porque aunque ellos ya no estén conmigo físicamente y me hubiera gustado que me hubieran acompañado en estos momentos, sé que me cuidan desde el cielo.

A mi hermano y abuelos.

A mi hermano Gabriel[†] por haber sido un impulso a mi profesión y por enseñarnos a mis hermanos y a mí el sentido de la unión.

A mis abuelos[†] por su amor y por la enseñanza de sus valores.

A mis hermanos.

Ana, Martín, Leonardo y Guadalupe, por todo su apoyo y su amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS.

A mis amigos que han sido como mi segunda familia: Carmen gracias por tus oraciones y tu apoyo incondicional, Sergio gracias por tu ánimo y por estar conmigo en las buenas y en las malas, gracias por ser como eres, Toño L. gracias por tus valiosos consejos y tu apoyo en todo momento, Ante gracias por tus consejos y por impulsarme siempre, Cecy y Miguel gracias por ser mis amigos, Lupita Mtz. gracias por tu disposición y por darme ánimos para continuar. A mis compañeros y amigos de la maestría Raúl, Vane y Toño, gracias por los momentos agradables que pasé con ustedes y por ser un gran equipo. A todos gracias por compartir conmigo una parte de su vida.

A la señora Adelita por recibirme en su casa durante mi estancia en el D.F. para el estudio de la maestría.

A mis amigos Flor, Dany, Jorge Mtz. y Justo gracias por su amistad, tiempo, disposición y apoyo para la realización de este trabajo.

A los ingenieros de puesta en servicio de IMP, ICA y Swecomex, por su tiempo, colaboración y respuestas al cuestionario presentado en el desarrollo esta tesis.

A mis profesores de la maestría, en especial a los Ingenieros Leticia Lozano y Jorge Luis Aguilar, por sus enseñanzas durante maestría, las cuales me han ayudado en el desarrollo de mi vida profesional.

A los miembros del jurado Ings. Ezequiel Millán, Helio Humberto, Guadalupe Martínez, Leticia Lozano y Jorge Luis Aguilar, por sus valiosos comentarios, su tiempo y disposición.

Al CONACYT por el apoyo recibido durante la maestría.

Nunca te detengas.

Siempre ten presente que la piel se arruga, el pelo se vuelve blanco. Los días se convierten en años. Pero lo importante no cambia; tu fuerza y tu convicción no tienen edad.

Tu espíritu es el plumero de cualquier tela de araña. Detrás de cada línea de llegada, hay una de partida. Detrás de cada logro, hay otro desafío. Mientras estés vivo, siéntete vivo.

Si extrañas lo que hacías, vuelve a hacerlo. No vivas de fotos amarillas.

Sigue aunque todos esperen que abandones. No dejes que se oxide el hierro que hay en ti. Haz que en vez de lástima, te tengan respeto.

Cuando por los años no puedas correr, trota. Cuando no puedas trotar, camina. Cuando no puedas caminar, usa el bastón.

¡Pero nunca te detengas!

Madre Teresa de Calcuta.

INDICE.

	PAG.
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1. ANTECEDENTES, PROBLEMÁTICA, OBJETIVO E HIPÓTESIS.	
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 PROBLEMÁTICA.....	5
1.3 OBJETIVO.....	5
1.4 HIPOTESIS.....	5
CAPITULO 2. ELEMENTOS A CONSIDERAR ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE.	
2.1 PROBLEMAS QUE DIFICULTAN LA REALIZACIÓN DE UN ARRANQUE.....	6
2.1.1 PROBLEMAS TIPICOS DEL EQUIPO.....	8
2.2 ELEMENTOS A CONSIDERAR ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE.....	9
2.2.1 PERSONAL CON EXPERIENCIA.....	9
2.2.2 LA ORGANIZACIÓN EN LA ETAPA DE ARRANQUE.....	10
2.2.3 EL ENTRENAMIENTO.....	12
2.2.3.1 ENTRENAMIENTO DE SALON DE CLASES.....	15
2.2.3.2 ENTRENAMIENTO EN SITIO.....	17
2.2.3.3 COMPONENTES DEL ENTRENAMIENTO.....	17
2.2.4 LA COMUNICACIÓN.....	18
2.2.5 EL PLAN DE ARRANQUE.....	19
2.2.6 EL PROGRAMA DE ARRANQUE.....	21
2.2.7 PRACTICAS DE PLANEACION PARA EVITAR PROBLEMAS MAYORES.....	25

CAPITULO 3. COMO PARTICIPA EL INGENIERO DE PROYECTOS EN EL LOGRO DEL ARRANQUE.

3.1 FUNCIONES DEL INGENIERO DE PROYECTO.....	26
3.2 INTERACCIONES DEL INGENIERO DE PROYECTO.....	28
3.3 PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL INGENIERO DE PROYECTO CON RESPECTO AL ARRANQUE.....	30

CAPITULO 4. PARTICIPACIÓN DEL GERENTE E INGENIEROS DE PUESTA EN SERVICIO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO

4.1 REQUERIMIENTOS Y PARTICIPACION DEL GERENTE DE PUESTA EN SERVICIO DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	32
4.2 PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL GERENTE DE PUESTA EN SERVICIO.....	33
4.3 PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO DE PUESTA EN SERVICIO EN LAS ETAPAS DE UN PROYECTO.....	34
4.4 ACTIVIDADES GENERALES DE LOS INGENIEROS DE PUESTA EN SERVICIO.....	38
4.5 SECUENCIA DE PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO DE PUESTA EN SERVICIO DURANTE EL PROYECTO.....	39

CAPITULO 5. EL MANUAL DE OPERACIÓN

5.1 EL CONTENIDO DEL MANUAL DE OPERACIÓN.....	43
---	----

CAPITULO 6. PREPARACIONES PARA EL ARRANQUE DE UNA NUEVA PLANTA

6.1 EL CAMBIO DE LA CONSTRUCCIÓN DE AREAS A SISTEMAS.....	47
6.2 PLANEACION DE LOS PREPARATIVOS DE ARRANQUE.....	48
6.2.1 DEFINICIÓN DE LA PLANTA POR SISTEMAS.....	50
6.3 TERMINACION DE CONSTRUCCIÓN.....	51
6.4 LA INSPECCION DE LA PLANTA.....	51
6.4.1 LA LISTA DE VERIFICACIÓN (CHECK LIST).....	52
6.4.2 LA LISTA DE PENDIENTES (PUNCH LIST).....	54
6.5 EL PRECOMISIONAMIENTO.....	56
6.6 PREPARACION DE LA PLANTA.....	59

6.6.1 LIMPIEZA DE LINEAS Y EQUIPO.....	59
6.6.2 PRUEBA HIDROSTATICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS.....	64
6.6.3 PRUEBA NEUMÁTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS.....	67
6.6.4 SECADO DE LOS SISTEMAS DE PROCESO.....	67
6.6.5 PRUEBA DE HERMETICIDAD.....	68
6.6.6 INSPECCION Y COMPROBACIÓN DE EQUIPO ELECTRICO.....	69
6.6.7 INSPECCION Y COMPROBACIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL E INSTRUMENTOS.....	71
6.6.8 PRECOMISIONAMIENTO DE EQUIPO MECANICO.....	73
6.6.9 EQUIPO ROTATORIO.....	74
6.6.10 INSPECCIÓN DE LA PLANTA ANTES DEL COMISIONAMIENTO	77
6.7 LA TERMINACIÓN MECÁNICA.....	77
6.8 COMISIONAMIENTO.....	80
6.9 PRUEBAS DINAMICAS (CON FLUIDOS SEGUROS).....	80
6.10 INERTIZADO.....	82
6.11 FORMAS DE MINIMIZAR PROBLEMAS TIPICOS ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE.....	82
6.12 PARTES DE REPUESTO.....	84

CAPITULO 7. CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD Y OPERACIÓN PARA EL ARRANQUE.

7.1 PROCEDIMIENTO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD Y LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES ANTES DE INICIAR LA OPERACIÓN DE INSTALACIONES INDUSTRIALES NUEVAS.....	88
7.2 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE OPERACIÓN.....	93
7.3 OTRAS IDEAS PARA DISMINUIR LOS PROBLEMAS POR DEFICIENCIAS DE SEGURIDAD EN EL ARRANQUE.....	94

CAPITULO 8. LA ETAPA DE ARRANQUE

8.1 ACTIVIDADES PARA EL ARRANQUE DE LAS UNIDADES.....	97
---	----

CAPITULO 9. LAS PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO

9.1 PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO.....	100
9.1.1 PREPARATIVOS.....	100
9.1.2 DESARROLLO DE LAS PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO.....	101
9.1.3 RETRASOS E INTERRUPCIONES.....	101
9.1.4 TERMINACION DE LAS PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO.....	102
9.2 CORRIDA DE GARANTIA.....	102
9.3 RESUMEN DEL PROCESO PARA LA ENTREGA RECEPCIÓN DE OBRAS.....	103

CAPITULO 10. ECONOMIA DEL ARRANQUE.

10.1 LOS COSTOS DE ARRANQUE.....	106
10.2 DEFINICION DEL TIEMPO DE ARRANQUE.....	108
10.3 PARAMETROS GENERALES.....	109
10.4 LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA.....	109

CAPITULO 11. CUESTIONARIO DE EXPERIENCIAS.....

CAPITULO 12. CASO DE ESTUDIO.....

CAPITULO 13. RESUMEN DE LOS FACTORES QUE PERMITEN UN ARRANQUE EXITOSO144

CONCLUSIONES.....149

ANEXOS.....150

- A. EJEMPLO DE UN PROGRAMA DE ARRANQUE
- B. FORMATOS PARA LISTAS DE VERIFICACIÓN
- C. FORMATOS PARA LISTAS DE PENDIENTES
- D. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS.
- E. FORMATOS UTILIZADOS DURANTE LA REALIZACIÓN DE PRUEBAS.

BIBLIOGRAFÍA.....194

DEFINICIONES.....198

FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

INTRODUCCIÓN.

Nunca antes el factor económico para lograr que las nuevas plantas químicas arranquen rápidamente, había sido tan importante como en la actualidad.

El incremento en el tamaño de las plantas e integración de las unidades de proceso, incremento de la automatización, incremento en la severidad de las condiciones de operación y reducida flexibilidad de operación complican el arranque de una planta.

En las plantas grandes y modernas se escatima el equipo de reserva (spare) o respaldo que pudiera en algún momento facilitar los esfuerzos del arranque. Las grandes plantas requieren de tuberías de gran diámetro y éstas de válvulas muy grandes lo cual es costoso; por eso se ejerce una fuerte presión económica para escatimar los by-passes de las tuberías y las válvulas, práctica que hace al arranque más difícil.

El tiempo requerido para poner a la planta en operación satisfactoria esta relacionado a su complejidad y novedad. Una planta que es idéntica o similar a una previamente construida y operando en un proceso establecido, debe arrancar inmediatamente. Una planta difiriendo en mucho respecto de cualquiera previamente erigida, u operando la primera vez en un proceso particular (por ejemplo la primera vez que el proceso es puesto en operación a escala comercial), podría tomar días, semanas o inclusive meses antes de que todos los defectos sean eliminados.

En proyectos industriales, desde las pequeñas plantas hasta los grandes complejos, la puesta en marcha y arranque de instalaciones, realizan o truncan un esfuerzo que inicia desde la definición y diseño de un proyecto.

No hay un solo factor que pueda garantizar absolutamente el éxito de las operaciones de arranque de una planta. El gerente de proyecto es el principal responsable de que cada cosa proceda conforme lo planeado y programado. Para la planeación del arranque debe formularse preguntas tales como: ¿Que debe ser realizado?, ¿En que secuencia?, ¿Cuántas horas hombre/costos/materiales son requeridos para hacerlo? etc.

Otra persona importante en la consecución de un arranque exitoso es el gerente de puesta en servicio, quien debe tener experiencia operando plantas (preferentemente con un proceso similar) y ser un buen planeador, comunicador y saber trabajar en equipo.

Las primeras contribuciones del ingeniero de puesta en servicio son: Asegurar que el diseño es práctico para operar, esto se logra teniendo a personal experimentado suministrando datos de operación para el diseño y revisándolo. El diseño debe ser revisado repetidamente para asegurar su constructibilidad, acceso de operabilidad y mantenimiento. Las preguntas típicas en esta consideración son: ¿Pueden los operadores alcanzar de forma segura los elementos que ellos deben operar?, ¿hay suficiente espacio para hacer el trabajo de mantenimiento?

Un arranque exitoso no ocurrirá por si mismo y requiere del esfuerzo de los equipos de trabajo, su coordinación, comunicación, organización, experiencia, entrenamiento y la planeación de

actividades, todos ellos elementos necesarios en el desarrollo de un proyecto para lograr tal objetivo.

El desarrollo de esta tesis contemplará la participación del personal de arranque en las diferentes etapas de un proyecto y actividades a realizar, enfatizando en las últimas etapas, como es la etapa de pruebas, así como todos los factores que nos permitan tener buenas expectativas de éxito en el arranque, y lograr la operación satisfactoria de la planta, hasta la entrega de instalaciones al cliente.

A continuación se resume el contenido de cada uno de los capítulos considerados en el desarrollo de este trabajo.

Capítulo 1.

Antecedentes, problemática, objetivo e hipótesis.

Capítulo 2.

En este capítulo se mencionan las causas más importantes de falla de un arranque, así como algunos elementos a considerar antes y durante el arranque.

Capítulo 3.

En este capítulo se indica como participa el ingeniero de proyectos para el logro del arranque. Donde una de sus principales funciones es ejecutar y dar seguimiento al programa de puesta en servicio en conjunto con el gerente de puesta en servicio, llevando a cabo el control del tiempo y los costos, y su interacción con los grupos de Puesta en Servicio, Procuración, Ingeniería, Construcción, Proveedores, otros Contratistas y con el Cliente.

Capítulo 4

En este capítulo se describen las actividades del gerente de puesta en servicio, así como las características que este debe tener. Así también se describen las actividades de los ingenieros de puesta en servicio y la forma en que participan en las etapas de un proyecto como son: El diseño del proceso, diseño detallado, construcción, arranque y operación.

Capítulo 5

Este capítulo se refiere al manual de operación y su contenido, el cual incluye toda la información de los lineamientos que se deben seguir para la operación de una instalación.

Capítulo 6.

Este capítulo trata acerca de la preparación de la planta para el arranque. Desde la definición de los sistemas y sus prioridades, para que en este sentido concluya la construcción de la planta. Su revisión a fondo mediante la aplicación de listas de verificación, y realización de listas de pendientes, con los defectos y faltantes encontrados.

También se describirán las actividades de precomisionamiento, terminación mecánica y la etapa de comisionamiento.

Capítulo 7.

En este capítulo se mencionan los requisitos que debe cumplir una nueva planta antes de arrancar, como son entre otros: el cumplimiento de especificaciones del proyecto, contar con sistemas de seguridad, documentación, cumplimiento de tramites gubernamentales, etc.

Capítulo 8.

En este capítulo se trata la etapa de arranque en la cual se introduce la alimentación, se llevan a cabo los análisis de las corrientes de proceso, y la planta es llevada a condiciones de operación. Se indican las actividades a realizar durante esta etapa y la secuencia de arranque.

Capítulo 9.

Después de haber realizado las actividades de arranque, se realizarán las Pruebas de Comportamiento y se mostrará el procedimiento para efectuarlas, dentro del cual se incluyen los preparativos, su desarrollo. Finalmente se indicará el proceso para la entrega-recepción de obras.

Capítulo 10.

En este capítulo se contempla, la definición de los costos de arranque, que costos deben ser incluidos en este, la definición del tiempo de arranque y los parámetros generales considerados.

Capítulo 11.

En este capítulo se presenta un cuestionario el cual fue aplicado a personas con experiencia en las etapas de precomisionamiento, comisionamiento y arranque, con el fin de tener una visión más real de lo que se debe considerar en dichas etapas.

Capítulo 12.

En este capítulo se presentan 2 casos de estudio, un arranque exitoso como fue el caso del arranque de un complejo de olefinas en Río Grande Brasil y un arranque no exitoso como el arranque de una parte de la unidad isomerizadora de la refinería de BP Texas, con el cual se demostró que la falta de aplicación de algunos factores mencionados en el desarrollo de esta tesis, puede ocasionar problemas en un arranque.

Capítulo 13.

Se presenta un resumen de los factores que permiten un arranque exitoso.

FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES, PROBLEMÁTICA, OBJETIVO E HIPOTESIS

1.1 ANTECEDENTES.

Nuevas plantas o expansiones de unidades de proceso están siendo diseñadas y tarde o temprano cada uno de estos proyectos involucrará un periodo de arranque de la planta.

Hoy en día las plantas son más grandes, tienen procesos más complejos, requieren sistemas de control más sofisticados y son considerablemente más costosas.

Cuando el arranque de una planta grande y costosa se ve plagado de problemas, habrá además grandes gastos adicionales, tales como los ocasionados por materias primas desperdiciadas, servicios auxiliares, personal, asistencia de ingenieros, especialistas y revisiones de equipo extras, así como el alto costo de modificaciones en campo.

En adición, habrá dificultades contractuales debido a la incapacidad para suministrar productos en especificación a los usuarios esperados y las consecuentes pérdidas intangibles al ceder mercado a los competidores.

Cuando el arranque de una nueva planta se retrasa, el dinero perdido por esta causa no se recupera.

Un ejemplo claro es el caso de Union Carbide, que en 1969 experimentó resultados desastrosos durante el arranque de una nueva planta química localizada en Taft, La. Los problemas fueron tan grandes que afectaron a la corporación reduciendo los ingresos de Union Carbides por \$30 millones de dólares.

Una planta podría tener una gran cantidad de equipo fácilmente distinguible, torres, compresores, cambiadores de calor, bombas, filtros, centrífugas, etc. cada parte de estas a su vez compuesta de muchas partes y cualquiera de ellas podrían fallar en un arranque.

1.2 PROBLEMÁTICA.

Existe una problemática en los arranques de las instalaciones en nuestro país, los problemas se resuelven sobre la marcha y las referencias existentes y que pueden servir de apoyo son insuficientes, particulares e incompletas, motivo por el cual se elabora esta tesis.

1.3 OBJETIVO.

El presente trabajo tiene como objetivo identificar factores que permitan a las compañías que se dedican al diseño y construcción de plantas industriales, minimizar los problemas que se tienen en los arranques, así como plantear soluciones a estos problemas.

1.4 HIPÓTESIS.

Con la aplicación de varios factores preventivos críticos, con relación a la planeación y organización del proyecto, el diseño de la ingeniería, la fabricación del equipo, la construcción, la operación y seguridad de la planta; es posible lograr que el arranque de la misma se ejecute dentro del plazo programado y el costo presupuestado, cumpliendo con el rendimiento en la generación de productos dentro de las especificaciones establecidas por el Cliente, así como con el consumo de servicios y con la cantidad de emisiones garantizadas. Estableciéndose así un método que contribuya en forma efectiva al arranque exitoso de nuevas plantas industriales.

CAPITULO 2

ELEMENTOS A CONSIDERAR ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE

2.1 PROBLEMAS QUE DIFICULTAN LA REALIZACIÓN DE UN ARRANQUE.

El arranque de una nueva planta química representa la culminación de un esfuerzo gigantesco, un esfuerzo el cual es medido en años de investigación, evaluación, diseño y construcción (Finlayson¹⁶). Si estas etapas han sido cuidadosamente ejecutadas, el arranque tendrá una excelente oportunidad de proceder rápidamente; si cualquiera de estas etapas ha sido manejada incompletamente o si son encontrados problemas en equipos, el arranque puede retrasarse grandemente y sus costos subirán rápidamente.

Cuando una planta nueva se va a arrancar, siempre habrá problemas²⁹, una planta con miles de partes presentará una gran posibilidad de fallas, cualquiera de las cuales puede ser crítica.

Es improbable que se realice un arranque sin problemas.²⁹ De acuerdo a Holroyd al iniciar el arranque de una planta el 61% de las dificultades es causado por deficiencias en el equipo, 10% por errores de diseño, 16% por errores en la construcción y 13% por errores de operación. (Figura 1).

Coinciden con esta apreciación Finneran y Sweeney y Hutchson con cifras parecidas, ya que a los problemas causados por deficiencias en el equipo le asignaron un 56%, a las condiciones de inicio de operación 15%, a los defectos de construcción 14% y a errores humanos de operación 15%.

Aunque estas cifras pueden variar, son representativas de los problemas que se originan sobre todo en las piezas más insignificantes de los equipos, y que son la fuente de dificultades que retrasan con más frecuencia el arranque de una planta.

Por otra parte, una falla en el diseño del proceso es mucho más probable que conduzca a un arranque desastroso, que se prolongue mes tras mes y que quizá lleve a la conclusión de que una planta no se puede poner en operación.

Los diseños inadecuados, son debidos a: personal sin experiencia, sobrecarga de trabajo, inefectiva comunicación interna, cambios en el diseño de un área del proceso sin antes analizar el impacto al resto del proceso, o la deficiente operabilidad resultante de la insuficiente cooperación del grupo de puesta en servicio durante la etapa de diseño. Por otra parte, es importante que los dibujos de proveedor estén disponibles en las etapas tempranas del diseño, ya que estos le indican al ingeniero como una pieza de equipo debe ser operada y que consideraciones de diseño se tienen que tomar.

¹⁶FINLAYSON, Kenneth and GANS, Manfred. "Planning the successful startup". Chemical Engineering Progress. Vol.63, No. 12

²⁹MATLEY Jay. "Keys to successful plant startup". Chemical Engineering.

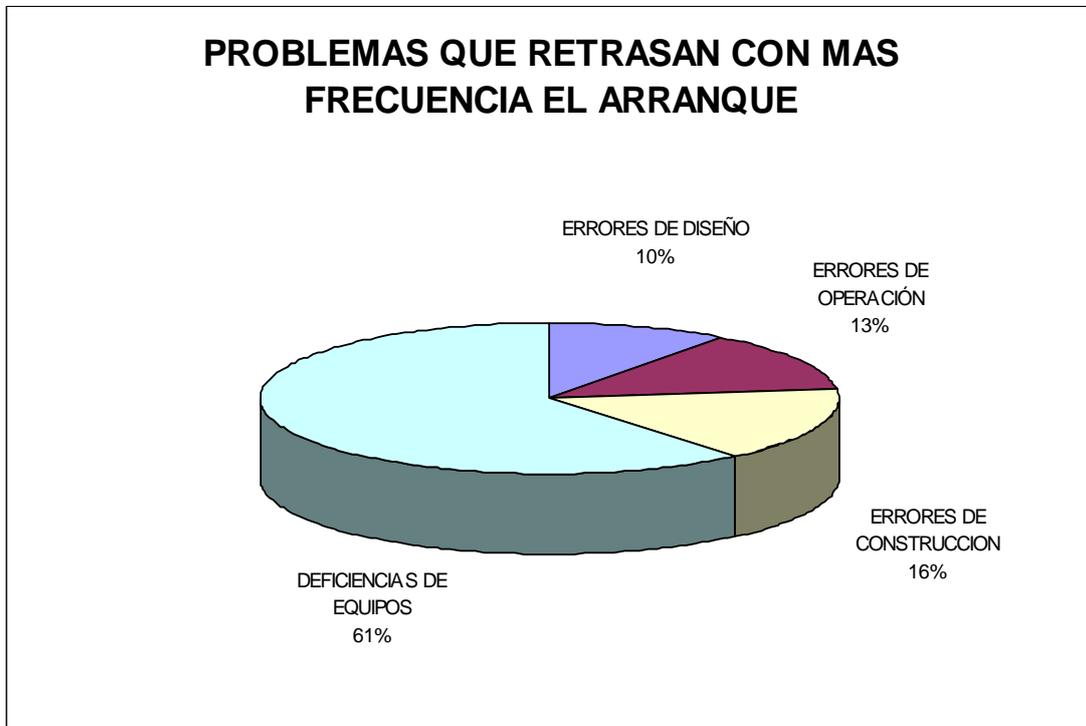


FIGURA No. 1. PROBLEMAS MAS FRECUENTES DURANTE EL ARRANQUE.

Puesto que las deficiencias de equipo representan el mayor porcentaje de los problemas, es una dirección en la cual concentrar los esfuerzos para los arranques.

2.1.1 Problemas Típicos del Equipo.

Durante la operación inicial y los primeros meses de operación de la planta, el mayor porcentaje de las causas del tiempo perdido se debe a fallas por equipo (John Spence)^{3,44} las cuales pueden ser atribuidas a:

Fallas en el diseño, debido a:

- Dimensionamiento incorrecto.
- Metalurgia incorrecta
- Cambios de parámetros
- Especificaciones inadecuadas
- Mala selección del proveedor

Fallas en la fabricación

- Pobre calidad de los componentes
- Ensamble inadecuado
- Tolerancias inadecuadas
- Materiales inadecuados

Instalación.

- Mala alineación
- Inadecuado ensamble de internos
- Inadecuada limpieza de líneas
- Inadecuada conexión de auxiliares.

Mal manejo

- En el transporte
- En la carga
- Por movimientos en sitio

Deterioro en almacenamiento

- Equipo sin protección.
- Carencia de un mantenimiento periódico.

Errores humanos.

- Pobres prácticas de mantenimiento

³JOHN Spence L. and WALLSGROVE Christopher. *Course Process Plant Start-up*. Chicago, Illinois. December 2-4, 1981.

⁴⁴FLORES Hinojosa Arturo. *Arranque de plantas: Estudio del arranque de una planta de urea*. Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1984.

2.2 ELEMENTOS A CONSIDERAR ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE.

Un arranque exitoso de una nueva planta es aquel que hace frente a los costos presupuestados³⁴ y demuestra las condiciones de diseño dentro del período de tiempo que se ha fijado para el arranque.

Las causas de los retrasos del arranque pueden ser agrupadas en 4 categorías²⁹: Los diseños inadecuados, errores en la construcción, deficiencias del equipo y errores de operación.

Para que un arranque realmente tenga éxito, no es suficiente que estos problemas se resuelvan cuando ocurren o sean evidentes, estos deben anticiparse y no permitir que lleguen a ser realidades.

Un buen arranque debe tener los siguientes elementos (Matley²⁹):

- A) Personal experimentado.
- B) Una organización eficiente.
- C) Personal perfectamente entrenado
- D) Comunicación completa de todas las disciplinas que intervienen en el arranque.
- E) Una programación y planeación detalladas

2.2.1 PERSONAL CON EXPERIENCIA.

Una gran ayuda para alcanzar arranques exitosos es utilizar a personal experimentado,²⁹ esta es la característica necesaria en el personal que va a arrancar una planta, y de mayor valor resulta la experiencia en el arranque de plantas similares.

Pero aunque el proceso en que se ha adquirido experiencia no sea similar al que se va a arrancar, de cualquier manera esta experiencia es muy valiosa, ya que en arranques de diversos tipos de plantas existen problemas que son esencialmente los mismos en todas ellas.

El ingeniero ideal para participar en los arranques, es aquel que teniendo experiencia en operar plantas, ha conservado sus conocimientos técnicos y además las operaciones de mantenimiento le son familiares.

Por otra parte, al iniciar la operación en una nueva planta si bien lo que se menciona con más frecuencia es la experiencia del personal, la parte más crítica es la forma como está encabezado y organizado este personal.

³⁴ RYAN G. T. "Managing the project startup". Chemical Engineering Progress. Vol. 68. No. 12

2.2.2 LA ORGANIZACIÓN EN LA ETAPA DE ARRANQUE.

La dirección del arranque debe asignarse a un ingeniero experimentado¹⁹ al cual se deberá integrar un equipo competente para llevar a cabo el arranque; a este equipo se le conoce como "*grupo de arranque*".

El jefe de arranque.

El arranque de una planta es manejado por gente,³⁴ y es imperativo para un arranque exitoso el tener una organización con autoridad y responsabilidad definidas.

El arranque de una planta nueva presenta el reto más emocionante y más demandante²⁹; por eso debido a su experiencia y a su base educativa, los ingenieros químicos son los que con más frecuencia ocupan los cargos de jefes de arranque.

Esta persona debe ser un ingeniero competente,¹⁹ familiarizado con las operaciones de arranque de plantas, contar con amplia experiencia en el diseño de plantas y estar familiarizado con el proceso que se va a poner en marcha, capacidad de llevarse bien con un grupo diversificado, e incluso tener resistencia física y estado de ánimo muy alto, este alto estado de ánimo es necesario, porque los arranques de plantas están casi inevitablemente asociados con tareas aparentemente imposibles, así como a problemas frustrantes y fallas.

Además de su habilidad administrativa y de organización,²⁹ el jefe de arranque debe poseer iniciativa y ser susceptible de aceptar nuevas ideas y métodos.

El grupo de arranque.

La organización para arrancar una planta debe consistir de los siguientes grupos¹⁹:

- A) Un grupo técnico elegido especialmente para el arranque.
- B) Un grupo del mantenimiento.
- C) Un grupo de laboratorio.
- D) Representantes de los fabricantes del equipo.

A. *El grupo técnico*, puede estar formado por los jefes de área más un staff de especialistas para pruebas, cálculos, y evaluación de los datos de operación. Los especialistas incluirán ingenieros de proceso, eléctricos, mecánicos, e instrumentistas; todos ellos altamente entrenados, experimentados y familiarizados con las pruebas y la operación de equipos y/o instalaciones; es necesario que este grupo conozca el proceso de la planta particular que va arrancarse. Otros miembros como los del departamento de seguridad también pueden agregarse al grupo.

¹⁹GANS, Manfred. FITZGERALD, Francis A. and KIORPES, Stephen A. "*Plant startup- step by step by step*". Chemical Engineering. (Oct. 3,1983):74-100.

*B. El grupo del mantenimiento*¹⁹. La cantidad de tiempo muerto durante los arranques depende de que tan rápido este grupo pueda realizar las reparaciones necesarias. Una reparación rápida puede evitar con frecuencia que dificultades menores lleguen a transformarse en causas de paro de una planta.

Puesto que un número extraordinario de personal especializado puede ser necesario,^{19, 44} el proveer de personal al grupo del mantenimiento es uno de los problemas más difíciles de un arranque. Algunas de las personas requeridas son:

- Mecánicos. Ellos tomarán cuidado de la operación del equipo tal como bombas, mezcladores, centrifugadoras, compresores, etc.
- Tuberos y soldadores, para realizar reparaciones y cambios a tubería y recipientes.
- Electricistas que estén disponibles cuando se les necesite
- Personal de instrumentación, para cubrir a cada turno.

En un arranque siempre será preferible²⁹ estar un poco recargados temporalmente de personal de mantenimiento que tenerlos que buscar durante las dificultades.

*C. El Grupo de laboratorio.*⁴⁶ Ninguna operación de arranque de una planta nueva se puede realizar sin la ayuda del laboratorio. El grupo de laboratorio se encontrará conformado por químicos analistas encargados de realizar las pruebas analíticas que determinen la calidad y características del producto; también llevan a cabo los análisis de las corrientes, necesarios para hacer los cambios inmediatos en el proceso u operación que mejoren la calidad del producto.

Todos los grupos antes mencionados¹⁶ deben trabajar como un equipo y las líneas de comunicación, responsabilidad y autoridad deben ser establecidas temprano.

Es esencial que los grupos que componen el equipo de arranque¹⁹ estén de acuerdo en todos los detalles, porque la situación cambia rápidamente durante las etapas iniciales del arranque conforme nueva información sale a la luz o los problemas se desarrollan, así el grupo de arranque debe tener reuniones diarias para acordar procedimientos y coordinar sus esfuerzos.

⁴⁶SERRANO Liceaga Jessica Beatriz. "Tesis: Arranque de un paquete de generación de ácido sulfuroso en una plataforma marina". UNAM FES Zaragoza. México D.F. Septiembre 2000.

2.2.3 EL ENTRENAMIENTO.

La selección y entrenamiento del personal es, por supuesto, clave para el éxito de cualquier proyecto.

El entrenamiento del personal de operación hoy en día es más crítico que en tiempos pasados²⁹, debido a que los equipos son más grandes y complicados y los procesos son más complejos.

Una planta con una instrumentación complicada, requiere de pocos operadores, pero necesita de mucho más capacidad y habilidad individual. Una planta que deba operar, sin capacidad de amortiguamiento y con poco equipo de reserva o relevo, necesitará de mecánicos altamente capacitados para llevarla a operación.

El entrenamiento adecuado de los operadores llega a ser un punto importante en el arranque de nuevas plantas⁴⁴. La seguridad, eficiencia y operación con un mínimo de errores durante el arranque es el objetivo principal.

Un periodo de entrenamiento antes de asumir la responsabilidad da confianza y familiariza a los empleados con las tareas, para que puedan entender más rápido las instrucciones sobre el trabajo.

El propósito del entrenamiento es ayudar a los operadores a entender los procesos²⁹ y evitarles el tener que aprender a operar por rutina.

La capacitación y entrenamiento deberá ser proporcionada en relación con el arranque, operación y mantenimiento, para lo cual se debe considerar lo siguiente:

- ✓ La capacitación deberá ser teórica y práctica, los manuales de mantenimiento de todas las especialidades deben estar de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y vendedores.
- ✓ El contratista con el soporte técnico del licenciante y/o fabricantes proporcionará sesiones de entrenamiento y capacitación al personal.
- ✓ Se debe acordar el contenido de los programas de entrenamiento, el procedimiento para la evaluación del avance de la capacitación, el desempeño y calificación final de los participantes.
- ✓ El Instructor deberá proporcionar el temario detallado del curso.
- ✓ Todos los materiales y equipo didáctico, manuales, equipo de apoyo tales como: software, hardware, proyectores, etc. deberán ser suministrados por el contratista.
- ✓ A cada individuo que reciba la capacitación se le debe proporcionar un paquete completo de todo el material didáctico a utilizar.
- ✓ Cada participante deberá recibir una copia del manual de capacitación, el cual contendrá toda la información de los equipos, flujos, sistemas de control con ilustraciones y descripciones detalladas y sistema de seguridad (paros de emergencia, gas y fuego). El manual servirá como una guía del curso y como libro de referencia.
- ✓ La impartición de los cursos debe de ser modular y/o por especialidades en: la operación, mantenimiento dinámico, mantenimiento eléctrico, instrumentación, etc., es necesario que los instructores acrediten mediante la documentación correspondiente que cuentan con la

capacidad y experiencia suficiente para instruir o capacitar al personal relacionado con cada especialidad.

- ✓ El contratista deberá presentar currículum del personal instructor para su aprobación.
- ✓ Los cursos de capacitación sobre la operación del sistema, debe incluir como mínimo los principios de operación de los componentes principales: compresores, servicios auxiliares, instrumentación y control, etc.
- ✓ El programa de capacitación describirá el proceso durante condiciones de operación normal, los controles de proceso, muestreo y sistemas de análisis, optimización de la planta. Asimismo deberán explicarse e ilustrarse cuidadosamente los efectos de las principales variables de los diferentes procesos. Deberán discutirse en detalle los sistemas de arranque, paro, emergencia y la calidad de la producción.
- ✓ El contratista organizará y supervisará el programa de entrenamiento en el sitio; para éste propósito, el contratista deberá elaborar el manual detallado de operación para cada equipo, mismo que utilizará durante las sesiones de entrenamiento. Así mismo proveerá procedimientos, diagramas, ilustraciones o materiales que pueden ser útiles para facilitar y alcanzar el máximo beneficio de la capacitación.
- ✓ En la etapa de capacitación en sitio, se utilizarán las instalaciones y equipos reales para la familiarización y práctica por el grupo de operación.
- ✓ Para todos los cursos de capacitación y entrenamiento se deberán considerar días de 8 horas.
- ✓ El Contratista deberá incluir dentro del programa de capacitación de cada Unidad los siguientes temas, pero sin limitarse a ellos:
 - Localización y uso de los sistemas de seguridad y conraincendio.
 - Manejo de sustancias químicas específicas.
 - Riesgos.
 - Equipo de protección personal básico y requerido.

Un ejemplo para los cursos de capacitación para los sistemas de control y otros para equipos e instrumentos pueden cubrir, sin limitarse a lo siguiente:

SISTEMA	TIPO	No. DE PERSONAS
SISTEMA DE	CONFIGURACION	8

CAPITULO 2. ELEMENTOS A CONSIDERAR ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE.

CONTROL DISTRIBUIDO	MANTENIMIENTO SOFTWARE	4
	MANTENIMIENTO HARDWARE	4
	OPERACION	8
SISTEMA DE PARO DE EMERGENCIA	CONFIGURACION	8
	MANTENIMIENTO SOFTWARE	4
	MANTENIMIENTO HARDWARE	4
SISTEMA DE SEGURIDAD Y CONTRAINCENDIO	OPERACION	8
	CONFIGURACION	8
	MANTENIMIENTO SOFTWARE	4
ANALIZADORES EN LINEA	MANTENIMIENTO HARDWARE	4
	CONFIGURACION	4
	OPERACION	4
EQUIPOS DE LABORATORIO	MANTENIMIENTO	4
	OPERACION	4
SISTEMA DE CONTROL PARA EQUIPO ROTATIVO MAYOR	CONFIGURACION	8
	MANTENIMIENTO SOFTWARE	8
	MANTENIMIENTO HARDWARE	8
RED DE CABLEADO ESTRUCTURADO DE TELECOMUNICACIONES	OPERACION	8
	MANTENIMIENTO	10
RED DE EQUIPO DE COMUNICACION	OPERACION	10
	CONFIGURACION	10
	MANTENIMIENTO	10
SISTEMA DE INTERCOMUNICACION Y VOCEO INDUSTRIAL	OPERACION	10
	MANTENIMIENTO	10
EQUIPO DE COMUNICACION DE DATOS	CONFIGURACION	10
	OPERACION	10
	MANTENIMIENTO	10
SISTEMA DE GENERACION ELECTRICA	OPERACION TURBOGENERADOR	8
	OPERACION SISTEMAS AUXILIARES	8
TORRES DE ENFRIAMIENTO	OPERACION	8
CALDERAS	OPERACION	8

El personal puede ser entrenado por ambos métodos, de salón de clase y en campo.

2.2.3.1 ENTRENAMIENTO DE SALÓN DE CLASES.

Este entrenamiento está basado en lecciones planeadas,¹⁴ obtenidas del manual de operación. Al término de cada día, se revisarán puntos sobresalientes de las lecciones, y los entrenados reciben una pequeña prueba, esta prueba evalúa que tan bien están siendo comunicadas las ideas en clase.

El entrenador debe tomar tiempo respondiendo preguntas. Debe ser cuidadosamente preparado un plan de lecciones para cada sesión, de tal forma que no se dejen fuera puntos importantes.

El entrenador puede ser un jefe operador, un ingeniero de proceso o proyecto, o un proveedor¹⁴. Sin embargo, aún la persona más instruida y experimentada debe ser capaz de comunicar ideas a los entrenados. Debe ser ante todo un facilitador y tener una formación de instructor.

El entrenamiento del operador iniciará con breves lecturas, cada una de las cuales debe cubrir solamente una pequeña sección de la planta, seguido por una extensa discusión. Los especialistas serán llamados con frecuencia para hablar acerca de tales temas como instrumentación, sistemas eléctricos, etc. Incluido en el manual estará una sección en seguridad, la cual discutirá los peligros de los procesos químicos, entrada a tanques, procedimientos de trabajos en caliente y políticas de la planta.

Las clases deben estar limitadas a pocos entrenados (8 aproximadamente), porque una buena comunicación entrenador-entrenado es más fácil con un pequeño número de personas, pero sobre todo el entrenamiento debe ser enfocado al personal al cual se quiera llegar, de acuerdo a su edad, experiencia y nivel dentro de la organización.

No se debe confiar en que cada supervisor desarrolle sus propias formas de entrenar a su gente²⁸. En vez de eso se debe entrenar a los supervisores y otros instructores en como desarrollar y conducir el entrenamiento.

Mucha gente quien realiza el entrenamiento usa los mismos métodos por los cuales fueron entrenados y a los entrenados frecuentemente se les pide que escuchen al instructor y lean los materiales impresos. Pero leer y oír son los métodos menos efectivos de entrenamiento. De hecho, un estudio realizado mostró que después de recibir la información, el grupo de prueba recordó solo el 10% de lo que ellos leyeron, 20% de lo que ellos escucharon, 50% de lo que ellos vieron y escucharon y 90% de lo que ellos explicaron de como realizaron alguna cosa.

¹⁴BUTLER, Martin E. NAYAR, M. P. and WHEELER, Mark E. "How to facilitate startup". Chemical engineering. (June 1993).

²⁸LOEN, Raymond O. "Use Engineered Training for better plant startup". Hydrocarbon Processing. Vol. 45. No.10. (October 1966).

Por su parte los instructores deben desarrollar y conducir el entrenamiento basado en los principios mostrados a continuación.

*Diez principios del entrenamiento.*²⁸

- 1.- El entrenamiento debe ayudar a completar objetivos, tales como la producción, la economía y la seguridad.
- 2.- El entrenamiento debe motivar a los empleados a querer realizar lo que se necesita hacer.
- 3.- El entrenamiento debe ayudar a los empleados en sus trabajos.
- 4.- El entrenamiento debe estar basado en un análisis cuidadoso de lo que el entrenado necesita conocer.
- 5.- El entrenamiento debe cubrir una cosa a la vez. Por ejemplo,
 - a. Enseñar lo que los términos clave significan antes de usarlos.
 - b. Enseñar como manejar una operación normal antes de enseñar como manejar una operación anormal.
- 6.- El entrenamiento debe construir la confianza del entrenado y ayudarlo a alcanzar el éxito; por ejemplo.
 - a. Enfatizar lo que el entrenado no conoce contra lo que el conoce
 - b. Decir al entrenado cuales son los errores comunes y como impedirlos, a tenerlo que “descubrir y aprender de sus errores”.
- 7.- El entrenamiento debe tener variedad, por ejemplo presentaciones cortas, visitas, ayudas visuales, instructores invitados.
- 8.- Al entrenado se le deben dar (cortos resúmenes escritos) mostrando puntos clave para que los recuerde.
- 9.- Debe haber retroalimentación al entrenado durante todo el entrenamiento para asegurarse que entiende.
- 10.- El supervisor del entrenado y empleados asociados deben mostrar por sus acciones que entienden y apoyan el entrenamiento.

No se debe limitar el trabajo del entrenamiento a condiciones normales de operación. En lugar de eso entrenar a cada empleado en como reconocer y manejar situaciones anormales. Los manuales de operación ponen más énfasis en la forma correcta de ejecutar varias operaciones, pero durante un arranque los empleados necesitan conocer más que en cualquier otro tiempo acerca de cómo surge un problema.

Cada hombre debe tener procedimientos escritos de cómo desarrollar su trabajo particular bajo ambas condiciones de operación normal y anormal. Como reconocer y manejar una falla de energía, o sobrecalentamiento, o cualquier otra situación anormal.

Un entrenamiento completo también debe tener sesiones en seguridad y prevención de pérdidas.

Entrenamiento en seguridad:

El corazón de todas las actividades de arranque es la gente³³, es por eso que el entrenamiento apropiado debe tener atención prioritaria, porque de ellos depende el éxito del proyecto. Todo el personal debe tener algún entrenamiento en seguridad como parte de su inducción. Deben estar completamente enterados y alertas a las situaciones de peligro potencial, una forma de ayudar a construir este clima de conciencia del peligro y la motivación para crear un arranque libre de peligros es el entrenamiento.

El entrenamiento del equipo de arranque en materia de seguridad es muy importante. Todos los miembros del equipo deben estar enterados de la filosofía de diseño de la planta y de los peligros potenciales del proceso. En lo posible, algunas personas clave del arranque deben estar involucradas desde las primeras etapas del proyecto, considerando aspectos de seguridad de la planta, especialmente para la fase de arranque. Este conocimiento será útil para transmitirlo al resto del equipo cuando estos sean reunidos.

La experiencia de operación de plantas similares o equipo es muy útil, el conocimiento del peligro puede obtenerse con la exposición de experiencias, esto se puede realizar reuniendo al personal en grupos, discutiendo con ellos los incidentes que han sucedido en otra parte. Al conseguir convenir en la causa probable y en qué pasos piensan que deberían tomarse para evitar la repetición de peligros similares.

2.2.3.2 ENTRENAMIENTO EN SITIO.

El trabajo de salón de clase se complementará con viajes a la planta, que permitan al personal observar el equipo que van a discutir.

En particular se verifica el desempeño en el campo, para determinar cuanto conoce y entiende un nuevo operador y como reacciona bajo situaciones de emergencia.³⁷ Los mejores hombres calificados serán asignados a las posiciones más importantes tal como panel de control o jefe operador.

El personal de instrumentación debe ser transferido al sitio de la planta cuando la instalación de la instrumentación inicia, así en el tiempo del arranque ellos se habrán familiarizado con los dibujos de ingeniería, los instrumentos, los problemas de instalación, y con la localización de cada recipiente, válvula, motor, transmisor, switch. Ellos también podrán ayudar al personal inexperimentado durante el entrenamiento del trabajo.

2.2.3.3 COMPONENTES DEL ENTRENAMIENTO.

El entrenamiento del operador de la planta depende¹⁴ de los niveles de experiencia del operador y de la complejidad de la unidad o unidades. La cantidad de tiempo utilizado en el entrenamiento de salón de clases puede variar de una planta a otra, dependiendo de la complejidad del proceso.

Los principales componentes para las sesiones de salón de clases incluyen: un manual de operación, simuladores y los entrenadores.

³⁷TROYAN J.E. "How to prepare for plant startups in the chemical industries" Chemical Engineering

³³PEARSON L. "When it's time for startup". Hydrocarbon Processing. (August 1977):116-120.

El uso de simuladores.

Un simulador¹⁴ es un programa que representa un proceso dinámicamente, donde diferentes condiciones de operaciones pueden ser simuladas. Un simulador provee el mejor entrenamiento disponible, ya que los errores cometidos en un simulador no permiten fatalidades, heridas ó daños al equipo. De la experiencia con el simulador, los operarios pueden proceder con confianza en la planta.

Además del entrenamiento, los modelos electrónicos de la planta son muy útiles en el desarrollo de los procedimientos de operación,^{33,34} para revisar la accesibilidad del equipo para su mantenimiento y para revisar las características de seguridad de la unidad. Un modelo de la planta resulta muy útil para verificar las vías de escape, la localización del equipo de seguridad, chequeo de accesos seguros, etc.

2.2.4 LA COMUNICACIÓN²⁹

Para que la planeación y el programa del jefe de arranque tengan un verdadero sentido, la comunicación hacia todos aquellos que dirigen las operaciones debe ser completa, y a la inversa los dirigentes de operaciones deben comunicar al jefe de arranque lo que esta pasando en todo momento.

La comunicación mutua durante el arranque debe ser total. Cada persona relacionada con el arranque debe saber lo que va a realizar, cuando se va a realizar y porque.

En razón de que las operaciones iniciales en un arranque son las menos predecibles, los planes y programas pueden cambiar frecuentemente y estos cambios deben ser notificados casi de forma inmediata. Por lo tanto el jefe de arranque, debe estar alerta para modificar sus planes y programas generales para poder satisfacer las exigencias presentes e informar a todos sus colaboradores de estos ajustes.

La información no solo debe fluir libremente entre el jefe del arranque y sus colaboradores, y entre éstos y los que están operando la planta, sino también en todos los niveles de la organización.

Comunicación con el ingeniero de diseño.

La comunicación entre el ingeniero de diseño y los ingenieros de puesta en servicio, es tan importante como la que existe entre los diversos grupos de arranque. Estos no solo necesitan conocer el equipo de la planta, el flujo del proceso, o como se llevan a cabo las reacciones, sino también saber porqué el ingeniero de diseño, diseñó la planta en la forma en que lo hizo. Si los ingenieros de arranque entienden el proceso, les será menos difícil iniciar la operación.

Los ingenieros de puesta en servicio revisan un diseño, no una sino varias veces, a medida que se va desarrollando. Después de la primera revisión los ingenieros redactan las bases del procedimiento de arranque y operación. Sobre estas bases van decidiendo lo que se agregará al diseño para hacer que el proceso sea factible de arrancar y de operar; si falta capacidad de amortiguamiento; si se han tomado precauciones para prevenir presiones, temperaturas y velocidades de reacción anormales; si hay que agregar más válvulas, si son necesarios más by passes; y si se requiere de líneas especiales para arrancar el equipo, etc. Discutirán con los ingenieros de diseño lo que debe incluirse en el proceso para el arranque y operación.

2.2.5 EL PLAN DE ARRANQUE⁴⁴

En la fase de diseño.

Antes de que la fase de diseño de proceso esté completa se desarrolla un plan de arranque preliminar. Este plan debe establecer las actividades críticas a realizar.

Las obligaciones de los miembros permanentes y temporales del personal se definirán por las descripciones del trabajo.

Los manuales de operación requerirán una cantidad importante de horas hombre, las cuales deben ser programadas. Aunque los manuales de operación para una nueva planta pueden seguir un patrón dado, cada manual se debe revisar perfectamente para asegurar su utilidad.

Las necesidades y el tiempo requerido para entrenamiento, pueden ser estimados de las descripciones del trabajo y una evaluación del nivel de experiencia del personal.

La participación del personal de arranque en las revisiones de diseño y contacto con proveedores, también debe ser planeada.

En la fase de diseño detallado.

Indicar los números de los sistemas de arranque.

Definición de la secuencia de arranque, porque esto dictará las prioridades para la construcción. El incluir esta secuencia en el plan general asegurará que la construcción estará terminada en el orden requerido.

Cuando el diseño detallado esta casi a la mitad de terminar, debe organizarse la asistencia a construcción. En esta etapa se establecerán los criterios para el vínculo entre el personal de puesta en servicio y el de construcción.

Un factor que frecuentemente retrasa el arranque son las fallas al no incluir todo el trabajo en el plan. Esto sucede cuando el ingeniero de puesta en servicio no obtiene una completa definición de "la terminación mecánica" o de como construcción propone terminar la planta (por ejemplo, quien va a checar la rotación de motores y la alineación de las bombas, confirmar la lubricación, limpiar el equipo, inspeccionar los sistemas de fugas etc.).

La definición de lo que constituye la terminación mecánica debe ser acordada¹⁸ antes de que se inicie el trabajo de construcción. El plan de arranque y el personal dependen de esta definición. Por ejemplo, algunas compañías de construcción consideran que la instrumentación ha sido instalada una vez que se han realizado los chequeos de la instalación eléctrica punto a punto. Sin embargo, con tecnologías que involucran controladores programables y computadoras, tal chequeo solo representa el inicio para confirmar la instalación y operación de los sistemas de control. Si tal chequeo es aceptado como la instalación terminada, el plan de arranque deberá considerar emplear a muchos expertos en sistemas de control.

Debe realizarse un acuerdo de la interfase entre el personal de pruebas y puesta en servicio y personal de construcción antes de la construcción. Por ejemplo, el acuerdo debería establecer si el

personal de pruebas y puesta en servicio puede inspeccionar una instalación antes de que esté terminada. Las inspecciones tempranas por parte del personal de pruebas y puesta en servicio pueden prevenir mayores errores de construcción, pero su presencia también puede interrumpir el trabajo. Se requiere considerable planeación y coordinación para iniciar la preparación del arranque tan pronto como sea posible mientras se interfiere al mínimo con las actividades de construcción.

En la fase de construcción

El ingeniero de arranque debe establecer un grupo para aceptar las instalaciones completas de construcción. Normalmente las instalaciones no están completamente terminadas, se preparan listas de elementos incompletos llamadas listas de pendientes para que construcción pueda terminar su trabajo.

Es en esta etapa cuando se lleva a cabo el entrenamiento de los operadores.

Durante la fase de construcción el plan de arranque debe ser completado con suficiente detalle para llevar a la planta a rutina de operación, con la secuencia de eventos con cada actividad descrita.

En el chequeo y comisionamiento.

El equipo de puesta en servicio lleva a cabo la verificación, y sigue el plan para comisionar la planta.

En el Arranque y Operación.

Se arranca la planta en secciones, se introduce la alimentación, se demuestra la capacidad de diseño y se confirma que se han resuelto los mayores problemas de seguridad, requerimientos del medio ambiente y se finaliza la documentación.

La comunicación efectiva durante el arranque es crítica¹⁸ debido a que una multitud de actividades progresan tan rápidamente y simultáneamente que deben ser coordinadas. Si se trata del arranque de una planta grande, no se puede esperar que el equipo de trabajo recuerde todo el plan, en tal caso, el gerente de puesta en servicio debe alimentar continuamente el plan al grupo de arranque. El plan debe ser escrito en secciones, cada una tan independiente como sea posible, esto permite la flexibilidad para redireccionar esfuerzos cuando surjan los problemas.

¹⁸FULKS, Bernard D. "Planning and organizing for less troublesome plant startups". Chemical Engineering. (September 6, 1982).

2.2.6 EL PROGRAMA DE ARRANQUE.

Los preparativos para el arranque y el arranque en sí mismo, deben ser coordinados de forma tal que todo el trabajo vaya progresando ordenadamente²⁹, en una secuencia que conduzca a una conclusión exitosa.

Un programa debe ser preparado en detalle tanto como sea posible, de manera que cada persona que tenga que ver con el arranque, conozca que se requiere de ella.

Habrán muchos objetivos intermedios a reunir conforme el proyecto progresa, pero todos los esfuerzos son finalmente dirigidos a cumplir o mejorar la fecha de arranque de la planta.

Una estimación de la duración del arranque se basa en la experiencia con procesos comparables y en detalles poco usuales del proceso. En unidades involucrando nuevos procesos químicos, tecnología y equipo y se puede anticipar más frecuentemente dificultades de arranque.

El factor más crítico en el plan es la estimación del tiempo de arranque requerido para cada operación. Los datos de arranques anteriores de equipos similares pueden servir como un medio aproximado para estimar estos tiempos.

Como regla de dedo,^{18,44} en los Estados Unidos una organización experimentada puede arrancar una nueva planta en un 20-25% del tiempo de construcción, mientras que en una no experimentada requerirá de 30-35%.

Para obtener el uso más efectivo del tiempo, materiales y personal,³⁷ la cercana coordinación de las muchas actividades precediendo o en apoyo al arranque serán esenciales.

A pesar de la infinita variedad en el tamaño de las plantas, la complejidad, procesos y productos, ciertos pasos básicos están involucrados en todos los programas de arranque. Estos usualmente incluyen lo siguiente:

- Organización y reclutamiento de personal
- Revisión de diseño de ingeniería
- Preparación de manuales de operación
- Programas de entrenamiento
- Seguimiento a construcción
- Actividades de pre-arranque
- Operaciones iniciales.

Los jefes de puesta en servicio y el gerente de puesta en servicio serán normalmente los primeros que pertenecerán al grupo de arranque.

La primera tarea del gerente de puesta en servicio será programar la organización del personal de pruebas y arranque. Definición del organigrama para las pruebas de los sistemas y arranque con grupos multidisciplinarios, así como la determinación de las responsabilidades.

En las fases tempranas, solo unas pocas personas clave podrían ser requeridas para llevar a cabo la revisión del diseño.

El especialista de puesta en servicio, tendrá que participar desde el principio con el diseño de la planta, trabajará íntimamente relacionado con el grupo de ingeniería de la compañía, para familiarizarse con el diseño y verificar que los detalles importantes de operación sean incluidos en él. De hecho, en el tiempo en el que el diseño final es terminado, el ha trabajado en procedimientos para determinar que la planta pueda arrancar, parar y operar.

Siguiendo los aspectos generales de planeación del arranque, la siguiente responsabilidad del ingeniero de proyecto es el entrenamiento del personal. Una de los más importantes e indispensables ayudas al arranque de la planta es el manual de operación. Este deberá estar terminado a tiempo para emprender el entrenamiento de los operadores.

La selección adecuada de todo el personal⁴⁶ puede reducir el tiempo requerido de entrenamiento, el tiempo de arranque y al mismo tiempo se cometerán menos errores. Así también, la habilidad para lograr la continuidad del personal adecuado³⁴ con asignaciones oportunas en todas las fases del proyecto es un factor importante en el éxito de la fase de arranque.

Seguimiento a construcción.²⁹

Conforme construcción continua, mas hombres serán requeridos para seguir el progreso en el campo.

Los gerentes de proyecto deben notar que el programa de arranque podría tener que ser modificado como lo dicta el progreso de la construcción. El trabajo inadecuado, la entrega tardía de equipo, e inclemencias del tiempo son las causas típicas de extensión en los programas de construcción. Conforme la terminación de las fechas de terminación de la planta son retrasadas, mas actividades de arranque serán modificadas. Por lo que el gerente de proyecto debe considerar medios para reducir tiempo, o al menos mantener el programa original.

Cuando la construcción se acerca a su final, se efectúan inspecciones por el cuerpo de especialistas (ingenieros, instrumentistas, electricistas, etc.). Las inspecciones deben ser completas para prevenir tantas fallas como sea posible. Una manera de asegurar esto consiste en basarse en una lista de puntos por revisar (check list).

Las inspecciones y pruebas necesitan ser planeadas y programadas para sincronizarlas con las actividades de construcción. La inspección de recipientes y columnas por ejemplo, deben programarse en forma que se termine antes que la construcción los haya cerrado. Las inspecciones para verificar si las líneas o el aislamiento están completas, pueden dejarse para más tarde.

Todas las deficiencias y omisiones no cubiertas por las inspecciones deben ser listadas y presentadas al gerente de construcción para la acción correctiva.

Actividades de pre-arranque.

Después de que la construcción de la planta ha sido terminada y las unidades son transferidas a puesta en servicio, se llevan a cabo las preparaciones finales para proceder con el arranque. Durante este periodo se realizan chequeos mecánicos, pruebas de presión, etc.

El chequeo mecánico asegura que el equipo dinámico como bombas, motores, compresores y agitadores han sido propiamente instalados y que operan satisfactoriamente.

Las pruebas de presión de tuberías y equipo son necesarias antes de arrancar, para asegurar que no existen fugas y que el equipo resiste presiones de operación.

Preparaciones finales:

La última etapa de la preparación para el arranque consistirá de operaciones simuladas, la primera de las cuales será realizada con fluidos seguros: aire, o gas inerte, y agua. La planta puede ser checada en sistemas, entonces integrada dentro del proceso total.

Operaciones iniciales.

Cuando todas las pruebas y chequeos están completos, la nueva unidad debe estar lista para operación. El jefe de arranque notifica por escrito al cliente que cada sistema esta listo para operar. El personal de operación y mantenimiento recibe las instalaciones y las responsabilidades. El resto del personal incluyendo contratistas y proveedores sirven de soporte y asesoran en esta etapa.

Si la planta maneja servicios auxiliares (tales como agua de enfriamiento, generación de gas inerte, producción de vapor) estos tienen que ser puestos en operación primero.

A continuación se presenta un programa de arranque para un sistema en particular (Figura No. 2).

* *En el anexo A se encuentra desglosado un programa total de arranque para una plataforma de producción.*

FIGURA No.2 PROGRAMA PARA EL PRECOMISIONAMIENTO, COMISIONAMIENTO Y ARRANQUE DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE DE UNA PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN.

DESCRIPCION DE LA ACTIVIDAD	INICIO	FINAL	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO
AGUA POTABLE							
Precomisionamiento							
Tuberías							
Pruebas Hidrostaticas a valvulas	17-Apr	19-Apr	■				
Calibración Valv de Seg y Pruebas de Hermeticidad	20-Apr	21-Apr	■				
Lavado y Soplado de Lineas	1-May	3-May		■			
Pruebas Hidrostaticas en Lineas	4-May	6-May		■			
Secado interno de tuberías	7-May	7-May		■			
Reinstalacion y apriete	8-May	10-May		■			
Mecánico							
Verif de valvulas de proceso implicitas en el subsistema	2-Jun	3-Jun			■		
Verificacion de las valvulas del sistema	4-Jun	5-Jun			■		
Limpieza Mecanica de Tanques	6-Jun	7-Jun			■		
Eléctrico							
Verif e inspeccion electrica del ctrl y fza del subsistema	27-May	28-May		■			
Verificacion de los interlocks eléctricos	29-May	30-May		■			
Instrumentación							
Verificación de calibracion de instrumentos	27-May	29-May		■			
Verificación de lazos de control	30-May	31-May		■			
Terminación Mecánica							
Terminación Mecanica	8-Jun	8-Jun			■		
Comisionamiento							
Tuberías							
Alineacion de tubería de proc implicitas en el subsistema	7-Aug	8-Aug					■
Mecánico							
Verif de valv de proc implicitas en el subsistema	9-Aug	9-Aug					■
Eléctrico							
Suministro de ctrl de fza al subsistema	10-Aug	10-Aug					■
Verificacion de los interlocks electricos	11-Aug	11-Aug					■
Instrumentación							
Puesta a punto de la instrumentacion local	12-Aug	12-Aug					■
Puesta a punto del sistema de ctrl de proc asociado	13-Aug	13-Aug					■
Arranque del Sistema							
Prueba de Desempeño	16-Aug	18-Aug					■

2.2.7 PRACTICAS DE PLANEACION PARA EVITAR PROBLEMAS MAYORES.

Una buena planeación puede preparar el camino a través de las diferentes fases del arranque¹⁴. Aquí se mencionan algunas prácticas sugeridas:

- No aplazar la planeación para el arranque. Es muy frecuente, que la gente no empiece a pensar en el arranque hasta que la construcción esta en su última etapa, lo cual es muy tarde.
- Mantener la documentación actualizada a través del ciclo de vida del proyecto y mantener un estricto control (Actualizar la información cada vez que se identifiquen y se resuelvan conflictos).
- Mantener solo un juego original de documentación durante el arranque.
- Establecer un sistema de comunicación que asegure que todas las partes obtienen regularmente las actualizaciones conforme estas son editadas.
- Como cualquier gran tarea, el arranque debe ser atacado en pequeñas partes. Adicionalmente, asegurarse que los subsistemas son probados en un orden lógico y seguro.
- No esperar hasta el arranque para resolver conflictos que debieron haber sido tratados meses antes
- Discriminar entre ahora y más tarde. No todos los puntos que se obtienen en la lista de pendientes (punch list) serán solucionados instantáneamente.

Los pendientes o también llamados no conformidades se dividirán en 3 tipos.

Tipo A. Falla o deficiencia operativa, afecta la integridad, la seguridad y el medio ambiente, no aceptable para el arranque.

Tipo B. Fallas menores que no afectan la integridad y seguridad del sistema, permite realizar el arranque.

Tipo C. Son solo aspectos de apariencia que no afectan en lo más mínimo el arranque

- Ya en la etapa de arranque considerar grupos de relevo. Los horarios de los turnos deberán ser ajustados o traslapados para permitir una hora de discusión entre los equipos. También se debe seleccionar un solo líder para coordinar a los diferentes grupos.
- Es esencial^{19,44}, que los grupos que componen al equipo de arranque estén de acuerdo en todos los detalles, porque la situación cambia rápidamente durante la etapa inicial del arranque, conforme nueva información surge los problemas se desarrollan, razón por la cual los grupos de arranque deben tener reuniones diarias para estar de acuerdo en los procedimientos y para coordinar sus esfuerzos

CAPITULO 3

COMO PARTICIPA EL INGENIERO DE PROYECTOS EN EL LOGRO DEL ARRANQUE

3.1 FUNCIONES DEL INGENIERO DE PROYECTO.

Las funciones críticas del ingeniero de proyecto son hacer que las cosas sucedan³⁵, ya sea implementando procedimientos, autorizando e iniciando actividades, transmitiendo información, interpretando requerimientos o aprobando documentos. El o ella mantienen las cosas sucediendo y se anticipan a los problemas.

Sus objetivos primarios son asegurar la calidad, el control de los costos del proyecto y terminar el proyecto dentro del tiempo del programa.

El programa de puesta en servicio se controla y administra en conjunto entre el gerente de puesta en servicio y el personal de control de proyectos responsables de dar seguimiento a las actividades del proyecto y de realizar el programa de actividades. Se debe conocer cuales son los detalles a ser manejados, que tipo de personal se necesita para cada trabajo, que tiempo les debe tomar hacerlo, y que trabajos tienen que iniciar primero.

CONTROLANDO EL PROYECTO.

El control del proyecto es necesario para mejorar el desempeño del proyecto⁹ y está basado en el estimado y el programa preparados. Esta herramienta permite seguir el desempeño del proyecto, determinar el estatus y pronosticar el resultado del proyecto. Para maximizar el beneficio del control, este debe ser implementado temprano y utilizado conforme a la ejecución del proyecto.

El uso adecuado del control de proyecto optimiza los costos y provee señales tempranas de problemas, de tal forma que pueda tomarse una acción correctiva.

La necesidad del control efectivo de un proyecto es de gran importancia²⁵; es vital proteger al proyecto contra todos los riesgos del pobre desempeño o incumplimiento por cualquiera de las partes participantes. Esto incluye a los propietarios de la planta, contratistas, subcontratistas y proveedores.

El control del costo es una preocupación del gerente de proyecto; los mayores riesgos son los costos por sobrepresupuesto, retrasos y el pobre desempeño en cualquiera de las etapas del proyecto.

La piedra angular del control de proyecto es la adecuada consideración del tiempo. El tiempo es irreversible y sus costos son irrevocables.

³⁵ STRAIGHT, Frank. "How the project engineer gets the job done". Chemical Engineering

⁹ ANDIA, Dan. "Project practices for success". Hydrocarbon Processing

Frecuentemente se escucha que el tiempo es dinero y el retraso en el arranque es muy costoso, unos tres meses de retraso en atender la operación satisfactoria de la planta podría significar unos seis a nueve meses de pérdidas de ganancias.

El mayor poder para controlar la inversión se tiene durante la fase de diseño básico. Por lo tanto, todas las mayores decisiones del proyecto deberían ser realizadas durante ese tiempo.

Todos los cambios mayores del proyecto deben ser realizados en la fase temprana del diseño, antes de que se ordene el equipo mayor, por lo que se debe hacer un trabajo adecuado del diseño básico mientras el proyecto es aun flexible y capaz de cambiar a un bajo costo.

La realización de cambios significantes del proyecto en la fase de ingeniería detallada, y después de la firma de las órdenes para el equipo mayor, no solamente serán más costosos sino también podrían ser prácticamente imposibles. Los programas de reducción de costo algunas veces fallan porque han sido implementados muy tarde.

MANEJANDO LOS CAMBIOS Y REVISIONES DURANTE EL PROYECTO.

Cuando es necesario, se realizan cambios al programa de Pruebas y Puesta en Servicio para mejorarlo o incorporar modificaciones de acuerdo a requerimientos técnicos o regulatorios. El rol del ingeniero de proyectos es crítico en materia de cambios al proyecto³⁵. Es importante obtener acuerdos rápidos sobre los efectos de los cambios y las decisiones sobre su implementación. Por un lado, el ingeniero de proyecto del contratista debe tratar de persuadir a los ingenieros del cliente de limitar los cambios. Por el otro, debe explicar los cambios necesarios a sus ingenieros, y asegurar que los lleven a cabo.

La tensión causada por cambios del contrato probablemente nunca será eliminada. Sin embargo, la observación de lo siguiente puede reducir los problemas.

- 1.- Ambas partes deben aceptar lo inevitable de los cambios. El ingeniero de proyecto debe estar preparado para acceder a cierto número de cambios y persuadir a sus ingenieros de trabajar en ellos. El cliente debe reconocer que algunos de sus requerimientos estarán fuera del alcance del contrato original, también debe notar que los cambios excesivos pueden incrementar los costos y la duración del programa.
- 2.- Ambas partes deben estar bien conscientes de que los cambios realizados más temprano en el proyecto son mucho menos costosos y obstructores que aquellos realizados muy tarde.
- 3.- El ingeniero de proyectos del contratista no debe retrasar la documentación que el o ella considere son cambios del contrato, y debe establecer reuniones regularmente con los ingenieros del cliente para revisar los cambios.
- 4.- El ingeniero de proyecto debe establecer un procedimiento para manejar los cambios, incluyendo la estimación de costos, y discutirlos pronto con su contraparte.

³⁵STRAIGHT, Frank. "How the project engineer gets the job done". Chemical Engineering.

EL INGENIERO DE PROYECTO COMO COORDINADOR.

Como coordinador del proyecto,³⁵ el ingeniero de proyecto autoriza la iniciación de tareas. Otra tarea crítica del ingeniero de proyecto es coordinar el trabajo de los grupos involucrados. Por que las tareas de estos grupos están relacionadas, debe haber comunicación efectiva entre ellos, motivo por el cual además deberán realizarse juntas de coordinación.

Las juntas de coordinación se conducen con la atención de los representantes de los grupos de Puesta en Servicio, Procuración, Control de Proyectos, Ingeniería, Construcción, Proveedores y el Cliente. Estas juntas se efectúan con la periodicidad que se establezca en acuerdo con los involucrados y los requerimientos del Proyecto. Las juntas se enfocarán hacia el avance en la terminación de sistemas, conflictos potenciales de programa, programas de actividades, así como en la resolución de problemas.

Comunicación⁹.

Una exitosa ejecución del proyecto significa comunicar, comunicar, comunicar. La comunicación cercana y abierta entre todos los miembros del equipo es crucial. El gerente de proyecto tiene que comunicar a su equipo el alcance, requerimientos técnicos, programa, estimado, objetivos del proyecto y términos contractuales (faltas, acuerdos y entendimientos). Las bases, suposiciones y condiciones del estimado también tienen que ser claramente comunicadas al equipo. El equipo de proyecto debe tener un conocimiento completo y entender todos los términos que les afectan.

Un proceso esencial en el procedimiento de coordinación es la entrega oportuna de información a los varios miembros del equipo. El equipo debe compartir problemas con los otros y trabajar juntos para su resolución.

El gerente de proyecto debe fomentar la comunicación y evitar el viejo adagio de “traer solo soluciones y no problemas”. Es importante escuchar las ideas del equipo y buscar su retroalimentación.

La comunicación abierta con el cliente también es necesaria. Es importante escuchar al cliente y entender sus necesidades y requerimientos. En la conclusión del proyecto, se debe sostener reuniones con el cliente y el equipo para revisar el proyecto y mejoras recomendadas basadas sobre las lecciones aprendidas.

Será cada vez más importante ensamblar medidas y lecciones aprendidas de proyectos pasados y usar estos para mejorar las prácticas de estimación y ejecución. Además siempre, la planeación, el trabajo en equipo, comunicación y adaptabilidad a nuevas tecnologías serán las claves para un proyecto exitoso.

3.2 INTERACCIONES DEL INGENIERO DE PROYECTO.

El Ingeniero de proyecto interactúa con los grupos de Puesta en Servicio, Procuración, Ingeniería, Construcción, Proveedores, otros Contratistas y con el Cliente.

Aunque no es posible para el ingeniero de proyecto familiarizarse con todos los ingenieros que trabajan en un proyecto³⁵. El o ella deben hacer un esfuerzo especial en conocer a algunos, tales como: Quien pueda ayudar a resolver problemas difíciles, con quien se puede contar para respuestas rápidas, quien puede tomar decisiones independientemente (por ej. Sin la aprobación de superiores), y quien funciona con guías generales (vs aquellos que necesitan instrucciones específicas).

Ya que el ingeniero de proyecto rara vez tiene ingenieros trabajando directamente para él, debe ser tan competente como diplomático para asegurar su cooperación, así como:

- Mantener a los jefes informados, asegurando que ellos estén conscientes de las decisiones importantes.
- Explicar las razones detrás de los requerimientos especiales.
- Dar reconocimiento cuando este es merecido.
- No hacer demandas de programas no razonables, y evitar insinuar que una tarea no es importante. Hacer solicitudes solo cuando en realidad son necesarias.
- No usar una rápida respuesta preliminar, para tomar una decisión que podría tener consecuencias mayores.

Relación con el personal del cliente³⁵.

El ingeniero de proyecto debe conocer al personal del cliente y como funciona su organización. El debe buscar respuestas a tales preguntas como:

- ¿Quién toma las decisiones?
- ¿Que reportes son requeridos?
- ¿Las preguntas técnicas deben ser dirigidas a los especialistas técnicos del cliente? Si este es el caso, el ingeniero de proyecto debe encontrar quienes son ellos, cual es la especialidad de cada uno y como pueden obtenerse sus contribuciones.
- ¿Que aspectos del proyecto son considerados mas críticos por los ingenieros del cliente?
- ¿Están los ingenieros del cliente familiarizados con la organización y procedimientos del contratista?

La pronta información y las decisiones de los ingenieros del cliente son esenciales para el progreso del proyecto. Si se espera que haya retrasos, el ingeniero de proyecto debe formular pronto las preguntas necesarias, y tomar en cuenta los retrasos en su planeación. Puede ser necesario advertir al cliente que el trabajo sobre el proyecto será llevado en una cierta forma o hacia un termino particular, a menos que sean recibidas instrucciones contrarias.

En general, debe fomentarse el contacto directo entre los ingenieros del cliente y del contratista. El ingeniero de proyecto debe dar principal atención a cuestiones que los representantes del cliente consideren críticas.

Sugerencias³⁵.

El ingeniero de proyecto del contratista no debe esperar a los ingenieros del cliente para preguntar todas las dudas que surjan. En vez de eso, el o ella deben describir las alternativas disponibles y dar recomendaciones. El ingeniero de proyecto del contratista no debe solo hacer preguntas continuamente, sino que proponer soluciones a problemas basados en su experiencia y juicio, y cuando sea necesario con evaluaciones técnicas y económicas.

Adicionalmente, el ingeniero de proyecto no debe pasar las instrucciones del cliente y requerimientos a sus ingenieros sin primero revisarlos. Antes de que tales requerimientos sean llevados a cabo, el ingeniero de proyecto del contratista, debe asegurarse que los ingenieros del cliente entienden los costos e interrupciones del programa que podrían resultar. También, cuando comunican tales requerimientos a sus ingenieros, el ingeniero de proyecto debe asegurarse que las instrucciones sean completamente entendidas, esto mediante la retroalimentación.

3.3 PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL INGENIERO DE PROYECTO CON RESPECTO AL ARRANQUE.

- ✓ Revisión de los alcances contractuales.
- ✓ Establecer un plan general del proyecto^{3,25}.
 - Definir a fondo el alcance del trabajo.
 - Establecer la organización del proyecto, designación de responsabilidades y obligaciones de todas las partes, autoridad para cada posición y adicionalmente las líneas de comunicación.
- ✓ Desarrollar el programa del proyecto.
 - Secuencia de ingeniería.
 - Secuencia de procura.
 - Secuencia de construcción.
 - Secuencia de arranque.
- ✓ Desarrollar planes y programas detallados.

Elaboración del plan de puesta en servicio (en conjunto con el gerente de puesta en servicio):

- Definición de las necesidades de personal.
- Definición de responsabilidades.
- Definición y alcance de asistencia técnica.
- Elaborar el plan de entrenamiento.

Elaboración del programa de puesta en servicio (el cual debe considerar lo siguiente sin ser limitativo):

- Programar la revisión de la información generada por ingeniería.
- Elaboración y revisión del manual de operación.
- Elaboración de procedimientos y protocolos de prueba.
- Considerar tiempo para las tareas de apoyo a construcción (inspección, supervisión y seguimiento a punch list).
- Programar los requerimientos para asistencia a construcción, trabajo en campo, entrenamiento y asistencia de proveedores en campo.
- Programar la secuencia de chequeo de la instrumentación y equipo.
- Secuencia de las pruebas hidrostáticas.
- Programación de la terminación mecánica (considerando la prioridad operacional de los sistemas).
- Transferencia de sistemas del grupo de construcción a puesta en servicio.
- Recepción de sistemas prioritarios.
- Programar la secuencia de pruebas preoperacionales a equipo.
- Programar la secuencia de comisionamiento .
- Programar la secuencia de arranque de los servicios.
- Programar la secuencia de introducción de la alimentación.

- ✓ Preparar estimados detallados de horas hombre y recursos.
- ✓ Preparar estimados definitivos de los costos del proyecto.

- ✓ Ejecución del programa de puesta en servicio, durante este periodo el gerente de proyecto debe coordinar en conjunto con el gerente de puesta en servicio y verificar que se ejecuten las actividades como:
 - Verificar la asignación de personal al sitio.
 - Mantener una vigilancia intensiva en las actividades de compra de material, inspección y expedición para asegurar la entrega de materiales, consumibles y partes de repuesto, de la calidad especificada en el sitio y en programa.
 - Supervisar los avances de terminación mecánica.
 - Verificar la corrección de fallas, errores y omisiones.
 - Dar seguimiento a la recepción de sistemas prioritarios.
 - Vigilar la transferencia de sistemas de construcción a comisionamiento.
 - Monitorear continuamente el trabajo en sitio para la utilización de mano de obra, equipo e instalación de material.
 - Monitorear que se lleve a cabo la asistencia técnica de proveedores.

- ✓ Monitorear el progreso y compararlo con el plan. Control del proyecto.
- ✓ Monitoreo y control del presupuesto.
- ✓ Comunicación con el gerente de arranque.
- ✓ Mantener una adecuada comunicación en todo el tiempo con el cliente

CAPITULO 4

PARTICIPACIÓN DEL GERENTE E INGENIEROS DE PUESTA EN SERVICIO EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROYECTO

4.1 REQUERIMIENTOS Y PARTICIPACION DEL GERENTE DE PUESTA EN SERVICIO DURANTE EL DESARROLLO DEL PROYECTO.

El primero de los requerimientos de un buen gerente de puesta en servicio debe ser la resistencia física y emocional. El segundo requerimiento es la habilidad de dirección, un gerente de puesta en servicio tiene que llevar todos los esfuerzos de un grupo extremadamente diverso de personas. Como tercer requerimiento; el gerente de puesta en servicio debe tener un alto grado de competencia técnica; El podría no conocer tanto como la gente de cualquier área especializada quien ha diseñado o construido la planta, pero debe tener suficiente conocimiento en cada campo para ser capaz de tener un entendimiento profundo de los procesos y el equipo. Como un cuarto requerimiento, el gerente de puesta en servicio debe estar fuertemente motivado en su carrera.

Adicionalmente el gerente de puesta en servicio debe tener:

Decisión, experiencia en supervisión, experiencia en arranque, experiencia en operación, habilidad de coordinación, habilidad de planeación, sentido de prioridad y habilidad en relaciones personales.

¿Cuáles son las varias etapas del proyecto que un gerente de puesta en servicio debe cumplir?
Estas son:

En la definición de la instalación. En esta fase el gerente de puesta en servicio debe, estimar el personal, organizar las actividades del proyecto y establecer un presupuesto provisional.

En el diseño. Durante esta fase, el gerente de puesta en servicio debe trabajar en cercana cooperación con el jefe del proyecto. Juntos deben trabajar como un equipo para asegurar con su personal que la planta será propiamente diseñada desde el punto de vista del personal de operación y mantenimiento.

El gerente de puesta en servicio debe asegurar que se considere tiempo suficiente para actividades tales como⁴⁴ revisiones del proceso, de la seguridad e inspecciones de equipos mayores, tanto en fábrica del proveedor como en los trabajos de construcción.

⁴⁴FLORES Hinojosa Arturo. "Tesis: Arranque de plantas: Estudio del arranque de una planta de urea". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1984.

En la construcción. El gerente de puesta en servicio debe asegurarse que la construcción en sus últimas etapas no interfiera con las primeras etapas de la puesta en servicio, debe asegurar que la gente de construcción realice las modificaciones inevitables que surgen.

También permitirá tiempo suficiente para el entrenamiento adecuado.

En el Pre-arranque. Las cuestiones como, inspecciones preliminares y pruebas de equipo son, por supuesto, obvias. Programar las materias primas para el tiempo adecuado, y los arreglos para su almacenamiento en el caso de retrasos, deben ocupar la atención del gerente.

En el Arranque. Debe haber un hombre muy firme en el control de todo; el es por supuesto, el gerente de puesta en servicio. El será asistido por el gerente de proyecto, licenciador del proyecto, representantes de proveedores de equipo y expertos en varios campos.

Se debe asegurar la presencia de los proveedores de equipo, y observar que las garantías del equipo sean impuestas como necesarias. En las prisas y presiones de los problemas en el tiempo del arranque, mucho dinero puede gastarse en el trabajo que es propiamente la responsabilidad del proveedor.

Debe asegurarse que cada persona esté en el trabajo que esta destinado a ocupar cuando la planta tenga problemas.

Debe monitorear el progreso y compararlo diariamente con el plan. La comparación permite determinar cuan cerca se está de finalizar el trabajo, establecer el efecto de los problemas, los cambios en la fecha de terminación y mantener un control en el presupuesto.

4.2 PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL GERENTE DE PUESTA EN SERVICIO.

- Trabajar en conjunto con el Gerente de Proyecto.
- Elaboración de programas y presupuestos para la realización de las actividades de puesta en servicio, arranque y capacitación.
- Asignar ingenieros de puesta en servicio para asegurar la supervisión de las actividades asociadas con la transferencia de paquetes.
- Revisar y aprobar los procedimientos.
- Conducir la revisión de los sistemas y sus componentes.
- Asegurar que las actividades se realicen de acuerdo al contrato.
- Coordinar y supervisar el desarrollo de las actividades.
- Apoyar en la entrega y transferencia de instalaciones al cliente.
- Coordinar las actividades de entrega de transferencia de sistemas, de construcción a puesta en servicio.
- Mantener un control de los sistemas entregados por construcción.
- Coordinar, revisar y aprobar el programa de capacitación de los operadores.
- Ser el vínculo principal entre el cliente y el grupo de construcción.
- Actualizar los programas de puesta en servicio.
- Preparar, estimar y controlar el presupuesto y consumo de horas-hombre para puesta en servicio.
- Preparar los reportes del progreso y estado de la puesta en servicio.

4.3 PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO DE PUESTA EN SERVICIO EN LAS ETAPAS DE UN PROYECTO.

LA FASE DE DISEÑO DEL PROCESO^{18,44}.

El ingeniero de puesta en servicio debe participar apoyando en la definición del proceso a través de los diagramas de flujo y sistemas de control para asegurar que las necesidades de arranque, operación, seguridad y medio ambiente están siendo satisfechas.

Las características que facilitarán el arranque deben ser incorporadas muy pronto en el diseño, esto incluye la selección del equipo, la instrumentación y líneas especiales para propósitos de arranque. En un arreglo de equipo de la planta, la compactibilidad es deseable pero este debe ser consistente con la seguridad, la facilidad de operación y el mantenimiento.

Si la planta es diseñada por una compañía externa,¹⁸ el ingeniero de puesta en servicio debe familiarizarse con la compañía para revisar su trabajo con efectividad y retroalimentar a los ingenieros de proceso con información oportuna.

Las formas en que los ingenieros de puesta en servicio pueden auxiliar a los ingenieros de diseño de proceso son:

Definiendo riesgos y planes sustitutos. Cuando se diseña el proceso, los ingenieros de proceso tratarán de mejorar los procesos o reducir la inversión o ambos. Los riesgos involucrados y los planes sustitutos (en caso de falla) deben ser claramente definidos por el ingeniero de puesta en servicio. Ejemplos de situaciones que requerirán planes de reacción son.

- ✓ Falla de energía, pérdida de aire de instrumentos.
- ✓ Pérdida de suministro de combustible
- ✓ Pérdida de vapor
- ✓ Descarga de gases tóxicos.
- ✓ Fugas mayores
- ✓ Fuego
- ✓ Derrames

Comunicando la filosofía de operación. La filosofía de operación debe ser escrita y editada para los ingenieros de diseño de proceso, de tal forma que ellos entiendan claramente como va a operar la planta y cuanto equipo se requiere. Esto es importante porque los ingenieros de proceso pueden tener ideas diferentes de cómo debe operar la planta.

Revisando las bases de diseño. El ingeniero de puesta en servicio debe registrar y archivar las suposiciones de diseño básicas. Este tipo de información es importante durante el arranque para evaluar su desarrollo y evitar cuellos de botella.

En el desarrollo de los sistemas lógicos de control. La experiencia del ingeniero de puesta en servicio es valiosa en la descripción de los propósitos de los sistemas de control.

¹⁸FULKS, Bernard D. "Planning and organizing for less troublesome plant startups". Chemical Engineering. (September 6, 1982).

Guía en el layout. Debido a que la localización del equipo dicta los procedimientos de mantenimiento y operación, el ingeniero de puesta en servicio debe estar involucrado en el layout de la planta. El objetivo de los ingenieros de diseño de proceso es colocar tanto equipo como sea posible en el menor espacio para minimizar costos, el objetivo del ingeniero de puesta en servicio es localizar el equipo para el uso más eficiente y seguro del personal de operación y mantenimiento lo que podría no coincidir con los objetivos del ingeniero de diseño del proceso.

Consideraciones de seguridad, salud y medio ambiente. Es responsabilidad del ingeniero de puesta en servicio determinar si la planta puede ser operada dentro de las restricciones de seguridad, salud y medio ambiente, para que las soluciones se conviertan en una parte integral del diseño.

LA FASE DE DISEÑO DETALLADO. ^{18,44}

El ingeniero de puesta en servicio también debe estar involucrado con el desarrollo de criterios de diseño especiales, las áreas de alta actividad de operación deben ser identificadas de tal forma que los diseñadores mantengan esas áreas no obstruidas. Al inicio de la fase de diseño detallado, debe tener un concepto claro de la nueva planta. El ingeniero de puesta en servicio debe sugerir características de diseño que puedan ayudar a operar la planta más eficientemente. Estas son agrupadas en tres categorías, de acuerdo a su importancia:

- 1) Lo que debe tener
- 2) Lo que se necesita
- 3) Lo que se quiere.

Revisiones de la seguridad y de los procesos.

Una revisión de la seguridad y de los procesos en las ultimas etapas de la fase del diseño detallado asegurará que todos los interesados entiendan lo que se está construyendo y como será operado. Esta también proporcionará una oportunidad para evaluar los cambios realizados durante esta fase. Aunque los cambios en esta etapa podrían retrasar la fecha de terminación, los errores pueden ser descubiertos y corregidos antes de que la construcción inicie.

LA ETAPA DE PROCURA. ^{18,44}

El ingeniero de puesta en servicio debe involucrarse en la documentación de los criterios especiales para la compra de equipo con respecto a la operabilidad, seguridad y mantenimiento, antes de que los proveedores sean seleccionados.

Las partes de repuesto también deben ser consideradas en la compra del equipo mayor. El ingeniero de puesta en servicio debe insistir en que tales partes sean incluidas en la orden de compra.

El ingeniero de puesta en servicio también debe asistir a las reuniones con los proveedores del equipo mayor para la obtención por escrito de acuerdos en inspecciones especiales, especificaciones de limpieza, requerimientos de almacenamiento, problemas de mantenimiento, listas de partes de repuesto, apoyo en el arranque y manuales. Antes de que el equipo se compre, se pueden obtener

numerosos requerimientos especiales a un costo mínimo. Pero todos los acuerdos especiales deben hacerse por escrito antes de que la compra este completa, de otra forma el costo podría ser excesivo.

De gran importancia es el hecho de que el personal de puesta en servicio realice inspecciones de equipos mayores, tanto en fábrica del proveedor como en los trabajos de construcción, para prevenir problemas en los equipos durante el arranque.

ASISTENCIA A CONSTRUCCIÓN.¹⁸

El ingeniero de puesta en servicio auxilia a construcción mediante inspecciones que permiten detectar con anticipación problemas probables de operación, seguridad y mantenimiento, de forma tal que la acción correctiva no retarde el programa de construcción.

El personal de puesta en servicio asignado para auxiliar a construcción debe ser liberado de otras obligaciones. Ellos tendrán que atender y trabajar de cerca con los supervisores de construcción, responder a preguntas de estos sobre como será instalado el equipo. Las buenas relaciones de trabajo minimizarán errores y costos.

Se debe establecer un grupo y un procedimiento para aceptar de construcción las instalaciones terminadas. Normalmente, las nuevas instalaciones no están completamente terminadas cuando estas son aceptadas. Deben prepararse listas de puntos incompletos (llamados listas de pendientes o punch list) de tal forma que construcción pueda completar el trabajo. El ingeniero de puesta en servicio debe trabajar con construcción en preparar estas listas de pendientes (punch list) y obtener un compromiso de que se dará prioridad al trabajo.

Las listas de pendientes son preparadas antes de que el sistema sea aceptado. Se puede ahorrar considerable tiempo si el personal de construcción acompaña al personal de arranque durante la recopilación de la lista de pendientes.

LA RUTINA DE ARRANQUE.¹⁸

Justo antes del arranque se llevará a cabo una reunión de revisión de seguridad. El grupo debe revisar documentos describiendo las preocupaciones tempranas de seguridad y evaluar las soluciones. También debe evaluar si la organización esta lista para arrancar la planta.

Los registros del arranque deben mantenerse como una bitácora, en la cual las características de operación de cada sistema se registren en el arranque y comparen con el diseño; y un registro de problemas o reparaciones, en el cual los problemas son registrados tal como estos ocurren, con los nombres de las personas responsables para resolver el problema.

El camino usual para conseguir completar una planta en rutina de operación es poner secciones independientes sucesivamente en operación.^{18,44} Los servicios y quizá las secciones de almacenamiento de producto pueden ser puestos en rutina de operación antes que la planta completa sea arrancada.

**Para las diferentes etapas de un proyecto, ver figura No. 3.*

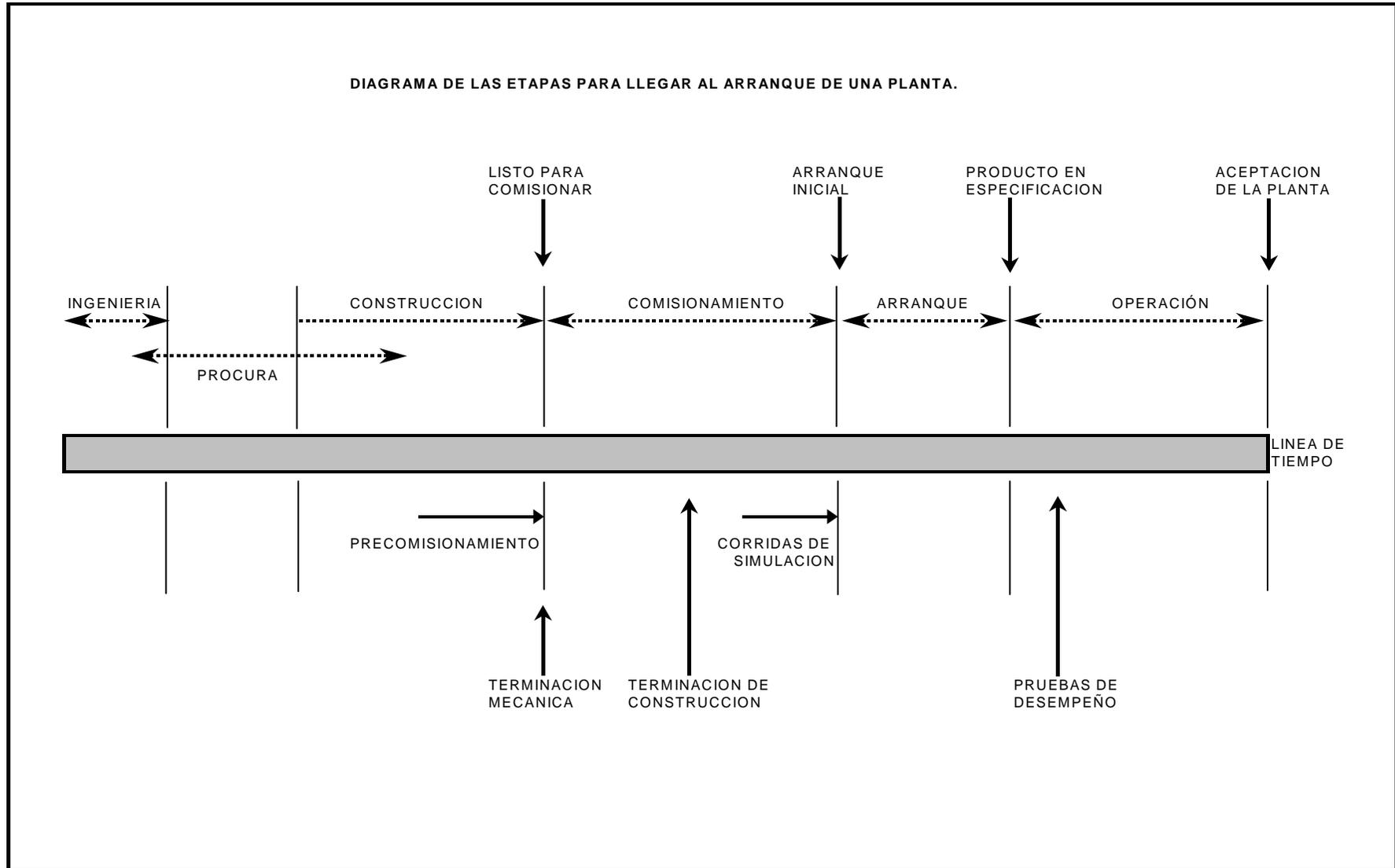
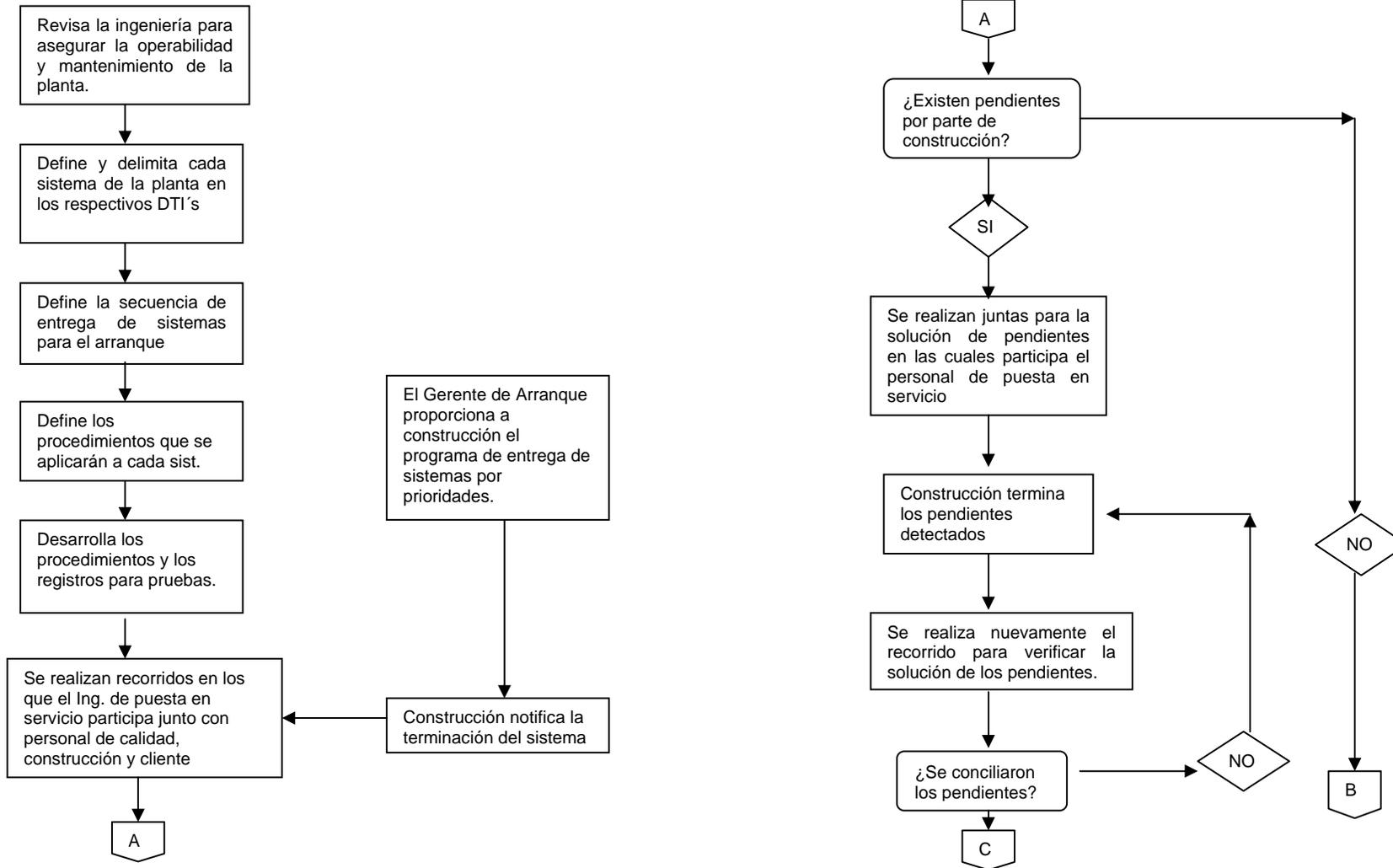


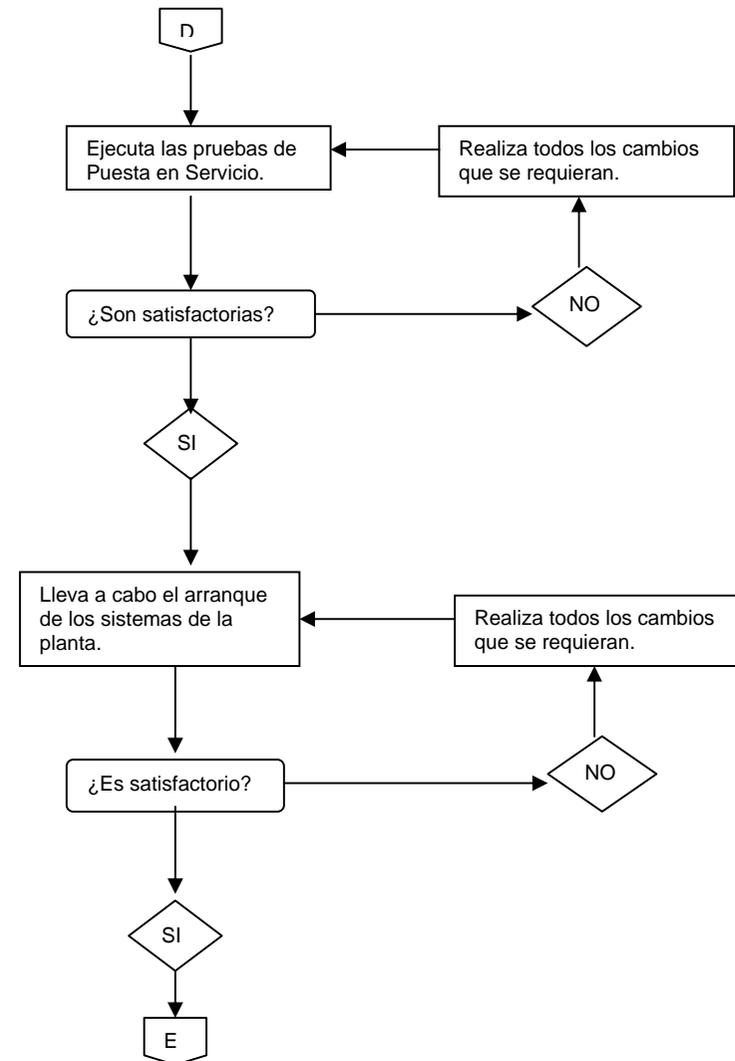
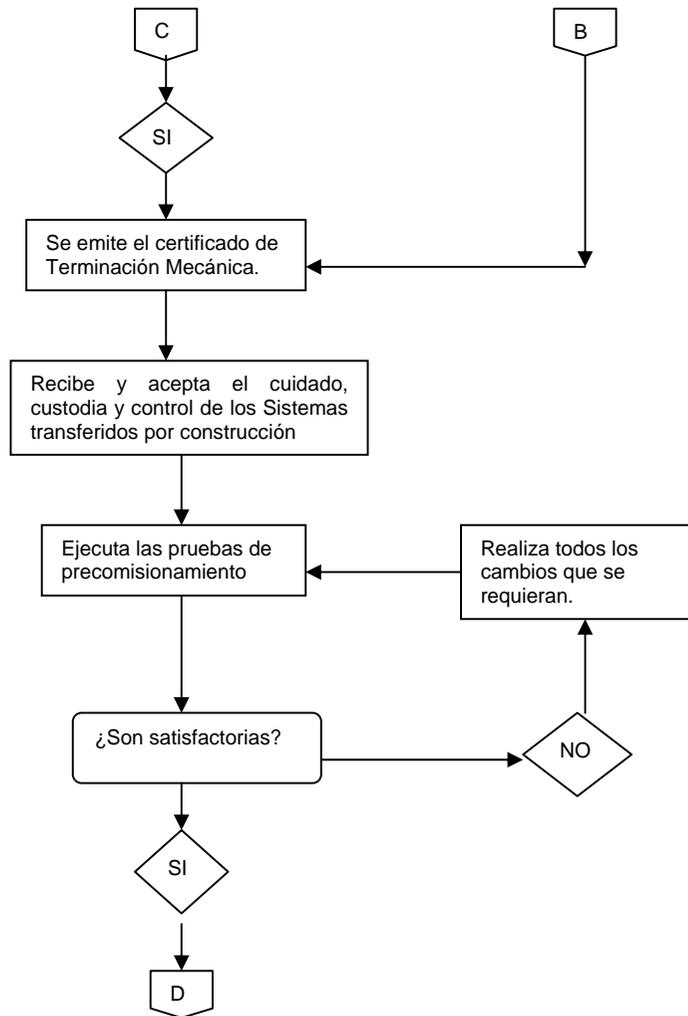
FIGURA NO. 3

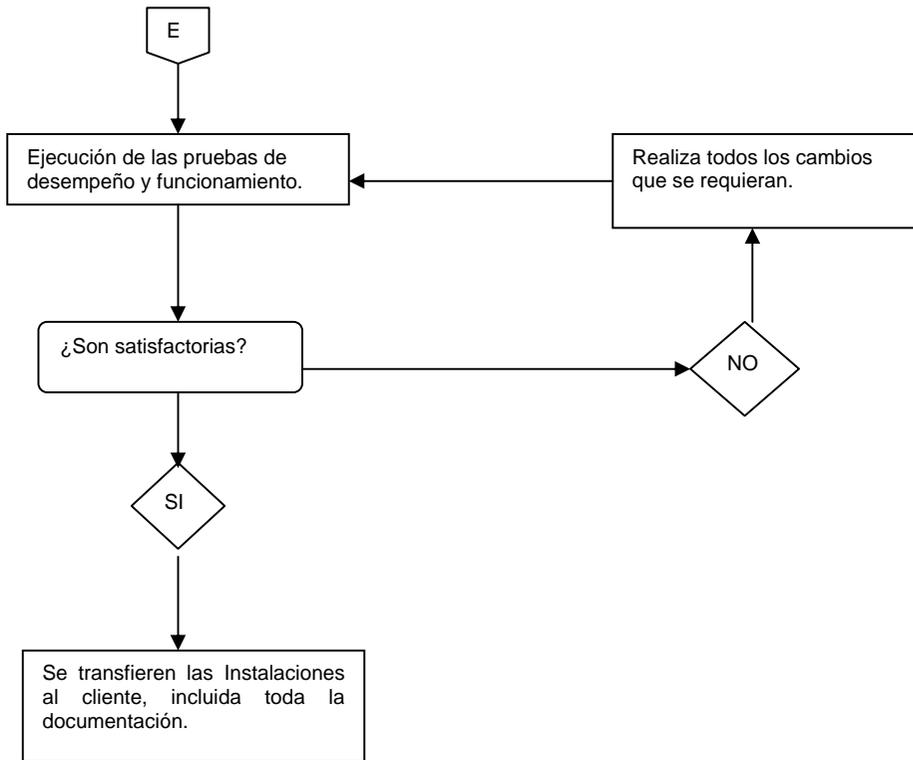
4.4 ACTIVIDADES GENERALES DE LOS INGENIEROS DE PUESTA EN SERVICIO.

- Revisión de la descripción del proceso y filosofía de control.
- Revisión de información técnica generada por ingeniería.
- Elaboración de procedimientos y protocolos de prueba.
- Elaboración de las instrucciones de operación de la planta.
- Delimitación de sistemas.
- Conducción de recorridos e inspecciones de sistemas.
- Dar seguimiento a la lista de pendientes (punch list).
- Preparar los paquetes de entrega por sistemas.
- Preparar los documentos necesarios para registrar y solucionar las deficiencias.
- Ejecutar las actividades establecidas en los procedimientos de puesta en servicio.
- Ejecución del mantenimiento preventivo y correctivo de todo el equipo.
- Probar y poner en servicio las instalaciones de acuerdo con el diseño, en forma segura y eficiente, de acuerdo con los requerimientos contractuales.
- Conducir las pruebas de operabilidad de acuerdo al contrato.
- Participar en las pruebas de aceptación y de funcionamiento de las instalaciones.
- Apoyar en la transferencia de las instalaciones al cliente.

4.5 SECUENCIA DE PARTICIPACIÓN DEL INGENIERO DE PUESTA EN SERVICIO DURANTE EL PROYECTO.







CAPITULO 5.

EL MANUAL DE OPERACIÓN

El manual de operación³⁷ es una de las ayudas más importantes e indispensables en el arranque de plantas, ya que el éxito en las operaciones de arranque requieren que el personal involucrado tenga una comprensión clara de:

- a) El diseño del proceso.
- b) Las variables que afectan los rendimientos, la calidad y continuidad de operación.
- c) Las características de funcionamiento del equipo principal.
- d) La protección del personal y el equipo en condiciones de emergencia.

Un manual bien escrito, entendible y disponible antes de la terminación de la planta, permite al personal técnico del propietario llegar a familiarizarse con el proceso y empezar el entrenamiento oportuno del operador.

El manual de operación contempla toda la información⁴⁶ de los lineamientos que se deben seguir para la operación de una instalación. Este documento debe ser actualizado y estar lo más completo posible, pues una alta calidad en el manual puede mejorar la seguridad y operabilidad de la instalación.

Para poder elaborar un buen manual de operación que cumpla con los requerimientos deseados se pueden considerar los siguientes principios:

Información.

Para que los operadores puedan operar una instalación, necesitan información de referencia tal como las condiciones del proceso, las hojas de datos de los elementos que conforman la instalación, la química relevante del proceso, los procedimientos de operación, etc.

También se deben proporcionar guías que muestren como se debe operar cada sección de la instalación y las acciones que se deben tomar durante la operación normal y anormal.

Desarrollo por secciones.

El manual puede estar formado por diversas secciones ligadas unas con otras dentro de una estructura predefinida.

Ayuda con esquemas.

Uno de los problemas que presentan algunos manuales de operación es que no son muy atractivos a la vista debido a que están conformados por páginas y páginas de tedioso texto que es difícil seguir durante la operación en campo, por lo que se recomienda que se empleen gráficos, diagramas y esquemas que simplifiquen de manera ilustrativa la información que se plasma.

Se debe procurar que el manual de operación sea entendible para un rango amplio de usuarios como operadores, supervisores, ingenieros, gerentes, personal de mantenimiento, etc., y con ello tratar de satisfacer sus necesidades tan diferentes.

³⁷TROYAN J.E. "How to prepare for plant startups in the chemical industries" Chemical Engineering.

⁴⁶SERRANO Liceaga Jessica Beatriz. "Tesis: Arranque de un paquete de generación de ácido sulfuroso en una plataforma marina". UNAM FES Zaragoza. México D.F.

Los ingenieros de proceso pueden desarrollar con el personal de arranque las varias secciones del manual de operación³⁷. El jefe de operación también puede preparar secciones principales del manual, particularmente los procedimientos detallados de operación.

La información necesaria para la elaboración del manual de operación es la siguiente:

- La Descripción General del Proceso.
- Filosofía de Control del Proceso.
- Diagramas de Tubería e Instrumentación, desarrollados durante la ingeniería de detalle.
- Información certificada de los equipos y/o sistemas emitida por proveedores.

5.1 CONTENIDO DEL MANUAL DE OPERACIÓN.

El contenido del manual se describe por sistemas que a su vez se dividen en las siguientes áreas:

I. ÁREA DESCRIPTIVA

En esta se plantea una descripción general del sistema, los objetivos de la instalación y la participación de los sistemas dentro de la planta.

I.1 Tabla de contenido.

I.2 Introducción

En esta sección se indica el alcance, antecedentes y lineamientos generales sobre el uso del manual.

I.3 Generalidades

Este capítulo contiene la identificación de la planta, la localización de la unidad, el nombre de la compañía diseñadora, el nombre del cliente, la patente o licenciador, el número de contrato, el tipo o nombre del proceso y la capacidad de procesamiento.

1.4 Descripción del Proceso

Este incluye los objetivos básicos de la planta; mencionando en forma simplificada los pasos involucrados en el proceso. El contenido de este capítulo se divide en tres partes:

- A) Descripción General del Proceso
- B) Bases de Diseño
- C) Química del Proceso

A) Descripción General del Proceso

Se hace una síntesis del proceso de la planta y sus objetivos, mencionando brevemente las características del equipo principal, sin entrar en detalles de control y condiciones de operación.

B) Bases de Diseño

En esta sección se incluye el documento Bases de Diseño del Proyecto.

C) Química del Proceso

Esta sección incluye las reacciones que tienen lugar en la planta, sus ecuaciones, una breve descripción de estas y una explicación sobre las variables que afectan el desarrollo o rendimiento de tales reacciones.

I.5 Descripción del Flujo

Se describe el detalle del diseño de la unidad en cuanto al proceso y los servicios auxiliares. La información incluye:

I.5.1 Descripción de la Planta

Se describe en detalle, la secuencia del flujo de proceso incluyendo la información sobre el control y condiciones de operación.

La descripción general de la planta debe contener la siguiente información:

- *Equipos*: La descripción de los equipos, sus funciones, características principales, su modo de operación, etc.
- *Condiciones de Operación*: Se mencionan las condiciones de operación de todos los equipos. Se debe tomar en cuenta si el equipo trabajará a diferentes condiciones bajo diversas situaciones previstas en el diseño.
- *Instrumentación*: Describir la instrumentación relevante, incluyendo la lógica de control dentro del proceso. En casos especiales, debe indicarse su rango y condiciones de operación. Al describir el instrumento debe mencionarse la variable que controla o indica, su número de identificación, y si es local o de tablero. En el caso de interruptores cuya acción sea crítica para el proceso, es conveniente mencionar sus puntos de disparo. Para el caso de las alarmas se debe indicar identificación, punto de ajuste, causas posibles por las que se puede accionar la alarma, efectos y consecuencias, así como las acciones inmediatas para abatir el efecto de dichas consecuencias.
- *Tuberías*: Para cada línea se especifican límites, temperatura de diseño y presión, especificación del aislante, tamaño de línea y especificaciones de tubería.
- *Variables de Proceso*: Describe la influencia de las variables sobre el rendimiento y calidad de los productos.

II. ÁREA OPERATIVA

Contiene los procedimientos que deben realizarse para arrancar, operar y parar la unidad, haciendo énfasis en los aspectos de seguridad.

II.1 Procedimientos Preliminares

Esta sección indica las actividades necesarias a fin de acondicionar la planta para su puesta en servicio como son:

A) Lavado de Circuitos. Con los criterios para dividir la planta en circuitos, requerimientos de calidad del agua de lavado y su fuente de suministro, empleo de medios alternativos de limpieza, cuidados especiales al llenar con agua tuberías y equipos, uso de venteos, cuidados especiales con válvulas de control, bombas, placas de orificio y demás aditamentos, y método de comprobación de limpieza.

B) Pruebas hidrostáticas y neumáticas. Con los procedimientos generales, criterios para dividir la planta en circuitos, las presiones de prueba, empleo de bridas ciegas y control de remoción de las mismas, eliminación de aire en circuitos y equipos a probar, el uso de venteos, remoción de accesorios de instrumentación que no se encuentren dentro del rango de presión de prueba, etc.

C) Procedimientos especiales de lavado. Incluyendo la descripción del tipo y concentración de agente químico a ser utilizado, los métodos a seguir para controlar el tiempo de duración de la limpieza, etc.

D) Revisión del equipo mecánico, eléctrico e instrumentación

II.2 Procedimientos de Arranque¹⁴

En esta parte se describen las acciones necesarias y su secuencia para la introducción de la alimentación y para poner en marcha la unidad. Además se indican los flujos y las condiciones.

II.3 Procedimientos de Paro

Aquí se recomienda una secuencia de acciones necesarias para sacar de servicio la unidad en forma ordenada y segura.

II.4 Procedimientos de Emergencia¹⁴

En este capítulo se deben describir las acciones a seguir cuando ocurran fallas. Se indican señales de advertencia o condiciones que podrían predecir la necesidad de un paro por emergencia, se describen las provisiones de diseño para manejar estas acciones, los controles automáticos que serán activados, la operación manual que podría ser requerida, y las acciones a tomar. Los tipos de problemas descritos incluyen: Falla de suministro de energía, pérdida de suministro de vapor, aire de instrumentos o falla de agua de enfriamiento.

II.5 Consideraciones de Seguridad¹⁴

Se indican las normas generales de seguridad que deben observarse, incluyendo las regulaciones de seguridad establecidas por el cliente, se indican las precauciones necesarias para prevenir la exposición del operador, todas las prácticas recomendadas de seguridad necesarias para preservar la integridad física del personal y los equipos de la planta. Se discuten las medidas de control a ser tomadas en el evento de un contacto físico. El uso del equipo de protección personal, recomendaciones de uso del equipo de suministro de aire autónomo, el conocimiento y la importancia de mantener libres las rutas de escape, etc.

Además se incluyen las Hojas de Datos de Seguridad de las sustancias manejadas en la planta.

¹⁴BUTLER, Martin E. NAYAR, M. P. and WHEELER, Mark E. "How to facilitate startup". Chemical engineering. (June 1993).

III. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.

En esta sección se incluyen los dibujos y documentos que respaldan las características principales de los sistemas y equipos.

Los documentos que se incluyen frecuentemente en el manual son:

- Bases de Diseño del Proyecto.
- Diagramas de Flujo de Proceso.
- Diagramas de Flujo de Servicios.
- Diagramas de Seguridad, sistemas de desfogue, sistemas de agua contraincendio, etc.
- Diagramas Unifilares.
- Arreglo General de Equipos.
- Arreglos de Tuberías.
- Dibujos Constructivos de Equipos.
- Dibujos de Proveedor.
- Lista de Equipos
- Hojas de Datos de Equipos.
- Hojas de Datos de Instrumentos.
- Hojas de Datos de Válvulas de Control y de Válvulas de Seguridad.
- Sumario de Alarmas
- Información Técnica de empaques, catalizadores, etc.
- Hojas de Datos de Seguridad de las sustancias manejadas.

IV. APÉNDICE.- Con un glosario de términos.

Aunque los manuales de operación para una nueva planta pueden ser similares a unidades existentes, cada manual debe ser críticamente revisado para determinar su utilidad.

CAPITULO 6.

PREPARACIONES PARA EL ARRANQUE DE UNA NUEVA PLANTA.

6.1 EL CAMBIO DE LA CONSTRUCCION DE AREAS A SISTEMAS.

Un primer requisito para minimizar el tiempo⁴¹ en la última etapa de un proyecto consiste en la integración de las actividades de construcción y de comisionamiento.

Tradicionalmente la construcción de una planta química se había realizado sobre una base de áreas. Este concepto es eficiente desde un punto de vista de construcción, pero una planta se puede preparar y comisionar solamente en sistemas de proceso, los cuales pasan a través de varias áreas de la planta, lo cual retrasaría el inicio de la preparación hasta que la mayoría de la planta estuviera mecánicamente completa. Si la planta se construye sobre una base de sistemas, la preparación puede empezar mucho más pronto.

Tomando en cuenta los requerimientos de los grupos de construcción y comisionamiento, como es la facilidad de construir por áreas contra la necesidad de comisionar en sistemas, se definen los sistemas del proceso en una etapa muy temprana del proyecto y usando el conocimiento del grupo de comisionamiento para agrupar los sistemas sobre una base de áreas, se realizan los estimados del tiempo requerido para preparar y comisionar cada grupo de sistemas. Así la construcción puede proceder sobre una base de "áreas" con prioridades identificadas a tiempo.

El programa se actualiza periódicamente conforme llega a estar disponible más información detallada acerca de la preparación de las actividades y se cambia a una base de sistemas, así las prioridades de construcción estarán definidas por la preparación y los requerimientos de comisionamiento. En los sitios de construcción algunas áreas serán transferidas y puestas en comisionamiento mientras otras están aún bajo construcción.

El orden de la transferencia se determinará por acuerdo mutuo para cubrir aquellas áreas de proceso que se requieran más pronto, o aquellas donde la terminación temprana es fácilmente obtenida.

⁴¹WHISTON, James. "When you commission a plant". Hydrocarbon Processing.

6.2 PLANEACION DE LOS PREPARATIVOS DE ARRANQUE.

El personal de pruebas y puesta en servicio debe estar en contacto con el personal de construcción en una etapa temprana para establecer prioridades para la terminación mecánica.³² Idealmente cuando las actividades de construcción han alcanzado cerca del 75% de terminación, el equipo de construcción debe ser reenfocado de acuerdo a las necesidades de pruebas y puesta en servicio. La planta será dividida en varias secciones en el orden en el que se desea la terminación mecánica.

Como parte de los preparativos del arranque se llevan a cabo las pruebas de los sistemas, para asegurar que se encuentren en condiciones para operar.

A continuación se presentan las etapas típicas en el proceso de planeación de las pruebas de los sistemas.

1.- Definición de los sistemas.

El proyecto puede ser dividido en sistemas, por ejemplo, vapor, nitrógeno, agua de proceso, aire de planta, agua de enfriamiento, etc. Como se definió en los diagramas de flujo y DTI's.

2.- Definir la secuencia de arranque.

El jefe de arranque puede determinar con el personal de pruebas y puesta en servicio, la secuencia de las pruebas de los diferentes sistemas. El programa de actividades debe tomar en cuenta esta secuencia. Dos o más sistemas pueden tener prioridad operacional al arranque de otros sistemas. Por ejemplo, una línea de proceso en particular puede requerir antes de probarse como sistema, del agua de enfriamiento, aire de instrumentos, vapor; antes de estos servicios solo se podrán verificar individualmente los equipos, tuberías, motores, etc. El jefe debe asegurar que la secuencia y los tiempos son adecuados para el arranque y además que la construcción lleva las mismas prioridades en la conclusión de los sistemas.

3.- La fase de terminación mecánica y verificación de los sistemas.

La conclusión de esta fase es responsabilidad del líder de construcción y supervisión de obra con la asistencia del líder de arranque. Esto involucra las siguientes actividades:

- a).- La verificación (check list) de los equipos, tuberías, instrumentos, motores etc.
- b).- Todas las actividades de construcción, en particular los trabajos pendientes de los paquetes (punch list) a ser programados y concluidos para la terminación de los sistemas.

³²MUKHERJEE Siddhartha. "Preparations for initial startup of a process unit". Chemical Engineering. (January 2005).

4.- La fase de precomisionamiento.

Esta fase normalmente involucra la operación de los equipos. Se verifican entre otras cosas la rotación de motores, interlocks de sistemas, todos los tableros de control, sistema de control distribuido, etc; detectando y resolviendo problemas. Concluidos los trabajos en esta etapa se recomienda utilizar tarjetas en los instrumentos y dispositivos eléctricos, indicando que han sido probados.

Cada componente es verificado en su funcionamiento y marcado en la copia de trabajo, realizando anotaciones con las modificaciones de campo. Después, estas correcciones se añadirán a las hojas originales de los paquetes de los sistemas.

5.- Preparaciones finales.²⁹

La última etapa de preparación para el arranque consiste en simular operaciones, la primera de las cuales será efectuada con fluidos no peligrosos, como aire, gas inerte o agua.

El valor principal de la simulación es permitir que los operadores se familiaricen totalmente con la operación de la planta, antes de que se introduzcan en ella productos químicos peligrosos.

Si en la misma planta se van a manejar los servicios auxiliares (agua de enfriamiento, generación de gas inerte, tratamiento de agua para calderas y producción de vapor) éstos deben ponerse primero en operación en una secuencia adecuada.

Los ingenieros de puesta en servicio deben estar alertas para localizar los errores de diseño y construcción que no fueron observados durante las primeras inspecciones, ni cuando se efectuaron las pruebas de los equipos.

Como el proceso no ha sido diseñado para operar con agua o aire, se deberá tener especial cuidado para evitar que el equipo se dañe. Estar enterados de las limitaciones en el diseño de proceso, incluyendo las máximas temperaturas y presiones de operación.

El objeto de esta fase es asegurar que el sistema esta listo para operar.

²⁹MATLEY Jay. "Keys to successful plant startup". Chemical Engineering.

6.2.1 DEFINICIÓN DE LA PLANTA POR SISTEMAS.

Los sistemas se definen inicialmente por el equipo de proceso, y los diagramas de tubería e instrumentación se marcan para mostrar cada sistema e identificar los límites entre ellos.

a) Subdivisión de la planta en sistemas.

Los documentos requeridos para establecer los parámetros de los sistemas³ de prueba en campo incluyen.

- DTI's
 - Diagramas de flujo de proceso.
 - Diagramas de flujo de servicios.
 - Cédulas de equipos
 - Especificación de tuberías.
-
- Sobre cada paquete completo de DTI's, se identifican los sistemas de tuberías de idéntica presión de diseño que estén asociados a los equipos.
 - Se indican los límites de prueba de los sistemas. El sistema de prueba incluirá la tubería y el equipo los cuales tienen aproximadamente la misma presión de diseño. Los límites de los sistemas de prueba frecuentemente serán las válvulas de control, válvulas de bloqueo o cambios de especificación.
 - Se identifican los sistemas por orden de criticidad
 - Después de que el sistema de prueba ha sido marcado, se asigna un nombre y número al sistema.
 - En cada dibujo se escribe la presión de prueba próximo al nombre del equipo en particular. Para intercambiadores, escribir ambas presiones de prueba de coraza y tubo.

b) Indicar los criterios de arranque y de verificación de los sistemas. Los criterios específicos y parámetros de operación de equipos o sistemas son determinados desde la fase de ingeniería del proyecto.

c) Reunión de los documentos de los sistemas. Concentrar todos los documentos soporte de los componentes del sistema.

d) Posteriormente se realizan los planes detallados para cada sistema,⁴¹ el personal técnico y de operación definen el método para cada parte del sistema -soplar con aire, vaporizar, flushing, limpieza química, etc. Cada preparación del sistema es entonces escrita como una instrucción detallada.

³ JOHN Spence L. and WALLSGROVE Christopher. *Course Process Plant Start-up*. Chicago, Illinois. December 1981.

6.3 TERMINACIÓN DE CONSTRUCCIÓN.

La conclusión de esta fase es responsabilidad del líder de construcción y supervisión de obra con la asistencia del líder de puesta en servicio y personal de calidad. Esto involucra las siguientes actividades:

1.- El seguimiento de todos los paquetes por sistema con la inspección visual de la calidad y seguridad de los equipos e instalaciones.

2.- Todas las actividades de construcción, correspondientes a los trabajos pendientes (punch list) a ser programados y concluidos para la terminación de los sistemas.

3.- Las instalaciones se garantizan con la verificación y pruebas pre-operacionales. Los formatos usados para tal fin pueden ser adecuados de acuerdo a los requerimientos específicos. A continuación se presenta una lista típica de estos formatos.

- Lista de verificación de equipo (check list).
- Reporte de pruebas de equipo (pruebas hidrostáticas).
- Reporte de prueba de equipo rotatorio.
- Registro de prueba de tuberías (pruebas hidrostáticas, neumáticas etc).
- Registro de inspección de válvulas de alivio.
- Registro de calibración de válvulas de seguridad, de válvulas de control.
- Registro de pruebas de lazos de control.
- Hoja de verificación de motores.
- Lista de verificación y entrega de tablero de control.
- Hoja de verificación de instrumentos.

Estos formatos entre otros son llenados por el contratista y verificados por la supervisión de obra. Todos los formatos llenos son concentrados en un archivo por sistema, como soporte de entrega al cliente.

**En el anexo B se muestran algunos ejemplos de formatos para listas de verificación y en el anexo E, ejemplos de formatos utilizados para la delimitación de sistemas, seguimiento al lavado, soplado, inertizado, pruebas de hermeticidad e hidrostáticas, reportes de prueba de equipo e instrumentos.*

6.4 LA INSPECCION DE LA PLANTA.³²

Esta actividad tiene como objetivo, comprobar que las instalaciones están totalmente terminadas y que durante su construcción se haya cumplido con todas las especificaciones del proyecto, por lo que es importante que todo el equipo y las tuberías sean minuciosamente verificados. Para tal propósito, el personal asignado debe auxiliarse con información tal como, hojas de datos, dibujos mecánicos, especificaciones, diagramas de proceso, unifilares, de control etc. De esta manera, los errores cometidos durante la construcción pueden ser encontrados y rectificadas en forma oportuna.

Se debe verificar también la aplicación de los cambios y modificaciones acordadas y que no existan faltantes de equipos, líneas instrumentación, etc. Para cada instalación, una lista de verificación (Check list) es elaborada.

6.4.1 LA LISTA DE VERIFICACION (CHECK LIST).

El Check List consiste en hacer una verificación de varios puntos para asegurar que la tubería y el equipo mecánico, eléctrico, instrumentación, etc. se han instalado de acuerdo al diseño de la planta. Una lista de chequeo es simplemente una fórmula para asegurarse que las inspecciones serán realizadas satisfactoriamente.

Una inspección adecuada de las instalaciones mediante el uso de listas de verificación nos permitirá:

- Verificar que la instalación se construyó como se diseñó.
- Asegurar que la instalación cumple con especificaciones.
- Asegurar una buena calidad de la mano de obra.
- Corregir errores de diseño.
- Corregir errores de campo.
- Encontrar y corregir errores del proveedor.
- Minimizar problemas en el arranque.
- Proporcionar operabilidad a largo plazo.
- Garantizar la integridad mecánica de la planta.
- Desarrollar un amplio conocimiento de la planta y el equipo.
- Ayudar a medir el progreso de construcción.

Aplicado correctamente, el check list complementa el trabajo del equipo de construcción.

A continuación se indican los puntos más importantes a considerar en las listas de verificación de algunos equipos:

RECIPIENTES / INTERCAMBIADORES DE CALOR

- ✓ Placas deflectoras internas: tipo, orientación, nivelación.
- ✓ Rompedores de Vórtice como lo establecen las especificaciones.
- ✓ Verificar la localización y orientación de boquillas para instrumentos.
- ✓ Inspección del interior de tubos para checar posible suciedad.
- ✓ Superficies de aletas de tubos en buenas condiciones sin desechos de construcción.
- ✓ Adecuada localización de válvulas de relevo, venteo y drenajes.
- ✓ Instrumentación fácilmente accesible.
- ✓ Drenajes conectados a un lugar seguro.
- ✓ Válvulas de relevo probadas y correctamente instaladas.
- ✓ Aislante provisto como se especificó.

COLUMNAS Y REACTORES

- ✓ Nivel de platos de la columna.
- ✓ Todos los internos colocados adecuadamente.
- ✓ Tipo y altura de empaques correctos.
- ✓ Todos los pernos y abrazaderas ajustados.
- ✓ Altura correcta de la cama de catalizadores.
- ✓ Tubería de alimentación o correcta dirección/ orientación del distribuidor.
- ✓ Correcto tipo y tamaño de rompedores de vórtice.
- ✓ Distribuidor de platos probado.

- ✓ Soporte de platos seguramente sujetos.
- ✓ Movimiento libre de válvulas de capucha y otros dispositivos de contacto.
- ✓ Instrumentación fácilmente accesible.
- ✓ Drenajes conectados a un lugar seguro.
- ✓ Válvulas de relevo probadas e instaladas correctamente.

TUBERÍA.

- ✓ Tipo correcto de empaques instalados.
- ✓ Aislamiento provisto como esta especificado.
- ✓ Trazo de vapor provisto como esta especificado.
- ✓ Válvulas check instaladas en la dirección correcta del flujo.
- ✓ Las pendientes provistas como indican los requerimientos.
- ✓ Requerimientos de no bolsas.
- ✓ Instrumentos de campo visibles.
- ✓ Válvulas a ser operadas accesibles en los niveles.
- ✓ Venteos y drenajes adecuadamente localizados.
- ✓ Aislamiento provisto dondequiera que sea requerido.
- ✓ Requerimientos de tubería para procedimientos especiales realizados correctamente.
- ✓ Bridas instaladas en la posición correcta.

BOMBAS.

- ✓ Reunir los requerimientos de NPSH.
- ✓ Medidor legible de la presión de descarga.
- ✓ Filtro de succión fácilmente removible para limpieza.
- ✓ By pass de flujo mínimo provisto si es requerido.
- ✓ Válvulas check instaladas en la dirección correcta.
- ✓ Venteo y drenaje adecuado en las bombas.
- ✓ Todos los drenes y venteos enviados a lugares seguros.
- ✓ Dampeners de pulsación provistos para bombas reciprocantes.
- ✓ Válvulas de relevo provistas para bombas reciprocantes.
- ✓ Válvulas de succión/descarga, tubería auxiliar y controles fácilmente accesibles y operables.
- ✓ Bombas y motores correctamente alineados.
- ✓ Agua de enfriamiento al sello mecánico (bombas centrífugas) provistas con indicadores de flujo visibles.
- ✓ Bombas reciprocantes calibradas.
- ✓ Alineación adecuadamente realizada.

ELECTRICO / INSTRUMENTACIÓN

- ✓ Correcta configuración del sistema de control.
- ✓ Instrumentos localizados correctamente.
- ✓ Instrumentos de flujo.
- ✓ Válvulas de control correctamente instalados.
- ✓ Rangos de medida y escalas correctas.
- ✓ Correcta longitud de sensores de temperatura.
- ✓ Placas de orificio instaladas en la dirección correcta y diámetro correcto de orificio.
- ✓ Sistemas de interlock checados.
- ✓ Sistemas de paro de emergencia checados.
- ✓ Analizadores calibrados.

- ✓ Suministro redundantes de energía y de emergencia checados.
- ✓ Aislamiento y tierra de líneas de energía checados.
- ✓ Dispositivos de switch, controles de motores, puntos de ajuste checados.
- ✓ Dirección de rotación de todos los motores eléctricos checados.
- ✓ Iluminación y sistemas de tierra checados.

**Algunos ejemplos de formatos de hojas de verificación para equipo "check list" se pueden observar en el anexo B.*

6.4.2 LA LISTA DE PENDIENTES (PUNCH LIST).

La lista de pendientes (Punch List)⁷ es una lista de todos los elementos del proyecto que se han encontrado con defectos y deben ser corregidos.

Esta lista debe incluir información: fecha, localización del defecto, descripción de la falla, fecha de corrección, y firma de verificación.

La lista de pendientes y de verificación³ de cada sistema, unidad, planta o instalación deben ser meticulosamente llevadas a cabo por personal experimentado.

Para preparar adecuadamente una lista de pendientes y de chequeo de la planta debe considerarse lo siguiente:

- A. La lista de pendientes debe ser preparada comparando lo que ha sido instalado en campo contra la última edición de los DTI's y el alcance contractual de cada una de las disciplinas.
- B. Durante la preparación de la lista de pendientes, los materiales del sistema son verificados para ver que estos concuerden con todas las especificaciones.
- C. Después⁷ de que el problema ha sido corregido, se notifica que el elemento esta listo para la reinspección.

Aunque es un paso necesario en el arranque, la lista de pendientes es desafortunadamente una tarea tediosa,³ en adición, el personal de construcción en esta etapa estará poco dispuesto a consumir tiempo rectificando problemas no cubiertos. El equipo de construcción, generalmente esta ansioso por moverse a la siguiente tarea de construcción. Por lo que una lista de pendientes más oportunamente formulada y aplicada es lo mejor para todos los interesados.

⁷ *Course of Instrument Society of America (1989)*

Ejemplo de formato para lista de pendientes de instrumentos.

LISTA DE PENDIENTES DE INSTRUMENTOS⁷

PROYECTO _____ PRODUCTO _____

ORIGINADOR _____ FECHA _____

AREA _____ CIRCUITO _____ SISTEMA _____

ELEMENTO NUMERO	DESCRIPCION	CORRECCIÓN TERMINADA	CORRECCION VERIFICADA.
1. _____	_____	_____	_____
2. _____	_____	_____	_____
3. _____	_____	_____	_____
4. _____	_____	_____	_____
5. _____	_____	_____	_____

OBSERVACIONES:

**En el anexo C se muestra un ejemplo de formato de Lista de Pendientes para tubería o equipo.*

6.5 EL PRECOMISIONAMIENTO.

Para asegurar que una planta tenga un buen arranque,³² es importante que la última fase de terminación mecánica y las actividades preparatorias para el comisionamiento se realicen completamente.

El precomisionamiento²³ es una fase que inicia durante las etapas finales de la construcción de una planta hasta el final de la aceptación mecánica.

El contratista durante este periodo se encargará de la revisión, y las pruebas para cerciorarse que el trabajo se ha realizado correctamente y que el equipo es operable. El personal debe encargarse de las siguientes acciones antes de la realización de pruebas:

- 1.- Verificar que todo el equipo ha sido fabricado correctamente e instalado de acuerdo a los dibujos de proveedor, planos y especificaciones.
- 2.- Familiarizarse con el layout de la planta, iniciando con el equipo, con la tubería, válvulas e instrumentación.
- 3.- Estudiar cuidadosamente las instrucciones del manual de operación junto con las instrucciones del proveedor del equipo y los procedimientos de operación detallados.
- 4.- Checar que la ingeniería de la planta es compatible con las instrucciones de operación y los procedimientos; por ejem. que sean provistos adecuadas válvulas, venteos, drenes etc.
- 5.- Asegurarse que la tubería esta correctamente instalada con respecto a: longitudes y ramificaciones; la dirección del flujo para válvulas y filtros; la accesibilidad de las válvulas y localización de drenes de instrumentos y puntos de muestreo.
- 6.- Estar enterados de los procedimientos de primeros auxilios, así como la localización y uso adecuado del equipo de seguridad.

Las actividades típicas del precomisionamiento incluyen:¹⁴

Asegurarse que no haya conexiones forzadas a equipos.

Alineación del equipo rotatorio.

Lubricación de equipos.

Verificación de instrumentos.

Revisión de lazos de instrumentos.

Revisión funcional de los dispositivos de control.

Revisión de la operación de los interruptores de nivel, de presión, de las válvulas solenoides, etc. para asegurar su acción correcta.

Verificar la continuidad eléctrica del cable.

²³HOPPER B. J. and SWAIN R.T. "Contractor problems during startup". Chemical Engineering Progress. Vol. 67, No. 12.

Limpieza y flushing de tuberías y recipientes.

Pruebas hidrostáticas.

Pruebas de funcionamiento de motores no acoplados (verificación de la rotación de motores).

Pruebas para la calibración de la instrumentación

Personal de Precomisionamiento.³²

El equipo encabezado por el coordinador de precomisionamiento, consiste de ingenieros de proceso, apoyados por ingenieros de instrumentación, eléctricos, mecánicos y de tuberías.

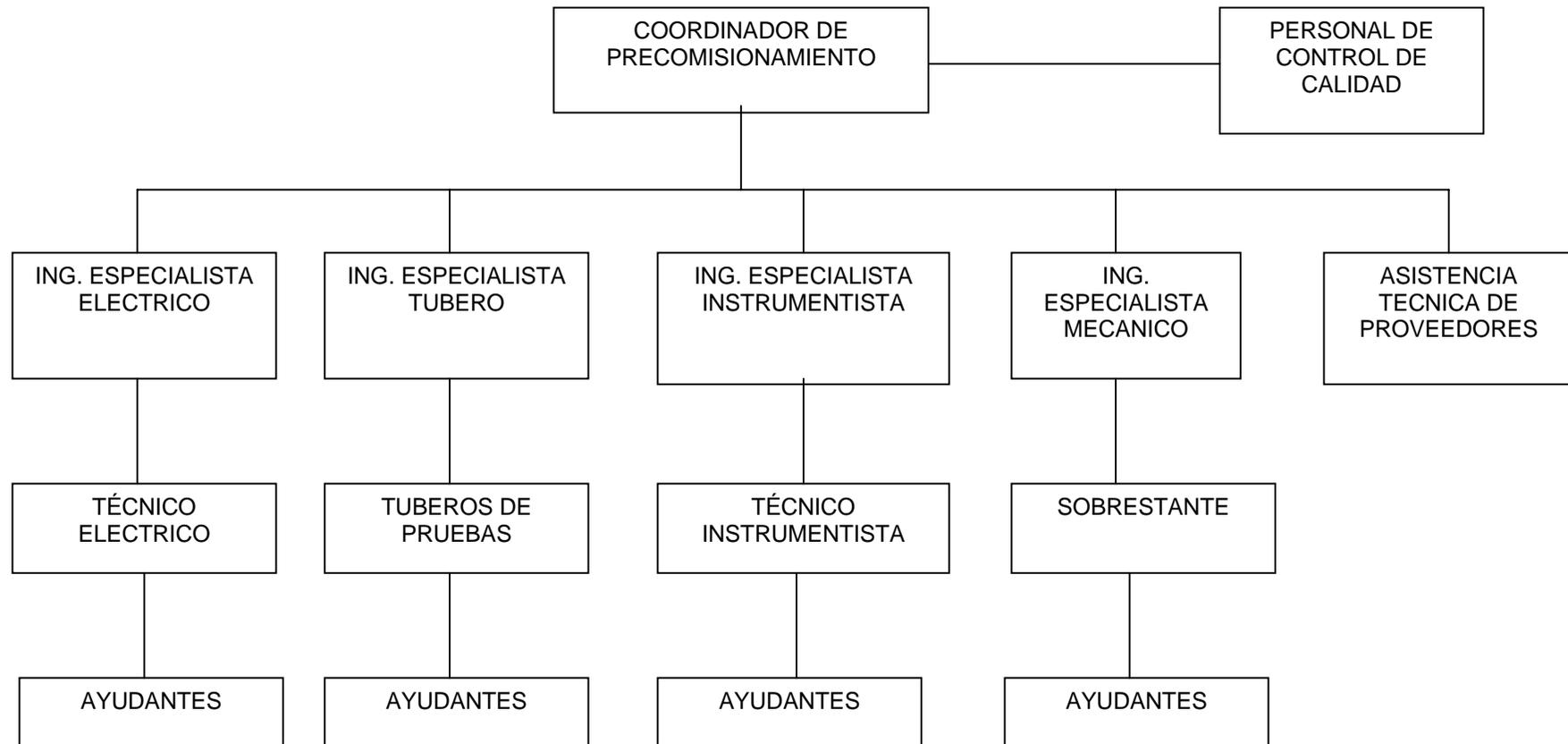
El número de ingenieros requeridos por cada disciplina es determinado por la escala y la complejidad de la planta. Los representantes de proveedores para paquetes, tales como refrigeración y compresión, SDMC y SG&F, etc. también forman parte del equipo y son llamados en el tiempo apropiado durante las pruebas de las respectivas unidades.

Además de la disponibilidad de una fuerza de trabajo especializado, con las herramientas necesarias y el equipo apropiado, también es muy importante considerar personal para las actividades temporales, tales como las de reemplazar las válvulas de control por piezas de carrete, preparación e instalación de líneas temporales, fabricar los accesorios adaptables para conectar las mangueras temporales y actividades similares.

El personal de precomisionamiento debe estar en contacto con el personal de construcción en una etapa temprana de instalación de tubería para establecer prioridades para la terminación mecánica. Idealmente, cuando las actividades de construcción han alcanzado cerca del 75% de terminación, el equipo de construcción debe ser reenfocado de acuerdo a las necesidades del equipo de precomisionamiento.

Una estructura típica para la organización del equipo de precomisionamiento es mostrada en el siguiente diagrama (Figura No. 4).

FIGURA No. 4. ORGANIGRAMA PARA LA FASE DE PRECOMISIONAMIENTO.



6.6 PREPARACIÓN DE LA PLANTA.

Una de las primeras tareas³³ antes de que cualquier trabajo comience es comprobar que todo el equipo de seguridad apropiado está instalado.

La siguiente tarea principal es preparar la planta para asegurar la operación segura y eficiente. Esto consiste generalmente en limpiar y probar pasando agua o aire a través de cada tubería, accesorio, etc.

El lavado y soplado son llevados a cabo en pequeñas secciones. Todo el progreso de preparación tiene que ser marcado cuidadosamente en el master de los diagramas de tuberías para asegurar que no falte nada.

Después de lavar o de soplar los sistemas, y de realizar el posterior secado, etc., generalmente la planta se prueba de fugas con aire comprimido para estar seguros que no hay ningún "orificio" en el sistema que pudiera conducir a la fuga de material inflamable, tóxico, corrosivo u otro material no deseable. Posteriormente sigue la prueba de presión purgando el aire con gas inerte, generalmente nitrógeno.

Después se probará la planta tanto como sea posible, minimizando los riesgos como sea posible. Por ejemplo, si es mecánicamente satisfactorio probar las bombas con agua. También probar secciones de la planta con materiales a las condiciones tan cercanas como sea posible a la operación.

6.6.1 LIMPIEZA DE LINEAS Y EQUIPO.

Las tuberías³² se deben limpiar para remover cualquier material extraño que pudo haberse dejado durante el período de construcción, también la herrumbre generada necesita ser eliminada, de otra forma los desechos de las tuberías sin limpiar pueden conducir a la contaminación, la obstrucción de la tubería o de las válvulas de control, mal funcionamiento del equipo o daño al equipo rotatorio.

Existen varios tipos de métodos de limpieza. Los comunes son la limpieza manual (mecánica), flushing, soplado con aire, la limpieza química, uno o una combinación de estos métodos se aplica, dependiendo de que tan crítico sea el proceso y los requerimientos del sitio.

A). Limpieza mecánica.

El equipo que esta muy sucio puede necesitar inicialmente una limpieza mecánica³² con un cepillo de alambre o un paño para asegurar que esté libre de las salpicaduras de soldadura, desechos de la construcción, barras de soldadura, etcétera.

Después de la limpieza mecánica inicial, la tubería y el equipo se deben sujetar a operaciones de lavados o soplados. Estos métodos utilizan la energía cinética de un fluido para desalojar materiales extraños, tales como arena, oxido y escoria de soldadura.

³³PEARSON L. "When it's time for startup". Hydrocarbon Processing.

B). Lavado.

Es necesario realizar un lavado completo de la planta⁴⁴ para eliminar polvo, suciedad, materiales y cualquier tipo de objetos que se encuentren dentro de las líneas y equipo.

Cada recipiente debe ser inspeccionado antes de la limpieza con chorro de agua;²⁰ y removidos todos los sedimentos sueltos, incrustaciones y desechos.

Antes del lavado es necesario abrir los venteos del domo de la torres y recipientes y desconectar todas las líneas de succión de las bombas,^{43,46} cubriendo sus boquillas de entrada y salida con piezas de lámina o juntas ciegas para evitar que entren a ellas materiales extraños.

El lavado se efectuará dividiendo las instalaciones en circuitos. Se introduce agua con presión suficiente por los puntos altos y se drena. Todos los equipos que sean susceptibles a esta actividad, deben limpiarse para eliminar los residuos de la construcción y otros materiales extraños. La velocidad²⁹ del flujo de lavado, deberá ser lo suficientemente elevado para asegurar que las líneas queden realmente limpias.

Para llevar a cabo el lavado, también pueden llenarse las columnas y recipientes con agua y lavar con ella las tuberías conectadas a tales equipos.^{43,46} Todas las tuberías que no puedan limpiarse por drenado de los recipientes deberán lavarse individualmente mediante mangueras.

Antes de efectuar el drenado, verificar que estén abiertos los venteos de recipientes y torres para evitar su colapso.

Consideraciones generales para efectuar el lavado de recipientes y líneas⁴³.

- Antes de realizar el lavado es recomendable efectuar una limpieza manual evitando taponamientos cuando se lave con agua.
- Desmontar las válvulas de control (para prevenir picaduras en los asientos de la válvula debido a la deposición de desechos en el asiento) o en su defecto, desembridar del lado de la tubería que se va a lavar, cubriendo su propia brida con una pieza de lámina.
- Cuando se haya comprobado que la tubería antes de la automática ya está limpia, conectar nuevamente la válvula y proseguir el lavado corriente abajo de ésta.
- Todos los elementos de medición¹⁴, placas de orificio, orificios de restricción y accesorios especiales que podrían ser bloqueados por desechos deberán retirarse de las tuberías.

²⁰GANS, Manfred. FITZGERALD, Francis A. and KIORPES, Stephen A. "Plant startup- step by step by step". Chemical Engineering. (Oct. 3,1983).

⁴³CASTAÑÓN Guardardo Enrique Abraham. "Tesis: Arranque de plataformas de compresión de gas". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1982.

⁴⁴FLORES Hinojosa Arturo. "Tesis: Arranque de plantas: Estudio del arranque de una planta de urea". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1984.

⁴⁶SERRANO Liceaga Jessica Beatriz. "Tesis: Arranque de un paquete de generación de ácido sulfuroso en una plataforma marina". UNAM FES Zaragoza. México D.F. Septiembre 2000.

- Todos los instrumentos deben ser aislados de las tuberías.
- Sustituir las coladeras especificadas⁴³ por coladeras de malla fina.
- Si es necesario, colocar soportes temporales, con el fin de evitar sobreesfuerzos en la tubería.
- Abrir completamente todas las válvulas de bloqueo¹⁴ de las líneas que van a ser flusheadas, excepto aquellas válvulas que aíslen equipos.
- Efectuar el lavado⁴³ de preferencia hacia los puntos bajos o en forma horizontal.
- Lavar inicialmente los cabezales principales, y después los subcabezales y líneas laterales.
- Las secciones¹⁴ corriente arriba de los intercambiadores de calor no deben ser sopladas o flusheadas a través de los intercambiadores. La tubería debe ser desconectada y las bridas de los intercambiadores cubiertas con hojas de metal. Después de flushear o soplar para limpiar de desechos, las líneas pueden ser reconectadas y el agua debe ser flusheada o el aire soplado a través del intercambiador para la siguiente sección. Esto prevendrá que los desechos bloqueen los tubos del intercambiador. Las líneas de by pass del intercambiador también deben ser flusheadas y sopladas.
- El equipo de acero inoxidable debe ser flusheado con agua libre de cloros. Esto previene que el equipo entre en contacto con cloros, los cuales pueden causar esfuerzos de rompimiento por corrosión.
- Después de haber efectuado el lavado⁴³ de las diferentes instalaciones, debe drenarse perfectamente el equipo.
- Retirar las coladeras de malla fina, colocando las especificadas.
- Reinstalar las placas de orificio, válvulas de control y demás aditamentos de tubería.
- Después²⁰ de que los tanques han sido limpiados y secados, un relleno de nitrógeno u otro fluido inerte debe ser aplicado.

Aquellas secciones tan grandes para flushear con agua (por ejemplo tuberías más grandes de 30" de diámetro), o aquellas que no deberían estar en contacto con agua porque mas tarde contendrán reactivos químicos (tales como un reactor o un sistema de regeneración de catalizador), deberán ser sopladas con aire o gas inerte.

Si las tuberías son limpiadas con aire, vapor o agua, las velocidades de flujo deben ser lo suficientemente altas para asegurar que las tuberías estarán apropiadamente limpiadas y que los desechos de una pieza de equipo no serán flusheados dentro de otro equipo. La velocidad del agua debe ser al menos 12 ft/seg, la velocidad del vapor o aire a un mínimo de 12,000 ft/min.

C). Soplado con aire.

El soplado³² con aire puede ser utilizado donde no se permite la presencia de agua.

Los reactores por ejemplo, son equipos donde el aire se usa de preferencia en lugar del flusheo con agua.

Para el equipo que no puede ser limpiado con agua, se presuriza cada pieza a cerca de 7.5 kg/cm² con aire de planta y se descarga a través del equipo corriente abajo a la atmósfera.

El soplado usando el suministro del aire de servicios o un compresor temporal, se puede realizar de las siguientes formas:

- En el método de acumulación de aire, una columna o recipiente asociado a la tubería se llena con aire comprimido. Entonces, la tubería en el extremo corriente abajo es soplada abriendo la válvula. Este procedimiento se utiliza comúnmente para el aire de instrumentos, aire de planta, nitrógeno y gas combustible.
- En el método de soplado directo, la tubería que se soplará con aire se conecta a la fuente del suministro de aire usando una tubería o una manguera temporal. El método se aplica a menudo en líneas químicas, de instrumentos y líneas de aire de planta.
- En tuberías de gran diámetro (8 pulg. o más), donde es difícil conseguir suficientes velocidades para el soplado de aire. Primero, un extremo de la tubería es cubierto por una película delgada de polímero. La presión se incrementa lentamente conectando el aire a través de una manguera o de una conexión temporal. Cuando la película estalla, la onda expansiva lleva la suciedad junto con ella. El procedimiento de soplado o explosión se repite hasta que las partículas extrañas no son visibles en la descarga. Si es necesario, el grueso de la película puede ser incrementado gradualmente para poder utilizar presiones más altas.

Se deben continuar¹⁴ los procedimientos de soplado para cada sección hasta que no sean desalojados más desechos. Después repetir el procedimiento en la siguiente sección de la planta.

Todos los accesorios y cubiertas de entrada hombre deben ser fijados seguramente durante el procedimiento de soplado, pequeños objetos en una corriente de aire de alta velocidad pueden herir severamente al personal y dañar al equipo. Donde sea necesario se debe instalar una tubería de venteo a un lugar seguro.

Si las válvulas de compuerta deben ser removidas, marcar la compuerta y el cuerpo de la válvula para prevenir el reemplazo por una compuerta incorrecta.

Después de soplar o flushear con agua cada sistema se debe revisar cuidadosamente para asegurar que:

- La tubería ha sido realineada adecuadamente.
- La tubería temporal desconectada.
- Las válvulas de control reinstaladas.
- Las placas de cubierta remplazadas y las placas de orificio instaladas.

Previo al cierre de las entradas, el interior de todos los recipientes debe ser finalmente inspeccionado para la correcta instalación de internos.

D). Limpieza química.³²

Por razones de proceso, ciertas unidades exigen la limpieza adicional más allá de solo el flushing o el soplado. La operación de limpieza se realiza generalmente mediante la circulación de soluciones apropiadas a través de la tubería y el equipo. Tal limpieza se subcontrata usualmente a especialistas. Como ejemplo, las líneas de succión de los compresores necesitan ser decapadas. El decapado de tuberías se realiza para quitar las incrustaciones de la tubería, el óxido, la escoria de soldadura, las salpicaduras y otra materia extraña, que podría dañar a los compresores.

Durante la limpieza química o decapado, se debe asegurar que todas las válvulas de control, placas de orificio y otra instrumentación sean removidos y substituidos por piezas de carrete.

El procedimiento de limpieza comienza con un lavado de agua fría durante el cual el sistema se llena de agua y se circula. Esto es seguido por un ciclo de desengrase usando sosa cáustica y solución detergente. En este ciclo, el aceite, grasa y lubricantes que son insolubles en ácido son removidos.

Después se realiza un lavado intermedio con agua desmineralizada. Entonces, el ácido cítrico y el inhibidor de corrosión se agregan al agua en circulación. La temperatura se eleva a 60°C, y el pH es mantenido en 3-3.5 agregando amoníaco, según lo requerido. Se continúa la circulación y la concentración de hierro es medida cada media hora. Cuando la concentración de hierro se estabiliza, se detiene la circulación. El sistema después se drena bajo una capa de nitrógeno.

Cuando se ha terminado este ciclo, el sistema se llena de agua desmineralizada y se circula. Se continúa el drenado y el relleno hasta que el pH es neutro y la concentración de hierro es menor de 100 ppm.

Esto es seguido por un enjuague con 0.2% de ácido cítrico a 60°C. Después de la estabilización de la concentración de hierro, se agrega el amoníaco al sistema hasta que el pH se eleva a 9.5. Después de esto, el nitrito de sodio (0.5-1.0%) se agrega a la solución que circula, y la circulación continua por 4-6 horas. Después el sistema se drena bajo una capa de N₂ y se seca.

Finalmente, la superficie químicamente limpiada debe ser examinada visualmente. Las superficies internas de las tuberías y el equipo deben ser uniformes y libres de depósitos. Después el sistema ya limpiado se debe presurizar con N₂ y mantener bajo N₂ hasta el arranque.

Durante la limpieza química se deberá tener cuidado para asegurar que las válvulas de control, placas de orificio, y otros instrumentos son removidos y reemplazados por piezas de spool.

6.6.2 PRUEBA HIDROSTÁTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS.

Previo a la ejecución de pruebas hidrostáticas en tuberías, recipientes y equipos, el contratista debe de entregar los expedientes de calidad de estos, conteniendo como mínimo la siguiente información:

- a) Dibujos As-built
- b) Radiografías (reportes y placas)
- c) Reportes y gráficas de relevado de esfuerzos (incluyendo medición de durezas).
- d) Reporte de medición de espesores de pared metálica.
- e) Reporte de líquidos Penetrantes.
- f) Dibujos de soportería.

La Prueba hidrostática. Es una prueba de presión en la cual el componente a probar se llena completamente con agua u otro líquido y se presiona durante un tiempo determinado.

Las pruebas hidrostáticas tienen como objetivo⁴⁶ comprobar la resistencia de los materiales y soldaduras, así como descubrir fugas entre bridas y conexiones. Algunas de los códigos específicos para llevar a cabo pruebas hidrostáticas de líneas y equipos son:

- ❖ Código ANSI B-31.1 pruebas de presión en tuberías para agua.
- ❖ Código ANSI B-31.2 pruebas de presión en tuberías para aire y gas.
- ❖ Código ASME Sección VIII División 1, y los ASTM para pruebas hidrostáticas en recipientes.

La prueba hidrostática se efectúa dividiendo la planta en circuitos⁴³ (entendiendo por circuito de prueba al conjunto de líneas y equipos que estén diseñados para trabajar a las mismas condiciones de operación, es decir de presión y temperatura).

Todos los elementos de un circuito que sean capaces de soportar la presión de prueba del equipo principal, deberán quedar sujetos a esta prueba. De la misma manera aquellos que no sean capaces de soportar la prueba, deberán aislarse.

Al final de la prueba⁴⁴ antes de vaciar toda el agua de los equipos se procederá a abrir un venteo en la parte superior para permitir la entrada de aire y prevenir la formación de vacío.

Presión de Prueba Hidrostática (Pph).⁴⁹ Es la presión a la que se somete un equipo o tubería internamente para efecto de prueba hidrostática.

A). Para equipos y tuberías nuevos, la Pph se debe determinar empleando la siguiente ecuación:

$$Pph = 1.5 * Pd * (Stp / Std)$$

Donde:

Pph = Presión de prueba hidrostática (lb/pulg²).

Pd = Presión de diseño (lb/pulg²).

Stp = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba (lb/pulg²).

Std = Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño (lb/pulg²).

Si la presión de prueba produce esfuerzos superiores al esfuerzo de cedencia (yield point) del material a la temperatura de prueba, la presión de prueba puede reducirse a la máxima presión a la cual no se exceda este valor.

En calentadores a fuego directo, la presión de prueba máxima no debe someter al componente a esfuerzos superiores al 90% de su esfuerzo de cedencia (yield point) a temperatura ambiente.

B). Para equipos y tuberías que han operado durante cualquier periodo de tiempo, la Pph se debe determinar empleando la siguiente ecuación:

$$Pph = 1.5 * Po * (Stp / Sto)$$

Donde:

Pph = Presión de prueba hidrostática (lb/pulg²).

Po = Presión de operación (lb/pulg²).

Stp = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba (lb/pulg²).

Sto = Esfuerzo permisible a la temperatura de operación (lb/pulg²).

Los valores de Std , Sto y Stp se obtienen de las tablas UCS-23, UNF-23.1, UNF-23.2, UNF-23.3, UNF-23.4, UNF-23.5, UHA-23 y UHT-23, del Código ASME, Secc. VIII, Div. 1 o, en el apéndice "A" del Código ASME B31.3.

Consideraciones para efectuar la prueba hidrostática.

- Antes de la prueba deben limpiarse todas las líneas y equipos⁴³ de los desechos lavando con agua o soplando con aire según sea lo apropiado.
- Todos los equipos bajo prueba de presión deberán tener abiertos los venteos⁴⁶ durante la etapa de llenado para desalojar el aire que puedan tener. Un sistema lleno con agua nunca deberá drenarse antes de abrir los venteos.
- Verificar que el fluido que se usará para realizar la prueba no vaya a dañar los materiales con los que está construido el equipo;⁴⁹ tal es el caso de los aceros inoxidables, en los que se debe usar agua libre de cloruros.
- En ningún caso la temperatura del líquido usado para la prueba, será inferior a 16°C ni mayor de 50 °C. Se deben tomar precauciones cuando la temperatura ambiente sea inferior a 0 °C por lo que respecta al congelamiento del agua.
- Para los sistemas de agua de mar, agua potable y aire de instrumentos,^{43,46} las pruebas pueden efectuarse con los fluidos de trabajo normales.
- Verificar que el equipo⁴⁹ este totalmente aislado con juntas ciegas; el espesor de las mismas debe ser calculado para que resistan la presión de prueba sin deformarse.

- Todas las conexiones que no deban ser probadas, se deben desconectar o aislar, así como también las válvulas de seguridad en caso de contar con ellas.
- Las válvulas de relevo y discos de ruptura deberán retirarse o aislarse⁴³ antes de la prueba.
- Asimismo deben removerse los internos de los tanques que no fueron diseñados para la prueba de presión.
- Deben bloquearse los manómetros en donde la presión de prueba sea superior a su rango.
- Se deben colocar juntas ciegas en donde existan válvulas de seguridad, las cuales se deberán revisar y calibrar antes de reinstalarlas.
- Es importante llevar un registro o control de las juntas ciegas que se coloquen, para poder controlar su remoción al finalizar las pruebas, esto con el fin de evitar sobrepresión en caso de que se olvide quitar alguna de ellas.
- Previamente a la prueba hidrostática,⁴⁹ se debe hacer una prueba de hermeticidad preliminar, a la presión normal de operación, con el objetivo de detectar y corregir fugas antes de levantar la presión hasta el valor de prueba establecido.
- Se debe eliminar todo el aire venteando por los puntos más altos e incrementar la presión lentamente, nunca en forma súbita.
- El llenado con agua se debe realizar a regímenes de flujo que impidan daños a los internos de los equipos a probar, en el caso de que cuenten con ellos.
- Llenar completamente con agua el circuito o sistema a probar.
- Para indicación de la presión se debe colocar un manómetro recién calibrado y con el rango adecuado.
- Una vez lleno el sistema y sin bolsas de aire incrementar la presión hasta el valor de presión de prueba.
- Para recipientes, la presión de prueba será la especificada por el fabricante.⁴³ Para tuberías la mínima presión de prueba deberá ser 1.5 veces la presión de diseño.
- La presión debe sostenerse el tiempo necesario⁴⁹ para realizar la inspección del equipo.
- Una vez realizadas las pruebas se deberá asegurar un venteo apropiado cuando se drene un sistema lleno de agua. Un venteo inadecuado provocará condiciones de vacío con el probable colapso de tanques, que no estén diseñados para resistir vacío. Muchos tanques han sido colapsados debido a que no se abrieron los venteos cuando se estaban vaciando.
- Todos los puntos bajos se deben verificar²⁰ para saber si hay presencia de agua. Las líneas se deben secar completamente soplando aire caliente, gas inerte seco o aire de

instrumentos a través de ellos, después presurizar levemente con gas seco para reducir cualquier corrosión que pueda tomar lugar antes de que inicie el arranque.

- Las pruebas hidrostáticas realizadas a recipientes o tuberías nuevos⁴⁹ deben ser certificadas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.
- Para dar formalidad y validez a estas pruebas, deberán quedar los registros firmados por los responsables de Inspección y Seguridad, Operación y Mantenimiento.

**Para el procedimiento detallado de pruebas hidrostáticas ver Anexo D.*

6.6.3 PRUEBA NEUMÁTICA DE EQUIPOS Y SISTEMAS.⁴³

Cuando la prueba hidrostática no puede llevarse a cabo por impracticable o porque los recipientes no pueden llenarse en forma segura, puede realizarse una prueba neumática.

Cualquier prueba neumática, debe incluir primero una prueba preliminar a no más de 1.75 kg/cm² man. para localizar fugas. Luego la presión se incrementará gradualmente.

La presión de prueba neumática deberá ser 1.25 veces la presión máxima de trabajo indicada en la placa del recipiente.

**Ver Anexo D para el procedimiento de prueba Neumática.*

6.6.4 SECADO DE LOS SISTEMAS DE PROCESO.³²

El equipo y la tubería de la planta pueden retener agua residual de la prueba hidráulica, o humedad si el soplado es realizado con aire no seco. En cualquier caso, la humedad necesita ser eliminada, especialmente con los sistemas donde su presencia podría causar problemas.

Como ejemplos típicos se incluyen los sistemas de refrigeración, y las tuberías de acero al carbón que manejen cloro seco; más allá de cierta humedad, el Cl₂ es agresivo al acero al carbón, y la corrosión llega a ser rápida o tener una vaporización súbita, debido al calentamiento de los sistemas durante la etapa de arranque de la unidad. Por lo tanto la planta se debe dividir en secciones y debe ser secada usando aire de instrumentos o N₂.

⁴⁹DG-GPASI-IT-0400. Procedimiento para efectuar las pruebas hidrostáticas a tuberías y equipos de las instalaciones dependientes de PEMEX Refinación.

6.6.5 PRUEBA DE HERMETICIDAD.

Muchas unidades de proceso manejan combustibles o sustancias tóxicas (o ambas), la fuga de los cuales podría dar lugar a desastres, daños, o pérdidas económicas³². Para prevenir la ocurrencia de tales incidentes, es necesario confirmar que la planta cumple con la hermeticidad requerida antes del arranque.

La finalidad de esta prueba es la de verificar el apriete adecuado de todas las bridas que no estuvieron sujetas a la prueba hidrostática,^{43,46} en virtud de haber servido como elementos iniciales o finales de un circuito de prueba determinado.

Se deben comprobar también las conexiones de manómetros e indicadores de presión diferencial que fueron bloqueadas durante las pruebas y las bridas de asiento de las válvulas de seguridad.

El procedimiento que generalmente se utiliza para detectar fugas^{43,46}, es el de emplear cinta adhesiva que se coloca alrededor de las bridas, practicando a continuación un pequeño orificio en la parte superior de la cinta. La aplicación de jabonadura en la perforación, permitirá observar la existencia de fugas a través del empaque de las bridas.

La prueba de hermeticidad también se puede realizar de la siguiente manera:³²

Prueba de burbuja de aire o nitrógeno: En este método, el sistema se aísla y se presuriza con aire o N₂ a la presión de prueba, típicamente la presión de operación del componente. Las posibles fugas a través de las bridas, las conexiones roscadas y las válvulas se comprueban con una solución jabonosa.

Se recomienda verificar que las pérdidas de presión en las secciones en que se maneja gas, no exceda de 0.2 kg/cm² durante un periodo de 6 horas.

6.6.6 INSPECCION Y COMPROBACIÓN DE EQUIPO ELECTRICO.

Con la finalidad de comprobar⁴³ que todos los sistemas eléctricos de la instalación se encuentren terminados y en condiciones de operar, se realiza la inspección de transformadores, motores, arrancadores y sistemas de control, debiendo efectuarse esta inspección por personal especializado.

Se debe efectuar la inspección⁴⁶ de todo equipo eléctrico con las especificaciones, dibujos, códigos y requerimientos de fabricación y montaje en particular para asegurar de manera satisfactoria el buen funcionamiento del equipo. Hasta donde sea posible las pruebas e inspección deben realizarse inmediatamente antes de que el equipo sea energizado.

En términos generales, debe efectuarse lo siguiente.

- Antes de que cualquier corriente sea admitida a los servicios, todos los cables a tierra deben ser revisados completamente para su adecuada conexión.
- Todos los conductores de fuerza desde el interruptor del centro de control de motores (CCM) hasta el equipo, deben estar completamente instalados y probados.
- Las interconexiones de los conductores de control e instrumentos entre cajas de conexión y fuentes de suministro, deben probarse para su continuidad y operación.
- Todos los conductores deben ser probados para medir su nivel de aislamiento.
- Los circuitos deben ser revisados para verificar su continuidad.
- Se debe verificar el aislamiento.
- Los motores deben ser lubricados con el aditivo recomendado por el fabricante.
- Todos los motores sujetos a prueba, deberán estar desacoplados del equipo con el fin de verificar la dirección correcta de rotación con respecto al impulsor.
- Revisar los relevadores y la continuidad del sistema de protección y control.
- Probar el arrancador y el circuito de control.

Proceder a una inspección final de los transformadores, interruptores, motores, arrancadores y sistemas de control de la planta, verificando que todos sus elementos se encuentren en condiciones de operar satisfactoriamente de acuerdo a los requerimientos específicos de cada uno de ellos.

Tipos de pruebas:

A) Subestación

- 1.- Prueba de aislamiento al bus.
- 2.- Revisión de conexiones de barras.
- 3.- Revisión de alambrado.
- 4.- Revisión de pruebas de interruptores.
- 5.- Revisión de elementos térmicos.
- 6.- Prueba de control de motores.
- 7.- Revisión y prueba de relevadores.

B) Transformadores.⁴³

- 1.- Prueba de tensión del transformador.
- 2.- Determinación del factor de potencia.
- 3.- Prueba de tensión interface.
- 4.- Prueba de aislamiento en los devanados de alta y baja tensión.

C) Motores

- 1.- Prueba de aislamiento en el devanado.
- 2.- Revisión de la conexión del motor de acuerdo con la tensión de trabajo.
- 3.- Prueba de vacío del motor para checar calentamiento, vibración, rotación etc.

E) Control.

- 1.- Prueba de sistemas de control de unidades paquete.
- 2.- Prueba de válvulas operadas eléctricamente.
- 3.- Comprobación de circuitos eléctricos de alarmas y disparos.
- 4.- Pruebas de lazos de control.

6.6.7 INSPECCION Y COMPROBACIÓN DE CIRCUITOS DE CONTROL E INSTRUMENTOS.

Un circuito de control⁴³ comprende todos aquellos elementos que están involucrados para el control de una variable, ya sea ésta de flujo, presión, temperatura, etc. Si bien la instrumentación ha sido calibrada por el fabricante, es necesario que el personal verifique su ajuste, para lo cual, cada circuito de control se simulará.

Antes del arranque de la unidad, es necesaria una revisión final de todos los circuitos de control. Todos los elementos de un circuito de control deben ser calibrados; las alarmas y disparos del sistema de protección (interlock) ajustados, así como todos los elementos restantes del circuito, para estar seguros de su correcto funcionamiento.

La revisión final de instrumentos y circuitos implica:

- 1.- Verificar que⁴⁶ toda la instrumentación este completa.
- 2.- Verificar que la instalación de los instrumentos se haya efectuado de acuerdo a los típicos de instalación, dibujos y requerimientos del fabricante.
- 3.- Que las conexiones al proceso estén completas. Esto incluye termopares, placas de orificio, líneas de instrumentos, etc.
- 4.- Que todos los elementos estén calibrados y probados para una adecuada función incluso aunque fueron calibrados por el fabricante.
- 5.- Revisar que toda la tubería de aire de instrumentos se encuentre completa.
- 6.- Comprobar⁴³ que no existan fugas de aire en los instrumentos, en el controlador, en la válvula de control o en las conexiones de tuberías.
- 7.- Que todos los lazos de control hayan sido debidamente configurados en el sistema de control distribuido
- 8.- Que todos los gráficos de proceso y asociados a estos, contengan toda la información requerida.
- 9.- Que todos los dispositivos de alarmas y disparos estén ajustados a los valores requeridos para lograr una adecuada protección a equipos y sistemas.
- 10.- Verificar⁴⁶ que todo el alambrado de control esté completo y comprobar su continuidad y aislamiento.
- 11.- Verificar la continuidad de los circuitos de control, del cuarto de control al campo y viceversa.
- 12.- Que todos los instrumentos y controles configurados tengan los rangos apropiados y estén activados.
- 13.- Que todas los instrumentos estén instaladas y con los rangos apropiados.

- | | |
|--|--------------------------|
| 14.- Verificar ⁴³ que la acción del control (directa o inversa) sea la especificada. | <input type="checkbox"/> |
| 15.- Energizar ⁴⁶ las válvulas solenoides para comprobar su operación correcta. | <input type="checkbox"/> |
| 16.-Elaboración de un registro que muestre el número del instrumento, su calibración, fecha, así como su control. | <input type="checkbox"/> |
| 17.- Todas las válvulas deben ser revisadas para asegurar que el vástago no esté inclinado o restringido para su rango de recorrido. | <input type="checkbox"/> |
| 18.- Verificar movimientos ⁴³ , tales como válvulas por su controlador y los controladores por sus elementos sensores. | <input type="checkbox"/> |
| 19.- Todas las válvulas ⁴³ de relevo de presión deben probarse y ajustarse dentro de un periodo menor de 30 días antes de la operación. | <input type="checkbox"/> |
| 20.- Verificar la apropiada instalación, calibración y cierre de válvulas de seguridad. | <input type="checkbox"/> |
| 21.- Verificar que todas las demás válvulas cierren correctamente. | <input type="checkbox"/> |
| 22.- Verificar la operación de las alarmas, sistemas de bloqueo y dispositivos de seguridad. | <input type="checkbox"/> |

La calibración de los instrumentos se deberá realizar bajo las recomendaciones indicadas en el manual del instrumento, para efecto y aplicación de garantía por el fabricante o proveedor.

Todas las válvulas de control deben ser revisadas para asegurarse que:⁴⁶

- a. Se encuentran instaladas en la línea correctamente con respecto a la dirección del flujo y se puedan operar fácilmente.
- b. Que la acción de la válvula a falla de aire sea la correcta.
- c. Que el interruptor de límite haya logrado el cierre o apertura adecuada, con respecto a la acción de la válvula.
- d. El golpe de cierre o apertura de la válvula sea suave, y el empaque sea el adecuado.
- e. Comprobar que su posicionador sea el adecuado y correctamente calibrado en su rango de operación.
- f. Que la válvula responda correctamente de acuerdo a la señal de control.
- g. Revisar la continuidad de la señal de control y observar la acción de la válvula automática.
- h. Que los ajustes de todos los modos de control (banda proporcional, reajuste y relación); se encuentren en sus valores adecuados.

**En el Anexo E se muestran ejemplos de formatos de registro de calibración de instrumentos.*

6.6.8 PRECOMISIONAMIENTO DE EQUIPO MECÁNICO.²⁰

Las siguientes son guías para precomisionar equipo mecánico.

- | | |
|--|--------------------------|
| 1.- Limpiar el sistema de lubricación. | <input type="checkbox"/> |
| 2.- Verificar la circulación de lubricante (flujo, temperatura). | <input type="checkbox"/> |
| 3.- Limpieza y revisión del sistema de agua de enfriamiento. | <input type="checkbox"/> |
| 4.- Verificar y precomisionar los instrumentos. | <input type="checkbox"/> |
| 5.- Verificar la libre rotación. | <input type="checkbox"/> |
| 6.- Verificar el anclaje de pernos. | <input type="checkbox"/> |
| 7.- Verificar los esfuerzos en conexiones de tubería. | <input type="checkbox"/> |
| 8.- Instalar filtros temporales en la succión. | <input type="checkbox"/> |
| 9.- Operar el sistema sin carga. | <input type="checkbox"/> |
| 10.- Operar el motor desacoplado. | <input type="checkbox"/> |
| 11.- Acoplar el motor y checar la alineación. | <input type="checkbox"/> |
| 12.- Verificar los sistemas de venteo. | <input type="checkbox"/> |
| 13.- Verificar los sistemas de sello. | <input type="checkbox"/> |
| 14.- Operar el equipo, checando vibración y sobrecalentamiento de baleros. | <input type="checkbox"/> |
| 15.- Operar con carga. | <input type="checkbox"/> |
| 16.- Hacer la corrida del comportamiento y de paro del equipo. | <input type="checkbox"/> |

6.6.9 EQUIPO ROTATORIO³²

Antes de que los motores se acoplen a sus respectivos conductores, estos usualmente se ponen a funcionar de tres a cuatro horas bajo la supervisión de un especialista eléctrico para verificar la maquinaria. Los siguientes chequeos se realizan durante la corrida mecánica:

- Dirección de rotación.
- Temperatura de la chumacera.
- Vibración.
- Otras lecturas necesarias de los medidores.

A). BOMBAS

Cuando en la planta hay bombas muy costosas, o se tiene un gran número de bombas del mismo fabricante, será conveniente solicitar la asistencia de un representante de servicio⁴².

También, es necesario asegurar que el personal de mantenimiento de la planta se familiarice totalmente con las instrucciones de operación del fabricante, poniendo particular atención en lo referente a coples, alineación, lubricación y sellos mecánicos.

Antes del arranque de una unidad, todas las bombas centrífugas se deben verificar a fondo¹⁴. Toda la tubería del agua de enfriamiento debe ser correctamente instalada a los prensaestopas y chumaceras, inspeccionar el sello de las conexiones de agua, asegurar que la tubería del aceite lubricante para cojinetes este correctamente instalada. Verificar que cada chumacera tenga suficiente grasa o aceite para su operación y que el tipo usado es el especificado por el fabricante e instalar filtros temporales del tamaño correcto. Toda la instrumentación necesaria para operar el equipo debe ser revisada antes de iniciar.

Las bombas deben ser revisadas por personal experimentado del proveedor. Se debe asegurar que las bombas sean arrancadas de acuerdo con las instrucciones de operación del fabricante.

Se debe estar consciente que muchas bombas no están diseñadas para bombear agua³², hacerlo así puede resultar en un daño a la bomba, al motor, o a ambos. Las especificaciones del vendedor deben verificarse antes de intentar poner a funcionar las bombas con agua.

Generalmente, la primera corrida de bombas se hace manejando agua con ellas⁴⁶. Durante esta etapa, los filtros instalados en la succión pueden causar restricción del flujo debido a todos los materiales extraños que se retienen en ellas. En este caso se debe limitar el flujo de las bombas centrífugas estrangulando la descarga de las mismas, pero no en forma exagerada, para evitar que una recirculación interna excesiva genere demasiado calor que pueda dañar las bombas. Verificar que el accionador de la bomba esté dimensionado para el fluido de operación; al bombear agua los motores generalmente se sobrecargan. Para evitar esta situación, el flujo por la bomba debe restringirse por estrangulamiento de la válvula de descarga.

Bombas centrífugas.¹⁴

La siguiente es una guía general para poner a funcionar una bomba centrífuga.

- 1.- Seguir las instrucciones del proveedor para cada bomba en particular. El procedimiento frecuente es abrir la válvula de succión y cerrar las válvulas de descarga, después abrir la válvula de descarga.
- 2.- Sangrar la bomba hasta llenar de líquido. Nunca operar una bomba centrífuga seca.
- 3.- Abrir el agua de enfriamiento al cojinete de la bomba y prensaestopas. En bombas con sellos mecánicos, asegurarse que las líneas de enfriamiento estén abiertas.
- 4.- Iniciar la bomba a baja capacidad (cerca del 25% del rango de diseño) estrangulando la válvula de descarga.
- 5.- Si la presión de descarga y el amperaje del motor son satisfactorios, abrir lentamente la válvula de descarga para dar el flujo deseado.
- 6.- Checar la bomba y los cojinetes del motor para encontrar señales de vibración excesiva o sobrecalentamiento.
- 7.- Checar fugas en el casquillo del prensaestopas.
- 8.- Verificar los requerimientos de energía del motor de la bomba, y verificar el desempeño de la bomba contra las especificaciones.
- 9.- Hacer funcionar la bomba por una hora y después apagarla para verificar los sellos y la alineación. En el paro, la válvula de descarga se cierra primero, la bomba para y la válvula de succión se cierra.
- 10.- Filtros temporales deben permanecer en todas las líneas de succión de las bombas durante todo el inicio del arranque, o por al menos un mes, ya que la operación podría desechar materia extraña que no fue eliminada durante las etapas de preparación y prueba.
- 11.- Si cualquier filtro temporal interfiere con la operación normal, este puede ser removido después de que se muestre limpio en dos inspecciones consecutivas.
- 12.- Los medidores de presión de la bomba deben ser mantenidos con precisión, en buen estado. (En muchos casos, el medidor es la única indicación de que la bomba esta operando correctamente).

Las Bombas de desplazamiento positivo. No deben arrancar con una válvula de descarga cerrada. El exceso de presión, que puede resultar de una válvula de descarga cerrada o apretada, podría dañar a la bomba.

B. COMPRESORES

Muchas precauciones se deben tomar cuando los compresores están funcionando por primera vez¹⁴. Cualquier descuido o carencia de conocimiento pueden causar serios daños, siendo equipos más delicados se recomienda seguir estrictamente las instrucciones del fabricante.

Antes de tratar de arrancar los compresores, cada operador debe estudiar todas las secciones del manual de instrucciones del fabricante para aprender tanto como sea posible acerca de los detalles mecánicos y para entender los sistemas de lubricación y enfriamiento y todos los instrumentos de control. Después de que cada operador se empieza a familiarizar con los compresores arrancando y parando varias veces, y ha alcanzado algo de experiencia, las rutinas de operación le serán sencillas.

Los operadores deben estar seguros que las líneas de succión han sido completamente limpiadas antes de usar los compresores. Nunca se debe iniciar los compresores con dispositivos de paro inoperantes.

Las pruebas del funcionamiento^{16,29} o demostraciones de las piezas del equipo mayor, tales como hornos, compresores y bombas, deben ser efectuadas por los representantes de los fabricantes, en presencia de los especialistas de mantenimiento, de manera que ellos se familiaricen con el equipo y confirmen lo adecuado de las pruebas.

El contratista es responsable de garantizar las instalaciones con la verificación y las pruebas pre-operacionales. Los formatos usados para tal fin son elaborados y aprobados durante las etapas previas del proyecto.

Estos formatos son llenados por el contratista y verificados por la supervisión de obra. Todos los formatos llenos son concentrados en un archivo, por sistemas como soporte de la entrega al cliente.

**En los anexos B, y E, se presentan ejemplos típicos de los formatos de registro para la verificación y prueba del equipo rotatorio.*

¹⁶FINLAYSON, Kenneth and GANS, Manfred. "Planning the successful startup". Chemical Engineering Progress. Vol.63, No. 12.

6.6.10 INSPECCION DE LA PLANTA ANTES DEL COMISIONAMIENTO.⁴⁴

Para realizar la inspección se pueden seguir los siguientes pasos:

- 1.- Todas las piezas internas de los equipos que hayan sido removidas durante el lavado deberán ser instaladas de nuevo en su posición correcta.
- 2.- Verificar que todos los instrumentos se encuentran instalados y listos para operar y lo mismo se deberá realizar para venteos, tomas de muestras y drenes.
- 3.- Verificar que hayan sido removidas todas las bridas ciegas que se instalaron para la operación de lavado. Hacer una lista de los ciegos que no hayan sido removidos para llevar un control de ellos y no caer en la posibilidad de que llegado el momento de arrancar la planta, se presenten problemas debido a ellos.
- 4.- Verificar que todo el equipo contraincendio, tal como extinguidores, hidrantes, mangueras, detectores de fuego, alarmas hayan sido instalados adecuadamente.

6.7 LA TERMINACIÓN MECÁNICA.

Para que cualquier unidad se programe para su Preparación, Arranque y Pruebas de Comportamiento, se debe cumplir con la "Terminación Mecánica", la cual incluye la ejecución, de las siguientes actividades:

- ✓ Todos los trabajos de corte, soldadura, montaje, relevado de esfuerzos (donde aplique), protección anticorrosiva, pintura y aislamiento térmico de las tuberías, así como el tendido de líneas de agua de contraincendio sobre mochetas, en trincheras, y protección mecánica de tuberías enterradas.
- ✓ Todos los trabajos de corte, soldadura y montaje de estructuras, plataformas, soportes y escaleras.
- ✓ Alineación y paralelismo de bridas entre tuberías y de tuberías a equipos.
- ✓ Montaje, alineación, nivelación, revisión, protección anticorrosiva, pintura y aislamiento térmico de equipos estáticos y dinámicos.
- ✓ Montaje, alineación, nivelación, revisión de hornos, calentadores y calderas.
- ✓ Montaje, soldadura, protecciones anticorrosivas, pruebas de los sistemas de protección y seguridad y pintura de tanques cilíndricos verticales y horizontales.
- ✓ Las líneas de proceso o de servicios auxiliares que requieran soportes, contrapesos o abrazaderas, deberán estar completas.
- ✓ Todas y cada una de las cajas de conexiones, cajas de paso, tableros eléctricos, etc., deben contar con todos los herrajes y tornillería completos.
- ✓ Todas las interconexiones de drenaje pluvial, aceitoso, químico y sanitario.

- ✓ Pintura en edificios, bases de equipos dinámicos y estáticos; protección contra fuego en estructuras, faldones de recipientes y torres; terminación de todos los trabajos de obra civil requeridos para la operación de los equipos.
- ✓ Rotulado de identificación de todos los equipos eléctricos (tableros de distribución centros de control de motores, transformadores, cargadores, bancos de baterías, arrancadores, interruptores de potencia, etc.).
- ✓ Rotulado de la identificación de todos los circuitos de tubería, instrumentos de campo (incluyendo elementos primarios, transmisores, cajas de conexiones, sistemas de protección, válvulas, etc.), equipos estáticos, dinámicos y de aire acondicionado, edificios.
- ✓ Todos los cables deben estar identificados y etiquetados.
- ✓ Todos los trabajos de obra eléctrica, instrumentación y control.
- ✓ Prueba y montaje de todas las válvulas (manuales, automáticas, de seguridad, etc.) de acuerdo a especificaciones técnicas, normas, estándares y códigos aplicables.
- ✓ Probar todos los instrumentos y verificación de la funcionalidad de los lazos de control integrados: Al Sistema de Control Distribuido, al Sistema de Alarma y Paro, al sistema de fuego y gas, y las correspondientes hasta el Cuarto de Control.
- ✓ Pruebas de continuidad de circuito y del cableado de tierra de los instrumentos hasta los gabinetes del Sistema de Control Distribuido, verificando que no existan circuitos cruzados, y las correspondientes de este sistema hasta el cuarto de control.
- ✓ Realizar las pruebas a equipos eléctricos de acuerdo con especificaciones y procedimientos de prueba recomendados por los fabricantes.
- ✓ Verificación de las curvas características y calibración de todas las protecciones del equipo electrónico y eléctrico.
- ✓ Interconexiones eléctricas y energización de las nuevas instalaciones eléctricas.
- ✓ Todas las pruebas de funcionalidad eléctrica y mecánica de tableros de distribución y control.
- ✓ Todas las pruebas de cargadores y bancos de baterías, sistemas de energía ininterrumpible, transformadores, así como de los sistemas de intercomunicación y voiceo.
- ✓ Revisión y aprobación de las instalaciones eléctricas.
- ✓ Pruebas de los Sistemas de Seguridad en planta, cuartos de control, cuarto eléctrico.
- ✓ Prueba del sistema de protección con agua de contraincendio.
- ✓ Limpieza mecánica, instalación de internos, empaque y cierre hermético de todo el equipo estático con las recomendaciones del fabricante.

- ✓ Limpieza de líneas y equipos por medio de lavado, soplado o cualquier otro método químico y/o especial, inertizando el equipo o línea que por especificación lo requiera, aislando o retirando los instrumentos de control, medición y protección que sean necesarios para evitar daños físicos o mecánicos así como evitar descalibraciones o taponamientos.
- ✓ Verificar que todos los equipos dinámicos y estáticos (donde proceda), tengan instalado el arreglo para filtro temporal y/o definitivo y que al término de la limpieza se instalen: los filtros, instrumentos de control, medición y protección y empaques definitivos.
- ✓ Pruebas hidrostáticas y neumáticas de tuberías, recipientes y equipos de acuerdo a normas de referencia, así como inspección y prueba de internos.
- ✓ Instalación de las placas de orificio requeridas después de que las líneas han sido probadas, lavadas y sopladas.
- ✓ Pruebas de equipos mecánicos (bombas, compresores, turbinas, etc.), verificando:
 - a) Funcionamiento correcto con los instrumentos, y niveles de vibración y lubricación apropiados.
 - b) Comportamiento mecánico llevando registro de variables eléctricas, mecánicas y físicas.
 - c) Pruebas de equipos, de acuerdo con los sistemas de protección y paro que posean cada uno de los equipos.
- ✓ Entrega de toda la documentación correspondiente a las pruebas en fábrica de los equipos mecánicos, eléctricos e instrumentación.

Al término de las actividades de construcción y montaje de la planta, el contratista debe generar un aviso de "Terminación Mecánica" al cliente.

6.8 COMISIONAMIENTO.¹⁴

Durante el comisionamiento, los operadores toman las instalaciones de la planta de un estado de terminación mecánica a uno de operabilidad deseada, asegurando que varios componentes de equipos y sistemas trabajarán en conjunto satisfactoriamente. Después de verificar que la terminación mecánica y el precomisionamiento han sido terminados, el grupo de comisionamiento identifica y rectifica áreas que requieren acciones correctivas, y verifica que los problemas se hayan solucionado.

El grupo de comisionamiento verifica los sistemas y los carga con consumibles y lubricantes. El equipo debe estar en una interfase adecuada con los sistemas eléctricos, instrumentación y control de la planta.

El grupo monitorea y registra el funcionamiento y desempeño del equipo durante su operación inicial y los problemas son rectificadas, conforme se requiera.

El comisionamiento involucra la integración de varios componentes, equipos y sistemas de la planta, los grupos de comisionamiento, construcción y precomisionamiento todos deben llegar a un consenso con respecto a sus procedimientos y responsabilidades particulares. El involucramiento de los operadores durante este periodo ayudará a asegurar que la planta cumpla sus requerimientos.

El grupo de comisionamiento debe ser enviado a sitio después de que se ha llevado a cabo lo siguiente:

- La construcción y el precomisionamiento están terminados.
- Se ha creado un manual de comisionamiento.
- Los dibujos de As-built están disponibles.
- Los procedimientos de seguridad están establecidos.
- Los manuales del equipo han sido distribuidos.
- La inducción y el entrenamiento están completos.

6.9 PRUEBAS DINAMICAS (CON FLUIDOS SEGUROS).

Es esencial que las operaciones sean simuladas usando fluidos seguros,²⁰ porque incluso las inspecciones más rigurosas durante la construcción no revelarán totalmente la calidad y lo completo de la construcción, y la operabilidad de una unidad completa no se puede juzgar solamente con las pruebas de sus componentes.

Esta prueba dinámica^{16,20} de circuito cerrado se realiza con líquidos seguros tales como aire, agua y gas inerte. Esta prueba de flujo proporciona la primera indicación de como responden los lazos de control, y familiariza a los operadores con el equipo antes de la introducción de materiales peligrosos. Porque el equipo se puede reparar más fácilmente cuando contiene solamente aire, nitrógeno o agua, el omitir estas pruebas incrementa los riesgos y más adelante puede dar lugar a retrasos costosos.

Sin embargo estas pruebas, deben ser planeadas para evitar dañar al equipo. El equipo diseñado para hidrocarburos ligeros, por ejemplo, no puede funcionar con aire o agua sin precauciones especiales. Un agitador funcionado con agua puede sobrecargar al motor. Una bomba diseñada para hidrocarburos puede ser sobrecargada o generar una presión anormal de descarga cuando bombea agua.

Las pruebas dinámicas realizadas correctamente, responden a los siguientes propósitos importantes:

- Probar el funcionamiento mecánico del equipo a las condiciones que simulen el proceso.
- Familiarizar a los operadores con la planta a condiciones de operación simuladas.
- Terminar modificaciones requeridas necesarias para el funcionamiento mecánico y control.
- Ayudar a determinar los ajustes y respuesta de los instrumentos.

La prueba dinámica a circuito cerrado de aire y agua debe ser omitida solo si otras, consideraciones más importantes, tales como corrosión o posibles fallas mecánicas, hacen la omisión deseable.

Las pruebas de aire y de agua se deben instalar en un circuito cerrado; esto significa que los líquidos se deben reciclar continuamente donde sea posible. Siguiendo este procedimiento, los operadores aprenderán la interdependencia del equipo y podrán juzgar las respuestas de los controles del circuito de proceso.

Se debe acentuar que estas pruebas no serán útiles si los datos no se registran y los registros de instrumentos no son conservados.

Todos los esfuerzos deben ser realizados para operar el equipo mayor a o cerca de las condiciones de diseño y máxima carga¹⁶. Los instrumentos especiales deben ser provistos para medir el desarrollo de las condiciones de diseño.

Preparación para introducir fluidos de proceso.²⁰

Normalmente, la vibración, expansión y contracción del equipo y tubería durante la prueba dinámica del fluido seguro habrá expuesto a los sistemas a esfuerzos que pudieron haber causado fugas; éstos deben ser encontrados y arreglados.

Antes de poder introducir fluidos inflamables en la planta, tenemos que terminar las pruebas de presión y purga adicionales. La prueba de presión y purga consiste en presurizar y despresurizar con nitrógeno varias veces hasta que menos del 3% de oxígeno (o un valor más bajo especificado) se alcance.

6.10 INERTIZADO.

Este procedimiento³² tiene el propósito de eliminar el aire presente en tuberías y equipos, y debe aplicarse a todas las secciones cuyos equipos y líneas vayan a manejar materiales de proceso

peligrosos, tales como hidrocarburos (gas amargo, gas dulce, condensados y combustibles) para prevenir la formación de mezclas explosivas. Una vez que un sistema esta mecánicamente completo y todos los chequeos han sido llevados a cabo, se realiza una purga para remover el oxígeno del sistema antes de la introducción de los materiales de proceso.

Antes de comenzar el inertizado⁴³ es conveniente dividir la planta en circuitos y secciones, seleccionando puntos de venteo en cada circuito.

Al efectuar el inertizado deberán observarse los siguientes lineamientos:

- Es necesario hacer pruebas repetidas en los puntos de venteo para vigilar la eliminación gradual de oxígeno, hasta asegurar una concentración de este gas no mayor de 0.2% mol.
- Se recomienda no elevar la presión del sistema a inertizar por encima de 1.0 kg/cm². Cuando una de las secciones que ya se le ha eliminado el aire y se haya cerrado su venteo, se le podrá elevar la presión hasta 3.0 kg/cm², con el fin de contar con presión suficiente de la sección subsecuente.
- Una vez realizado el inertizado de todas las secciones y sistemas, se debe dejar solo una pequeña presión positiva de gas en ellas, venteando el exceso a la atmósfera.

6.11 FORMAS DE MINIMIZAR PROBLEMAS TÍPICOS ANTES Y DURANTE EL ARRANQUE²³

El ingeniero de arranque debe anticipar diversos tipos de problemas, incluyendo todas las dificultades con instrumentos, por ejemplo: El sobrediseño o diseño deficiente del trim de válvulas, válvulas que no cierran completamente, los sellos químicos en los medidores de presión que puedan fugar y ser dañados en construcción o durante las pruebas, etc.

Los problemas mecánicos incluyen fallas en sellos y cojinetes, corrosión inesperada, motores de tamaño insuficiente, fugas en equipo, fallas de lubricación y caja de engranes, perdida de internos, ruptura de los empaques de las torres, material extraño en líneas de tubería, válvulas, etc.

Las bombas centrífugas probablemente tienen más problemas que cualquier otra clase de equipo. Las bombas seleccionadas para los líquidos de la baja densidad pueden desarrollar una presión excesiva cuando son probadas con agua, dañando instrumentos de presión, y sobrecargando al motor.

Muchos sistemas de tuberías tienen factores de seguridad que pueden dar lugar a la circulación de volúmenes excesivos del fluido, y simultáneamente dejar a la bomba cavitando. Una bomba manejando agua caliente puede cavitando debido al NPSH bajo y dejar de bombear totalmente, esto se debe a un filtro de arranque sucio o a una circulación excesiva a baja caída de presión. Las bombas que se diseñan para bombear a un recipiente presurizado pueden mal funcionar y cavitando si estas se prueban mientras que el recipiente está a una presión más baja.

Los tanques no diseñados para el servicio de vacío podrían colapsarse en el arranque.

Los cambiadores de calor causan problemas porque son diseñados con factores de ensuciamiento para el máximo ensuciamiento bajo las peores condiciones. En el arranque estarán sobredimensionados porque están nuevos y limpios.

Los problemas con el equipo eléctrico son también comunes. Como el sobrecalentamiento de controles del motor, debido a la ventilación pobre. Además en áreas de humedad alta, la humedad puede crear problemas en los elementos eléctricos.

Minimización de los problemas.²³

Varias técnicas se pueden utilizar para minimizar los problemas durante este período:

1. *La inspección del equipo durante la fabricación y antes del embarque, incluyendo la corrección de problemas antes de que el equipo salga de la fábrica.*
2. Examinar el equipo al arribo al sitio de la planta.
3. Entrega del programa del equipo para que este pueda ser instalado puntualmente, o almacenado bajo cubierta si es posible.
4. Planear un programa flexible que permita el trabajo correctivo.
5. Asistencia de los representantes del vendedor en una etapa temprana de la construcción para el equipo complejo, y más adelante para el equipo simple.
6. Mantener accesibles los registros de todo el equipo incluyendo las inspecciones.
7. Tener piezas de repuesto disponibles antes de la terminación mecánica. Los componentes de instrumentos, sellos mecánicos, y juntas especiales serán los principales elementos requeridos.
8. Tener en mente los aspectos de seguridad.

6.12 PARTES DE REPUESTO.

Clasificación:

A). PARTES DE REPUESTO PARA PREARRANQUE Y ARRANQUE.

Son partes y ensambles normalmente utilizados o consumidos durante la instalación y preparación para el arranque, así como el propio arranque de las instalaciones.

El proveedor o fabricante recomienda las partes de repuesto considerando el daño que puedan sufrir las partes originales y que el ingeniero responsable del arranque debe tener presente en el sitio de la instalación almacenadas adecuadamente.

Para el equipo MECÁNICO DINÁMICOS Y ESTÁTICOS se debe suministrar lo siguiente:

Por cada equipo mecánico dinámico se debe entregar un juego de rodamientos tanto para el equipó motriz como para el conducido.

Un sello mecánico completo por cada equipo mecánico dinámico.

Un empaque de carcasa por cada equipo mecánico dinámico.

Para equipos mecánicos que sean acoplados por medio de bandas se debe entregar un juego (bandas igualadas) por cada equipo, esto también incluye a los equipos paquetes y aire acondicionado.

Un juego de empaques de acuerdo a especificaciones para todos los registros hombre, los registros de mano y para cada conexión (incluyendo las de proceso e instrumentos) de los equipos mecánicos estáticos (Intercambiadores de calor, hornos, recuperadores de calor, recipientes, etc.).

Anillos de prueba para cada equipo mecánico (si aplica).

Un juego de elementos filtrantes por cada uno de los equipos mecánicos estáticos y dinámicos que requiera filtros intercambiables (aire, aceite, combustible, etc.), esto también aplica para los equipos paquetes y aires acondicionados.

NOTA: En caso de incluir en su sistema de transmisión el equipo mecánico, un reductor o incrementador, se debe anexas a esta lista, un juego de cojinetes completos y un juego sellos completos por cada equipo mecánico.

B). PARTES DE REPUESTO REQUERIDAS PARA MANTENIMIENTO.

Son aquellas partes de repuesto que aseguran el funcionamiento de la planta y su operación continua.

Estas partes de repuesto serán propuestas por las compañías con base a su experiencia y de acuerdo a lo recomendado por cada fabricante de los equipos y deben incluir partes y ensambles normalmente consumidos en el mantenimiento programado, mantenimiento general o inspecciones o que se estropean por la corrosión, erosión o deterioro en servicio normal a intervalos especificados después del arranque.

Para el equipo mecánico, éstas son las partes de repuesto mínimas que se deben entregar:

MECÁNICO DINÁMICO

COMPRESOR (AIRE)	Cantidad	Unidad
Motor		
Rodamientos completos	01	Jgo.
Compresor		
Elementos filtrantes completos	01	Jgo.
Cojinetes completos	01	Jgo.
Estas partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse por cada compresor. En caso de incluir el compresor en su sistema de transmisión, un reductor o incrementador, se debe suministrar anexo a esta lista, un juego de cojinetes completo, kit de empaques y un juego de sellos completo del mismo.		

MOTOR-BOMBA	Cantidad	Unidad
Motor Eléctrico		
Rodamientos completos.	01	Jgo.
Bomba		
Sello mecánico completo (no incluye la brida)	01	Pza
Rodamientos completos	01	Jgo
Empaque de carcasa	01	Pza
Empaque de caja de rodamientos	01	Jgo
Impulsor	01	Pza
Estas partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse por cada par de bombas iguales. En caso de incluir la moto-bomba en su sistema de transmisión, un reductor o incrementador, se debe suministrar anexo a esta lista, un juego de cojinetes completo, kit de empaques y un juego de sellos completo del mismo.		

MECÁNICO ESTÁTICO

RECIPIENTES (VERTICALES, HORIZONTALES) Y TANQUES	Cantidad	Unidad
Empaques de boquillas Tornillería completa.	01 Ver nota	Jgo Pza
<p>Notas</p> <p>Las partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse para cada recipiente.</p> <p>La cantidad de tornillería que deben suministrarse, será de dos piezas por cada una de las boquillas propias del recipiente, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.</p>		

COLUMNAS (TORRES)	Cantidad	Unidad
Empaques de boquillas Tornillería completa	01 Ver nota	Jgo Pza
<p>Notas</p> <p>Las partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse por cada columna.</p> <p>Las boquillas que deben tomarse en cuenta, son las propias de la columna, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.</p> <p>La cantidad de tornillería que deben suministrarse, será de 2 piezas por cada una de las boquillas propias de la columna, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.</p>		

FILTROS	Cantidad	Unidad
Empaques de boquillas	01	Jgo
Empaque de Tapas principales	01	Pza
Elemento filtrante	01	Jgo
Tornillería completa.	Ver nota	Pza
<p>Notas</p> <p>Las partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse por cada filtro.</p> <p>Las boquillas que deben tomarse en cuenta, son las propias del filtro, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.</p> <p>La cantidad de tornillería que deben suministrarse será de 2 piezas por cada una de las boquillas propias del filtro, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos y tapa principal, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.</p>		

CAMBIADORES DE CALOR (Tubo y coraza)	Cantidad	Unidad
Empaques de boquillas	01	Jgo
Empaques de cabezales	01	Jgo
Tornillería completa.	Ver nota	Pza

Notas

Las partes de repuesto (Refacciones) deben suministrarse por cada cambiador de calor que se tenga en el proyecto.

Las boquillas que deben tomarse en cuenta, son las propias del cambiador de calor, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.

La cantidad de tornillería que deben suministrarse será de 2 piezas por cada una de las boquillas propias del cambiador de calor, incluyendo las boquillas de conexión para instrumentos, exceptuando las boquillas de conexión para tuberías de proceso.

EMBALAJE

Todas las refacciones deberán ser suministradas con embalaje y marcado de acuerdo a las prácticas del fabricante (Especificaciones y Normas del Contrato), previendo así daños durante su transporte manejo y almacenamiento. Todo embalaje deberá contar con identificación visible de tamaño adecuado e indicando su descripción (planta a la que pertenece, identificación del equipo a que pertenece) y/o número de parte, dibujo de referencia y cantidad.

Cada una de las refacciones que se notifique para su atestiguamiento y entrega, debe contar con etiqueta, la cual pueda ser manejada en condiciones de uso rudo, indicándose en ella, el equipo al que pertenece, unidad, número de parte de acuerdo al catalogo del fabricante, número de dibujo del fabricante y cantidad suministrada.

Se incluirá para cada una de las refacciones los dibujos de detalle del equipo, identificando la posición de la refacción seleccionada, su completa descripción y especificación(es) que se emplearon para su fabricación así como la cantidad de refacción suministrada.

CAPITULO 7.

CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD Y OPERACIÓN PARA EL ARRANQUE

7.1 PROCEDIMIENTO PARA VERIFICAR LAS CONDICIONES DE SEGURIDAD Y LOS REQUERIMIENTOS AMBIENTALES ANTES DE INICIAR LA OPERACIÓN DE INSTALACIONES INDUSTRIALES NUEVAS.

Todas las nuevas instalaciones industriales⁵⁰ que se construyan deben someterse a una “Revisión de Seguridad y Protección Ambiental antes de iniciar la operación”.

Cuando se identifiquen incumplimientos o anomalías que puedan comprometer la seguridad de trabajadores o instalaciones, debe diferirse el inicio de operación de la nueva instalación hasta que dichas anomalías o incumplimientos se atiendan totalmente

Requisitos Mínimos de Seguridad y Protección Ambiental.

7.1.1. Información Técnica de los Procesos.

El contratista deberá proporcionar al grupo supervisor, los paquetes de información técnica de las diferentes etapas del proyecto, incluyendo los planos “*Como se construyó*”.

7.1.2 Cumplimiento de las Especificaciones del Proyecto.

▪ Medición de espesores.

a). El contratista debe medir el espesor de pared de la tubería y equipos que conforman la instalación, para lo cual debe contar con personal calificado y emplear equipos e instrumentos certificados.

b). La medición de espesores de las tuberías y equipos que operarán aislados térmicamente, debe efectuarse antes de colocar el aislamiento térmico.

c). El responsable de seguridad debe analizar los resultados obtenidos, verificando el cumplimiento de lo dispuesto en el diseño y con las tolerancias establecidas en la especificación del material.

⁵⁰DG-ASIPA-SI-06920.

▪ **Pruebas no destructivas.**

a). El Contratista debe proporcionar la información de las pruebas no destructivas practicadas “*en taller*” a los equipos, tuberías, accesorios y dispositivos (radiografías, ultrasonido, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, etc.).

b). El grupo supervisor debe verificar que las pruebas no destructivas practicadas “*en campo*” (ultrasonido, radiografías, líquidos penetrantes, etc.), cumplan con lo establecido en el diseño en cuanto al tipo y magnitud de las pruebas, verificando que el equipo e instrumentos empleados estén certificados por una entidad aprobada y reconocida, así como que el personal que las realice satisfaga los requerimientos de entrenamiento, calificación y certificación dispuestos en el código ASME o por los códigos aplicables.

▪ **Tratamiento térmico pos soldadura.**

a). El contratista debe proporcionar al grupo supervisor los procedimientos, gráficas, perfiles de dureza y demás información de los tratamientos térmicos pos soldadura, practicados “*en taller*” a equipos y tuberías.

b). El contratista debe realizar pruebas de dureza a las soldaduras de campo que fueron sometidas a tratamiento térmico pos soldadura y elaborar los perfiles de dureza correspondientes, para verificar el cumplimiento de la dureza permisible del material.

▪ **Comprobación de materiales de construcción.**

El contratista debe proporcionar los certificados de calidad de los materiales de construcción de equipos, tuberías y accesorios; el grupo supervisor debe verificar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto y el contrato de obra respectivo.

▪ **Inspección visual.**

Las inspecciones a realizar por el responsable de seguridad, deben tener el alcance mínimo siguiente:

- ✓ Verificar que las válvulas, bridas y conexiones (coples, sockolets, nipolets, etc.), cumplan las especificaciones de diseño en lo relativo al tipo, clase (libraje), material de construcción y estado físico.
- ✓ Revisar la tornillería.
- ✓ Revisar los arreglos de niplería.
- ✓ Verificar que la colocación y ubicación de las válvulas, instrumentos y demás dispositivos y accesorios, permitan el acceso fácil, seguro y oportuno de personal para su operación o mantenimiento.
- ✓ Revisar el estado físico general de los equipos, tubería, soportería y estructuras.
- ✓ Efectuar inspecciones en la instalación con el propósito de identificar condiciones inseguras.

▪ **Pruebas hidrostáticas o neumáticas.**

a). El contratista debe proporcionar al cliente las gráficas, actas y demás información relativa a las pruebas hidrostáticas y neumáticas practicadas “*en taller*” a equipos, arreglos de tubería y dispositivos.

b). Antes de realizar las pruebas hidrostáticas “*en campo*” a tuberías de transporte, recipientes sujetos a presión, y generadores de vapor, así como las de hermeticidad de tanques de almacenamiento atmosférico, deben efectuarse oportunamente los trámites descritos en el apartado 7.1.5 referente a “Requerimientos Gubernamentales”.

c). Una vez que las tuberías, calentadores a fuego directo, intercambiadores de calor, calderas y recipientes sujetos a presión, se encuentren montados en su posición definitiva y hayan cumplido satisfactoriamente con lo dispuesto en los primeros 5 puntos del apartado 7.1.2, el contratista debe someterlos a las pruebas hidrostáticas correspondientes, las cuales deben satisfacer lo dispuesto en las especificaciones del proyecto.

▪ **Sistemas de drenaje.**

a). El contratista debe construir los sistemas de drenaje pluvial, aceitoso, químico y sanitario de la instalación, cumpliendo lo dispuesto en las especificaciones del proyecto.

b). El contratista debe probar hidrostáticamente los sistemas de drenaje pluvial, aceitoso, químico y el de drenaje sanitario.

▪ **Dispositivos de relevo de presión.**

a). El contratista debe proporcionar al cliente las hojas de datos de diseño y los certificados de pruebas, de calidad y de inspección, así como los catálogos y demás información de los dispositivos de relevo de presión (válvulas de relevo de presión, discos de ruptura y válvulas de presión-vacío) y de los arrestadores de flama, con el propósito de verificar el cumplimiento de las especificaciones del proyecto (tipo, dimensiones, material, capacidad, presión de ajuste, etc.).

b). El contratista debe someter las válvulas de relevo de presión a las pruebas necesarias de campo, para verificar que satisfagan las condiciones de presión de ajuste y hermeticidad.

c). El responsable de seguridad debe elaborar, antes del inicio de operación de la instalación, los registros, controles y programas de los dispositivos de relevo de presión.

▪ **Instrumentos y dispositivos de control.**

a). El contratista debe proporcionar al cliente las hojas de datos de diseño y los certificados de pruebas, de calidad y de inspección, así como los catálogos e información técnica de los elementos primarios y secundarios de medición, de los elementos finales de control, las alarmas, las protecciones y de los demás componentes de los “circuitos de instrumentación”, con el propósito de que se verifique el cumplimiento de lo dispuesto en las especificaciones del proyecto.

b). El grupo supervisor debe verificar en campo que los dispositivos descritos satisfagan los requerimientos de las hojas de datos de diseño correspondientes.

c). El contratista debe someter a los dispositivos de protección descritos en el **inciso (a)** a las pruebas y calibraciones amparadas en las especificaciones del proyecto, elaborando en cada caso el documento comprobatorio respectivo.

▪ **Sistemas de Seguridad.**

a). El responsable de seguridad debe evaluar el tipo, funcionalidad, cantidad, ubicación e identificación de los dispositivos y medidas de seguridad amparadas en las especificaciones del proyecto, considerando los requerimientos mínimos siguientes:

- ✓ Estaciones de regadera-lavaojos de emergencia.
- ✓ Estaciones de aire para protección respiratoria
- ✓ Equipo de protección personal.
- ✓ Avisos informativos, restrictivos y preventivos en las materias de Seguridad, Salud y Medio Ambiente.
- ✓ Delimitación de áreas que representen posibles riesgos para la salud (ruido, productos tóxicos, etc.).
- ✓ Rutas de evacuación.
- ✓ Sistemas de comunicación.
- ✓ Alarmas.
- ✓ Identificación de actuadores de los sistemas de protección contra incendio.
- ✓ Señalización de válvulas de admisión a sistemas de protección contra incendio.
- ✓ Identificación del producto contenido en tanques de almacenamiento y tuberías.
- ✓ Identificación, ubicación y localización de extintores portátiles.

▪ **Sistemas de Protección Ambiental.**

a). El contratista debe proporcionar al cliente la información técnica, certificados de calidad, certificados de pruebas y demás información relacionada con los sistemas y dispositivos para la prevención de la contaminación ambiental.

b). El grupo supervisor, debe verificar “*en campo*” que los sistemas y dispositivos para prevenir la contaminación ambiental, satisfacen lo dispuesto en las especificaciones del proyecto y en el Contrato de Obra.

7.1.3. Procedimientos.

El responsable de seguridad debe censar las materias primas y demás productos que se manejarán en la instalación, reuniendo antes del inicio de operación las “*Hojas de Datos de Seguridad de Substancias*” (HDSS) de los mismos, en cumplimiento a lo dispuesto en la Norma Oficial Mexicana NOM-114-STPS-1994. Para esta actividad, los proveedores de materias primas y de insumos tales como inhibidores, catalizadores, reactivos, desemulsificantes, etc., deben proporcionar las HDSS respectivas.

7.1.4. Capacitación/entrenamiento.

El cliente debe reunir los documentos y registros que certifiquen que el personal recibió y aprobó la capacitación y entrenamiento programados, verificando que el personal que formará parte de la tripulación que participará en el arranque y operación de la nueva instalación, recibió dicha capacitación.

7.1.5. Requerimientos Gubernamentales.

El grupo supervisor del cliente debe tramitar oportunamente ante las entidades gubernamentales correspondientes, los certificados que se relacionan a continuación, los cuales deben estar disponibles en la instalación antes de su inicio de operación:

a). Ante la Delegación Estatal de la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP) o ante el Instituto Nacional de Ecología (INE), según sea el caso:

La Licencia Ambiental Única (LAU), de acuerdo con lo dispuesto en el "Aviso por el que se dan a conocer al público en general el Instructivo para obtener la Licencia Ambiental Única y el Formato de Solicitud de Licencia Ambiental Única, para Establecimientos Industriales de Jurisdicción Federal y el Formato de Cédula de Operación Anual".

b). Ante la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS):

La "AUTORIZACIÓN DE FUNCIONAMIENTO" definitiva de cada uno de los generadores de vapor y recipientes sujetos a presión de la instalación, en cumplimiento a lo dispuesto por la Norma Oficial Mexicana NOM-122-STPS.

c). Ante la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP):

- Los certificados de inspección y prueba hidrostática de los ductos de transporte (Cap. VI. Reglamento de Trabajos Petroleros).
- Los certificados de inspección y pruebas de los tanques de almacenamiento atmosférico (Cap. VII y VIII. Reglamento de Trabajos Petroleros).

7.1.6. Sistemas de protección contra incendio.

- El responsable de seguridad debe verificar que la red y los sistemas de protección para servicio contra incendio, cumplan con lo dispuesto en las especificaciones del proyecto.
- El responsable de seguridad debe verificar que la cantidad, tipo, capacidad y ubicación de los extintores contra incendio, cumplan como mínimo con lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-002-STPS y en la Norma AI-1.
- El grupo supervisor del cliente debe verificar que el contratista realice las pruebas hidrostáticas o neumáticas a equipos, tubería y dispositivos de los sistemas de protección contra incendio, así como las pruebas de funcionamiento integrales y calibración de los dispositivos de detección y que sus resultados sean satisfactorios.

7.1.7. Análisis de Riesgos.

El contratista debe proporcionar oportunamente al grupo supervisor del cliente, toda la información relacionada con los Análisis de Riesgos practicados a los procesos durante la etapa de diseño, verificando que satisfagan los requerimientos y alcances establecidos, y que las acciones resultantes hayan sido debidamente incorporadas en la ingeniería aprobada para construcción, elaborando el informe que detalle el resultado de la revisión realizada.

7.2 CUMPLIMIENTO DE LOS REQUISITOS DE OPERACIÓN

Antes de iniciar la operación, el Contratista deberá efectuar las siguientes actividades:

- a) Llenar lubricantes y aceite de sellos al equipo que lo requiera.
- b) Cargar todos los químicos, empleando los procedimientos establecidos por los vendedores de los mismos, y utilizando el equipo y medidas de seguridad correspondientes.
- c) Verificar la velocidad de trabajo de las turbinas, incluyendo la protección por sobre velocidad.
- d) Verificar que todos los equipos que lo requieran, tengan instalados los filtros temporales y/o definitivos.
- e) Verificar el funcionamiento de todas las protecciones en bombas, turbinas, compresores y turbogeneradores.
- f) Revisar los dispositivos de seguridad antes de arrancar.
- g) Quitar todas las juntas ciegas y figuras 8, excepto aquellas instaladas por requerimientos del proyecto para la operación de la Unidad, dejándose claramente enlistados los tipos, tamaños, servicios y posición de cada una de ellas para el control de las mismas.
- h) Verificar que el nitrógeno, servicios auxiliares y materia prima están disponibles en cantidad y calidad necesaria.
- i) Realizar la entrega de las partes de repuesto.

7.3 OTRAS IDEAS PARA DISMINUIR LOS PROBLEMAS POR DEFICIENCIAS DE SEGURIDAD EN EL ARRANQUE⁴⁴.

El arranque de toda instalación representa un gran peligro para el personal que estará a cargo de esta labor. Muchas actividades inusuales se emprenden bajo considerable presión, y el salvaguardar al personal y al equipo debe ser una preocupación primaria, por lo cual es necesario adoptar las siguientes medidas de seguridad:

- a) Tener y aplicar procedimientos de seguridad en el arranque y en la operación.
- b) Prevenir emergencias y desarrollar planes de acción.
- c) Estudiar concienzudamente las posibilidades para el control del proceso, condiciones inestables del proceso, excesiva temperatura, presión o flujos.
- d) Revisar el suministro de servicios auxiliares para las condiciones de arranque.
- e) No comenzar actividades de larga duración con personal cansado.
- f) Instruir a conciencia a cada uno de los participantes, con respecto a los riesgos de los elementos tóxicos.
- g) Apegarse a una lista de chequeo para revisión final.
- h) Determinar las áreas peligrosas y dar recomendaciones en posibles emergencias y equipo de seguridad requerido.
- i) Aislar las áreas en operación y restringir el acceso a estas.
- j) Identificar los equipos y líneas de operación.
- k) Hacer una revisión total de todos los reactivos, catalizadores e hidrocarburos, para determinar su toxicidad, flamabilidad, corrosividad, explosividad, etc.
- l) Capacitar al personal en el uso del equipo de protección personal y equipo contra incendio.
- m) Simular emergencias y evaluar las acciones tomadas, así como el comportamiento del personal.
- n) Utilizar carteles y boletines de seguridad.

CAPITULO 8.

LA ETAPA DE ARRANQUE.

El arranque de cualquier planta nueva es difícil²⁰, en esta etapa la importancia de todo el entrenamiento, la preparación y las pruebas que se han realizado llegarán a ser evidentes. Si las pruebas fueron llevadas a cabo cuidadosamente y evaluadas a fondo, se deben encontrar pocas sorpresas.

Durante el arranque¹⁴, la planta es llevada a las condiciones de operación diseñadas, los medios reales son introducidos en la planta, e inician las operaciones normales.

Todos los dispositivos de seguridad críticos se deben haber comprobado para saber si hay la respuesta y acción apropiadas de alarma, y tener los sistemas de emergencia completamente funcionales.

Personal supervisor y de operación adicional debe estar disponible. Es aconsejable programar la doble cobertura en todos los turnos durante los primeros días. Pares adicionales de ojos y de manos son siempre útiles durante las etapas iniciales de la operación, cuando las lecturas de los datos son tomadas más frecuentemente, o las bombas puedan tener que parar y arrancar más a menudo, etc.

Es igualmente importante que personal competente de mantenimiento esté disponible en espera. Los requerimientos más comunes son de instrumentistas adicionales, porque los instrumentos tendrán que ser ajustados con frecuencia. La disponibilidad inmediata y la acción pronta de las fuerzas del mantenimiento son a menudo críticas para mantener una planta funcionando, o por lo menos para reducir la duración de tiempos muertos.

El tamaño de los grupos se debe limitar a un número manejable y las líneas de autoridad establecidas claramente ya que mucha gente puede conducir a confusión, toda la dirección debe emanar del jefe.

Cuando todo este listo y todos han sido informados en cuanto a sus funciones, la alimentación o las materias primas se pueden introducir.

Secuencia general de arranque.

1. Introducir la alimentación en rangos de bajo flujo.
2. Establecer la circulación
3. Ajustar temperaturas, presión, niveles y flujos.
4. Enviar el material fuera de especificación a las áreas designadas.
5. Cuando el producto esta dentro de especificación, dirigirlo a almacenamiento.
6. Aumentar el rango de alimentación a la unidad en pequeños incrementos hasta que esté operando a la capacidad de diseño.

¹⁴BUTLER, Martin E. NAYAR, M. P. and WHEELER, Mark E. "How to facilitate startup". Chemical engineering. (June 1993).

²⁰GANS, Manfred. FITZGERALD, Francis A. and KIORPES, Stephen A. "Plant startup- step by step by step". Chemical Engineering. (Oct. 3,1983).

Conforme cada sección de la planta se arranca y cada pieza del equipo esté funcionando correctamente esta debe ser llevada a las condiciones de operación esperadas tan pronto como sea posible. Las presiones, temperaturas, flujos y niveles se deben comprobar con frecuencia, y las lecturas del cuarto de control comparadas con aquellas de los indicadores locales.

Cuando los problemas se convierten en potencialmente serios, no debe haber vacilación en entrar en un paro de emergencia, en vez de arriesgar vidas o equipos. Los datos obtenidos y las observaciones realizadas antes del paro se podrán entonces estudiar y evaluar para determinar que tan bien fue operada la planta y lo que causó el problema.

Si los problemas no se desarrollan, o si son solamente de menor importancia y fácilmente se superan, la planta se debe llevar cuidadosamente hacia las condiciones de operación.

Pero incluso durante un arranque relativamente tranquilo¹⁹, uno puede esperar fallas menores de equipo, muchas de las cuales serán obvias y no obstaculizarán seriamente la operación continua del proceso. Las fallas de sellos y empaques de la bomba, por ejemplo, son muy comunes pero no serán más que una molestia donde están instaladas bombas de repuesto.

En muchos otros casos, las causas de falla no son tan obvias, y su diagnostico puede poseer dificultades. En tales casos, realizar una revisión completa de temperaturas, presiones y consumos de servicios en el área afectada del proceso, incluyendo un chequeo de bombas, motores, agitadores, etc.

Los drenes, los venteos y los sistemas de servicios no se deben pasar por alto en las dificultades del arranque. Frecuentemente, las presiones, las temperaturas y los flujos de los servicios no son conocidos, y estas variables se deben registrar temporalmente para solucionar un problema. Sobretodo, el proceso se debe instrumentar adecuadamente para tener balances de material exactos y rápidos alrededor de la sección afectada

Los análisis de las corrientes de proceso²⁰, como del producto final, permitirán la evaluación de las operaciones. Los problemas de calidad son frecuentes durante la operación temprana de una planta nueva. Los análisis del laboratorio deben ser confiables y los resultados prontamente disponibles. Si se ve algo inusual, incluso si es leve, no ignorarlo, perseverar en encontrar la causa.

La dificultad principal con los problemas de calidad del producto radica en la localización del área de proceso específico o elemento del equipo que causa el problema.¹⁹ Esto requiere una evaluación de los datos y de los análisis del laboratorio; y se puede requerir un completo análisis de las corrientes de proceso que no se muestrean normalmente. La localización de impurezas, que no son detectadas en la alimentación, o que entran con los servicios o como resultado de reacciones laterales, son la fuente de muchos problemas de calidad, tales impurezas pueden ser difíciles de localizar.

Los datos de la planta y del laboratorio se obtienen y se deben evaluar pronto y regularmente. Una vez que la evaluación de los datos haya comenzado²⁰ y la información real del proceso está disponible, el diagrama de flujo se puede comparar con los datos de operación reales.

¹⁹GANS, Manfred. "The A to Z of plant startup". Chemical Engineering. (March 15, 1976).

Se recomiendan reuniones diarias entre el jefe operador y la dirección de la planta. La operación del día anterior se discute después de evaluar los datos, así como los planes formulados para las 24 próximas horas. Los planes tentativos se hacen por períodos más largos, si la planta continúa funcionando. Los cambios en las condiciones de operación y los incrementos en los rangos deben continuar siendo realizado por etapas y ser monitoreados por los ingenieros de turno.

Antes de realizar el arranque el contratista debe:

- Contar con su manual de procedimientos, plan de inspección y arranque previamente revisados.
- Asegurar que todos los equipos e instrumentos de medición que se utilicen durante la etapa de arranque, cuenten con su certificado de calibración vigente.
- Asegurar que todo el personal técnico del contratista que efectuará el arranque este capacitado y cuente con experiencia comprobable en la especialidad.
- Tratándose de equipos mayores y/o críticos durante el arranque y hasta la realización de las Pruebas de Comportamiento o pruebas finales, contar con personal especialista del fabricante o proveedor, quien deberá comprobar que el equipo ha sido instalado y se opera en las condiciones establecidas.
- Durante el arranque deberán tomarse todas las precauciones, para evitar situaciones de riesgo hacia las personas y las instalaciones. Por lo que se deberá contar con un procedimiento de seguridad.

Durante la operación de la Unidad, el contratista debe verificar los requerimientos del cliente para las capacidades normal, máxima y mínima, proporcionando los reportes correspondientes de acuerdo a las condiciones verificadas durante estas pruebas

Al término del arranque de la planta, el contratista acordará con el cliente la fecha probable del inicio de las Prueba de Comportamiento de la planta, tomando en consideración que no se realizará la prueba de desempeño inmediatamente después del arranque, si no que es necesario un tiempo razonable para que la planta este operando en forma estable y normal en todas y cada una de sus secciones o unidades.

8.1 Actividades para el Arranque de las Unidades.

- 1) Colocar en un lugar visible del cuarto de control de la Unidad y en los límites de área de la Unidad, el diagrama de flechas de arranque y el Plano de la Unidad, señalándose en ambos las áreas de desarrollo de las actividades diarias, marcándose las áreas más críticas para mayor aplicación de seguridad para trabajos potencialmente peligrosos.
- 2) Revisar el control de instalación de juntas ciegas y verificar en campo que no haya alguna que pueda causar problemas en el proceso de Preparativos de Arranque, Arranque y/o Pruebas de Comportamiento.

- 3) Proporcionar durante el arranque, personal de contraincendio necesarios con extintores y mangueras presionadas.
- 4) Verificar que no existan sobre las líneas materiales que al calentarse puedan ocasionar conatos de incendio, así como verificar la limpieza en el área.
- 5) Realizar juntas en la planta para dar a conocer las condiciones de arranque, los avances diarios, programas y potenciales problemáticas que requieran de la participación común cliente y contratista para su solución.
- 6) Personal responsable del arranque explicará detalladamente las actividades de cada turno y pedirá al ingeniero de turno que se marque en el diagrama el control de avance.
- 7) Preparar y suministrar las hojas de lectura necesarias para que desde el mismo momento en que se ordena cada una de las actividades del arranque se realice el registro de las condiciones de operación.
- 8) El ingeniero responsable del arranque programará el equipo de bombeo con que se arrancará, para que los operadores revisen: aceite de lubricación, agua de enfriamiento, etc., con la finalidad de evitar riesgos a las instalaciones y al personal.
- 9) Durante el arranque y hasta la ejecución de las Pruebas de Comportamiento durante las 24 hrs. del día, debe permanecer en la unidad un ingeniero responsable, así como el personal especialista que se requiera (tableristas, operarios electricistas, tuberos, instrumentistas, soldadores, mecánicos, etc.).
- 10) Verificar que los cabezales de desfogue están alineados (abiertas sus válvulas y sin juntas ciegas).
- 11) Verificar las protecciones de las máquinas, turbo sopladores y turbocompresores antes de iniciar su arranque.
- 12) Revisar que se tenga en la Unidad existencia de grasas y aceites lubricantes, así como reactivos.
- 13) Después de haber verificado y revisado cuidadosamente lo anterior, se procederá al arranque de la Unidad aplicando los procedimientos establecidos para esta etapa.
- 14) En el arranque inicial debe seguirse el "Procedimiento Para Llevar a Cabo la Verificación de la Inexistencia de Condiciones Inseguras y el Cumplimiento de los Requerimientos Ambientales". (Capitulo 7).

CAPITULO 9

LAS PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO

Antes de la fecha de inicio de las Pruebas de Comportamiento, el contratista entregará al cliente los protocolos y procedimientos que se realizarán durante las Pruebas de Comportamiento los cuales deben estar supervisados y avalados por el licenciador, así como los planos que señalen los puntos de medición, toma de muestras, etc. y la lista de equipos e instrumentos de medición y sus certificados de calibración.⁴⁹

Después de haber realizado las actividades de arranque y tener la Unidad en condiciones estables, se realizarán las Pruebas de Comportamiento para verificar que cada Unidad cumple con las condiciones de operación indicadas por cada licenciador para obtener las cantidades de los productos indicados en los paquetes de ingeniería básica. Estas pruebas no se limitarán a lo siguiente:

- A) Antes del inicio de la prueba de comportamiento el contratista debe realizar un monitoreo de todas las señales involucradas para confirmar la conexión adecuada de toda la instrumentación.
- B) El funcionamiento de la Unidad será probado por un período de setenta y dos (72) horas consecutivas para verificar su comportamiento mecánico. Durante este periodo el cliente verificará el cumplimiento de las especificaciones del diseño.
- C) En el caso de que las Pruebas de Comportamiento sean interrumpidas debido a razones únicamente atribuibles al contratista, éste debe analizarlas y reportar al cliente las causas y posibles soluciones. El contratista debe llegar a un acuerdo con el cliente antes de repetir las pruebas, siguiendo un procedimiento mejorado de Pruebas de Comportamiento.
- D) En caso de que las Pruebas de Comportamiento no puedan ser efectuadas en las condiciones que cumplan con las garantías de proceso del licenciador por razones no atribuibles al contratista, el cliente, el contratista y el licenciador deben acordar sobre nuevas condiciones antes del inicio de las Pruebas de Comportamiento
- E) Las pruebas analíticas serán realizadas por el contratista con el equipo y procedimientos apropiados, y con tal frecuencia y oportunidad que garanticen la efectividad de las pruebas.
- F) Después de terminar exitosamente las Pruebas de Comportamiento, el contratista debe presentar el Reporte de Pruebas de Comportamiento, en el cual se verificará el cumplimiento de todo lo garantizado por el contratista.

⁴⁸258-28400-PA-0001. Procedimiento para la Entrega-Recepción de obras del proyecto Cantarell a los Activos y Gerencias RMNE.

- G) Una vez verificado el comportamiento de la Unidad durante el Arranque y Pruebas de Comportamiento, el contratista, con las recomendaciones del licenciante, elaborará y entregará al cliente, previo a la firma del Acta de Recepción de la Unidad un programa de revisión y mantenimiento de equipos, para el primer año de operación.
- H) El cliente de acuerdo con las necesidades de operación podrá efectuar recepciones de cada una de las plantas que integran la unidad, siempre que se cumplen las condiciones especificadas en el contrato, así como la Ley de Obras Publicas y su Reglamento

9.1 PROCEDIMIENTO PARA EFECTUAR PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO:

Para comprobar el correcto comportamiento de cada Unidad de conformidad con las especificaciones del contrato, bases y criterios de diseño, deben realizarse sin ser limitativas, las siguientes pruebas:

9.1.1. Preparativos.

La planta deberá estar operando en forma estable en todas las secciones de acuerdo a las condiciones de diseño o de acuerdo a los ajustes necesarios para procesar la carga disponible o de acuerdo a las condiciones de los servicios auxiliares disponibles.

Se contará con formatos de lecturas de campo y de tableros y se deberán tomar lecturas de: flujo, temperatura, presión, etc., necesarios para la evaluación de cada equipo o del proceso en su conjunto.

Se llevara a cabo la toma de muestras para análisis del laboratorio. Los resultados se reportan en forma escrita al licenciador, contratista, para que se conserven como anexo al reporte de las Pruebas de Comportamiento.

En el Sistema de Control Distribuido se contará con registros históricos y tendencias de los instrumentos que intervienen en el balance de la Unidad o que son necesarios para evaluar el desempeño de la misma. El reporte de las Pruebas de Comportamiento debe tener como anexo los datos históricos del Sistema de Control Distribuido.

El contratista elaborará los diferentes reportes del sistema, incluyendo el reporte de balance de la Unidad. Este balance contendrá información de cantidad y calidad de cargas y productos, consumos de servicios auxiliares, etc.

El contratista proporcionará los manuales de operación y resúmenes que contengan los balances de materia y energía de la Unidad, diagramas de flujo, DTI's, hojas de datos de equipos, y formatos de capacidades de cambiadores de calor, calentadores a fuego directo, equipos estáticos y dinámicos, etc., para verificar el comportamiento de cada uno de los equipos de la Unidad con respecto al diseño.

El contratista debe realizar diariamente el balance en masa y en volumen de la Unidad.

Previo a la realización de las pruebas y como parte de los Preparativos de Arranque, se llevará a cabo una verificación de operabilidad para verificar que toda la instrumentación es operable y se encuentra apropiadamente calibrada, poniendo especial atención a aquella que tiene influencia directa en la prueba como son: medidores de flujo que intervienen en el balance, etc.

9.1.2.- Desarrollo de las Pruebas de Comportamiento.

Una vez que se cuenten con los preparativos mencionados anteriormente se procederá a efectuar la Prueba de Comportamiento, para verificar que cada unidad opera de conformidad a: la ingeniería básica, especificaciones del contrato, especificaciones particulares, lineamientos de ingeniería y la ingeniería de detalle desarrollada por el contratista.

La planta estará en condiciones estables de operación y se dará inicio a las Pruebas de Comportamiento, con una duración de 72 horas continuas.

Una vez iniciada la prueba se tomarán lecturas de las variables de operación necesarias para:

- Levantar un perfil de presiones y temperaturas de la Unidad con instrumentos calibrados.
- Realizar el balance en masa de la Unidad.
- El consumo de aditivos, inhibidores, servicios auxiliares, etc.
- La eficiencia en generadores de vapor.
- Marcar el punto de operación en las curvas de funcionamiento de equipos como: Bombas, compresores, turbinas, motores, etc.
- Otros parámetros establecidos en el Contrato.

9.1.3 Retrasos e interrupciones

Después de cualquier retraso o interrupción y antes de iniciar nuevamente el período de prueba, “el grupo de arranque” deberá revisar que las condiciones de las instalaciones se ajusten al diseño y en su caso, recomendará los ajustes necesarios.

La “Prueba de Comportamiento” deberá suspenderse cuando se presente alguna de las condiciones siguientes:

- Cuando sea necesario llevar a cabo alteraciones, reparaciones, sustituciones que no puedan llevarse a cabo de manera segura.
- Los datos obtenidos carezcan de la exactitud y precisión requerida o estén incompletos e impidan establecer el análisis correspondiente para determinar la operación de la planta.

9.1.4.- Terminación de las Pruebas de Comportamiento:

Una vez terminadas las 72 horas o el tiempo convenido de la prueba para cada Unidad, los resultados serán revisados por las partes involucradas.

Después de realizadas las Pruebas de Comportamiento, el contratista editará el reporte final de las Pruebas de Comportamiento, el cual deberá contener fecha y nombre de la prueba, localización, propietario, fabricante del equipo, responsable de la prueba, persona que preparó el reporte, el que lo aprobó y la fecha del reporte; así como un índice del contenido, el objetivo, la descripción, diagrama de flujo, método, arreglo y conexión del equipo e instrumentos de medición, resumen de mediciones, observaciones, métodos de cálculo, factores de corrección, resultados de la prueba, resultados de la prueba corregidos, gráficas, tablas de resultados de las pruebas, comentarios a los resultados de las pruebas, apéndices y la implementación de resultados de las pruebas.

Una vez que se ha aceptado como satisfactorias las Pruebas de Comportamiento, el contratista y el cliente firmarán una Constancia de Terminación Satisfactoria de las Pruebas de Comportamiento en la que se haga constar la operabilidad de la Unidad y aquellos trabajos pendientes de efectuar, pero que no afectan la operación de la Unidad o no representan un riesgo para las personas ni para las instalaciones, así como el plazo en que serán realizados. No obstante lo anterior, la aceptación de las obras en dicha Unidad solo podrá ser otorgada cuando todos los trabajos hayan sido terminados, incluyendo el reporte de las Pruebas de Comportamiento, los dibujos "Como Construido" y que toda la información se haya integrado al libro de documentos finales de la Unidad.

9.2 CORRIDA DE GARANTÍA.

Concluidos los trabajos, el contratista quedará obligado a responder de los defectos que resultaren en los mismos, de los vicios ocultos y de cualquier otra responsabilidad en que hubiere incurrido, en los términos señalados en el contrato y en la legislación aplicable.

Se efectuará la Corrida de Garantía durante 12 meses a partir de la fecha de recepción física de los trabajos, en coordinación con el contratista.

El contratista deberá prestar el servicio y la asistencia técnica, refaccionamiento y reparación o sustitución en su caso para garantizar los 12 meses de operación de la Corrida de Garantía.

9.3 RESUMEN DEL PROCESO PARA LA ENTREGA- RECEPCIÓN DE OBRAS.⁴⁸

Previo al inicio de las actividades de entrega-recepción se deben cumplir las siguientes condiciones:

- A) Revisión y validación del análisis de riesgo de la obra.
- B) Además se deberán proporcionar los siguientes documentos:

Listado de documentación técnica necesaria para la entrega recepción:

- ✓ Diagramas de tubería e instrumentos (DTI) con anotaciones para mostrar los límites del sistema.
 - ✓ Listas de los equipos mecánicos y los instrumentos.
 - ✓ Listas de las pruebas hidrostáticas y del lavado de tuberías.
 - ✓ Listas del equipo eléctrico.
 - ✓ Listas de verificación.
 - ✓ Lista de portaplacas de placa ciega y bridas en ocho (permanentes y provisionales).
 - ✓ Lista de válvulas de presión (PSV) y dispositivos de seguridad.
 - ✓ Rastreabilidad de los materiales.
 - ✓ Documentación de control de calidad del sistema.
 - ✓ Todos los formatos de las pruebas.
 - ✓ Los procedimientos necesarios para terminar los procesos de las pruebas previas a la puesta en servicio y la puesta en servicio.
- C) Capacitación del personal operativo y de mantenimiento del cliente.
 - D) Proporcionar al cliente los manuales de operación y mantenimiento.

9.3.1 DESARROLLO

- 1) La contratista emite por escrito al cliente, la notificación de Terminación Mecánica indicando que una parte o la totalidad de la obra, está mecánicamente terminada, de acuerdo con los requisitos y las especificaciones del contrato y al diseño de la ingeniería.
- 2) El personal de Pruebas y Arranques, de la Agencia Certificadora y del cliente realizarán la inspección física del sistema o circuito. Cualquier No Conformidad ú observación detectada durante la inspección, se integrará en un listado el cual será entregado al contratista para su corrección.
- 3) Se atienden las No Conformidades y observaciones y se establece el programa de ejecución de trabajos.
- 4) El cliente emite el certificado de Terminación Mecánica correspondiente, y la Agencia Certificadora la Carta de Consentimiento.

- 5) Obtenido el Certificado de Terminación Mecánica, el contratista solicita al cliente la autorización para efectuar las pruebas de puesta en servicio (dinámicas). Una vez obtenida la autorización para llevar a cabo las pruebas dinámicas, se notifica al personal de Pruebas y Arranques, a la Agencia Certificadora y al cliente la realización de dichas pruebas.
- 6) El cliente integrará y proporcionará el personal suficiente y capacitado de las áreas de Operación y Mantenimiento para su participación durante las pruebas dinámicas.
- 7) Se realizan las pruebas dinámicas. Personal del cliente participará y atestiguará las pruebas efectuadas y tomará nota de las No Conformidades que se presenten.
- 8) Si existen No conformidades se hacen del conocimiento del contratista para su corrección.
- 9) En caso de no existir No Conformidades o una vez que éstas se hayan corregido, la Agencia Certificadora extiende al contratista los certificados requeridos para iniciar las operaciones de arranque.
- 10) El contratista, notificará el programa de arranque de la instalación, para que en coordinación con el personal del cliente determinen si las condiciones permiten la puesta en servicio de la instalación.
- 11) Si existen las condiciones adecuadas para iniciar el arranque de la instalación, se notificará al cliente y a la Agencia Certificadora el inicio del arranque de la instalación. El cliente, integrará al personal capacitado de operación y mantenimiento para que participe en el arranque de la instalación.
- 12) De no reunir las condiciones adecuadas para el Arranque de la instalación, se procederá a la Recepción Parcial de la Obra.
- 13) En el caso en que sí se cuente con las condiciones adecuadas para el arranque del sistema, circuito o instalación, el cliente supervisará que el contratista cuente con el personal técnico y manual de apoyo y el equipo necesario para llevar a efecto el arranque de la instalación.
- 14) Un grupo multidisciplinario realiza el arranque de la instalación. Personal del cliente autorizará las operaciones asociadas, participará y atestiguará el arranque de la instalación.
- 15) Durante el arranque se tomará nota de las No Conformidades que en su caso se presenten, para que se hagan del conocimiento del contratista para su corrección.
- 16) El cliente determina si existen las condiciones necesarias para la realización de las pruebas de desempeño.
- 17) Si no se reúnen las condiciones adecuadas para la realización de las pruebas de desempeño, se procederá a la Recepción Parcial de la Obra.
- 18) Un grupo multidisciplinario realiza las pruebas de desempeño de los sistemas. El personal del cliente autorizará las operaciones asociadas, participará y atestiguará dichas pruebas. Durante las pruebas de desempeño se tomará nota de las No Conformidades que en su caso se presenten, para que se hagan del conocimiento del contratista para su corrección.
- 19) El contratista recibe las No Conformidades y las corrige.

- 20) El cliente extiende el Certificado de Aceptación Parcial al contratista.
- 21) El contratista envía al cliente el libro de proyecto y los materiales complementarios para su revisión.
- 22) Sí existen No Conformidades, el supervisor de la obra las hace del conocimiento del contratista para su corrección.
- 23) Si se corrigieron las no conformidades y de no existir No Conformidades, se procede a la elaboración y firma del Acta de Entrega – Recepción.

CAPITULO 10**LA ECONOMIA DEL ARRANQUE****10.1 LOS COSTOS DE ARRANQUE.**

Los siguientes son ejemplos de que costos deben ser incluidos en los costos de arranque.

OFICINAS

Personal de comisionamiento y puesta en servicio de oficina.	<ul style="list-style-type: none"> - Gerente de Puesta en servicio - Apoyo de comisionamiento y puesta en servicio durante el diseño. - Ingenieros para elaboración de procedimientos eléctricos, mecánicos, instrumentación y control, pruebas, operación, etc.
Gastos de oficina.	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios administrativos. - Copias. - Artículos de oficina. - Equipo de cómputo. - Licencias de equipos de cómputo.

COSTOS DIRECTOS

Representantes de proveedores	<ul style="list-style-type: none"> - Turbinas, compresores, bombas, calentadores eléctricos, SCD, sistema de intercomunicación y voz, sistema FM-200, sistema CO2, sistema de tratamiento de agua, sistemas químicos etc.
Equipo de prueba y materiales de campo	<ul style="list-style-type: none"> - Contenedores, tanque de diesel, bombas de diesel, compresores de aire, secadora de aire, juego de tubería temporal, carretes, instalaciones temporales, empaques, bridas, tuercas y tornillos, accesorios, filtros temporales, cable temporal, cepillos, zapatas.
Pruebas y servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de caídas de tensión, ajuste de protecciones, servicios de calibración de relevadores, prueba de lazos de control,

	calibración de instrumentos.
Combustibles y consumibles	<ul style="list-style-type: none"> - Bisulfito de sodio, amoniaco anhidro, aminas, inhibidores de corrosión, antiespumantes, biocidas, nitrógeno. - Electricidad. - Diesel, Aceite lubricante, soldadura. - Graseras para aceite mineral, para lubricar las partes movibles (puertas, bisagras, etc.).
Partes de repuesto para arranque	<ul style="list-style-type: none"> - Sellos mecánicos, empaques etc.
Apoyo de proveedores para entrenamiento	<ul style="list-style-type: none"> - Compresores de proceso, bombas de proceso, cromatógrafos y analizadores, turbinas, Sistema de Control Distribuido, estación de medición, subestación de la planta de energía, sistema de FM-200, sistema de CO2, PLC's , sistema de tratamiento de agua, paquetes de aire de planta e instrumentos, sistemas químicos, etc.
Entrenamiento en oficina	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinador de entrenamiento - Material de entrenamiento
Trabajo de entrenamiento en campo	<ul style="list-style-type: none"> - Coordinador de entrenamiento, entrenadores. - Gastos de material de entrenamiento, ayudas de entrenamiento.
Horas de trabajo del personal en sitio	<ul style="list-style-type: none"> - Ayudantes, soldadores, tuberos, técnicos mecánicos, eléctricos, técnicos en instrumentación y control.

COSTOS INDIRECTOS.

Personal de comisionamiento en sitio	<ul style="list-style-type: none"> - Gerente de comisionamiento.
Oficinas e instalaciones temporales	<ul style="list-style-type: none"> - Oficinas de campo, sanitarios, almacenes.
Servicios	<ul style="list-style-type: none"> - Energía, agua potable, intendencia, limpieza, transporte de personal

Equipo de Higiene y seguridad	- Primeros auxilios, equipo de protección a personal, señales, materiales, candados, tarjetas.
Gastos por personal comisionado.	- Renta de casa, alimentación, transportación.
Gastos varios	- Atención de Pruebas FAT para equipos, reuniones con el cliente, reuniones con coordinación del proyecto.
Asistencia al personal	- Campamentos, transporte, comedor, baños portátiles, capacitación.
Renta de vehículos y equipo menor	- Renta de equipos menores, renta de vehículos, combustibles, mantenimiento, reparaciones.
Licencias, seguros y permisos.	- Permisos ambientales, licencias.

10.2 DEFINICIÓN DEL TIEMPO DE ARRANQUE.

El tiempo de arranque es definido como¹⁵ la duración entre el final de la construcción y el inicio de la operación normal.

El inicio de la operación normal puede ser definido diferente para cada proyecto; como las operaciones a cierto porcentaje de la capacidad de diseño, como un número específico de días de operación continua, o como la capacidad para hacer un producto de especificada pureza. La gente de proyecto y de producción deben por anticipado estar de acuerdo en una definición.

La obtención de acuerdos en lo que constituye la operación normal es muy importante por muchas razones: (1) este establece un objetivo para el personal de campo; (2) da certeza que cada uno esta esforzándose por el mismo objetivo; (3) hace posible comparar los resultados de una planta con otra; y (4) establece un punto para definir cuando el trabajo esta completo.

¹⁵FELDMAN, Richard P. "Economics of plant startups". Chemical Engineering. (November 3, 1969).

10.3 PARÁMETROS GENERALES.

Los parámetros que afectan los costos y el tiempo de arranque son generalmente suficientes como para aplicarlos a casi todos los tipos de plantas químicas.

- La novedad del proceso y la tecnología, novedad no para la industria necesariamente, pero para la compañía y el personal involucrado en el arranque.
- La novedad del tipo de equipo, la novedad no solo al personal de la planta sino también al proveedor del equipo.
- La calidad y cantidad de la mano de obra. Esto es difícil de evaluar sin alguna familiaridad con los trabajadores. Es importante porque incluso en muchos procesos establecidos con equipo estándar puede ser mal operado por un personal inexperto o pobremente entrenado. Un cuerpo de personal para el arranque con experiencia y bien entrenado, causará al final menos costos²⁹.
- La dependencia entre plantas, este parámetro puede afectar mas significativamente todos los otros parámetros del arranque La dependencia entre plantas es definida como, cuanto el arranque de una planta depende de otra. Si una planta depende de otra para su alimentación, esta no puede arrancar hasta que la otra este funcionando.

Obviamente, a una cadena más larga de plantas, hay un riesgo más grande de un retraso largo y costoso.

10.4 LA EXPRESIÓN MATEMÁTICA.

La formulación de parámetros en una expresión matemática resulta en lo siguiente:

Para calcular el tiempo de arranque:

$$\text{Tiempo de arranque} = a (0.15 + b + c + d + Ne)$$

Donde:

a = Tiempo de construcción.

b = Factor de procesos = 0.15 para procesos radicalmente nuevos
 = 0.05 para procesos relativamente nuevos
 = - 0.01 para procesos familiares.

c = Factor de equipo = 0.15 para equipo radicalmente nuevo, 0.08 para equipo muy nuevo, 0.05 para equipo relativamente nuevo, y -0.01 para equipo familiar.

d = Factor de mano de obra = 0.15 para mano de obra en muy corto suministro, 0.05 para relativamente escasa mano de obra, y -0.01 para excedente mano de obra.

N = Número de unidades de proceso involucrados

e = Factor de dependencia = 0.25 para plantas muy interdependientes, 0.10 para plantas moderadamente interdependiente, y -0.02 para plantas independientes.

Los costos para el equipo normal de arranque, material y personal pueden usualmente ser calculados con buena aproximación¹⁹. Los costos debido a fallas son más difíciles de predecir, desafortunadamente, estos costos de fallas pueden ser también los más altos. Debido a que podrían causar un retraso prolongado.

Aunque diferentes tipos de plantas y procesos tienen diferentes costos de arranque,¹⁵ el capital fijo permite estimados basados en el orden de magnitud, por ejemplo los costos de arranque podrían variar de 2% a 10% del capital fijo⁶.

El costo de un arranque es variable dependiendo del tipo de planta que experimente el arranque.

La variable que afecta más el costo para lograr la operación inicial es²⁹ el tiempo que esto se lleve.

Por ejemplo si consideráramos el caso de una plataforma de producción cuya capacidad de producción es de 250 mil barriles diarios de crudo, y considerando que el barril tiene un precio de \$62.33 dólares, por cada día de retraso en el arranque se tendría una pérdida de \$15,582,500.00 dólares diarios.

Continuando con el ejemplo anterior, si para la misma plataforma consideramos que los costos de arranque comúnmente son equivalentes a un 5% de la inversión. Si la inversión para una instalación de este tipo es de \$250 millones de dólares, los costos de arranque serán equivalentes a \$12,500,000 dólares, apreciándose de este modo lo que se indicó anteriormente, que lo que más cuesta de un arranque es el retraso en las fechas programadas para iniciar operaciones, motivo por el cual es importante centrarnos en el tiempo de arranque lo cual evitará mayores costos.

⁶PETERS, Max S. TIMMERHAUS, Klaus D. and WEST, Ronald E. *Plant Design and economics for chemical engineers*. Quinta Edición. Editorial Mc. Graw Hill.

¹⁹GANS, Manfred. "The A to Z of plant startup". *Chemical Engineering*. (March 15, 1976).

²⁹MATLEY Jay. "Keys to successful plant startup". *Chemical Engineering*. (September 8, 1969).

CAPITULO 11

CUESTIONARIO DE EXPERIENCIAS

Para la validación de este trabajo se elaboró un cuestionario el cual fue aplicado a personas con experiencia en el área de precomisionamiento, comisionamiento y puesta en servicio, lo cual me permitiría aprobar o rechazar algunas de las ideas principales planteadas en el desarrollo de esta tesis.

Las preguntas fueron enfocadas para ser aplicadas a personal técnico, en particular a ingenieros especialistas involucrados en esta etapa, esto es debido a que los ingenieros tienen un conocimiento más global de las diversas etapas del proyecto lo cual no ocurre con el personal de menor nivel, los cuales solo están enfocados a tareas específicas.

Aunque algunas preguntas fueron enfocadas para validar o rechazar ciertas ideas ya plasmadas en la tesis, otras se realizaron con el fin de complementar el trabajo ya realizado.

A continuación se muestra un resumen de las respuestas mayormente obtenidas.

CUESTIONARIO

1.- De acuerdo a su experiencia y englobando en general todas las etapas de un proyecto así como su organización ¿Cuál considera que ha sido la causa más frecuente de falla en los arranques?

En la mayoría de las respuestas obtenidas se pudo observar que la mayoría de la gente entrevistada considera que las principales fallas de un arranque se deben a:

a) La Desorganización y falta o deficiencia en la coordinación de las partes involucradas y por ende de las actividades, tanto en el arranque como en las etapas precedentes como son principalmente la etapa de precomisionamiento y comisionamiento.

b) Los errores de diseño, el no considerar características en el diseño que permitan y faciliten la realización de pruebas, el no considerar un diseño para el arranque y la operación, y todo esto debido a la falta de involucramiento del personal de pruebas y arranque desde el inicio del proyecto

Otros aspectos que aunque no fueron considerados por la mayoría de los entrevistados, pero que también forman parte de algunas respuestas obtenidas y que considero son importantes de mencionar incluyen:

La mala planeación o la falta de alternativas de planeación, lo cual nos permita tener otro camino a seguir en caso de fallas.

Mala comunicación, sobre todo porque no se da seguimiento a los requerimientos, lo cual provoca deficiencias a la hora del arranque.

Deficiencias en la instalación del equipo

Deficiencia en las limpiezas y pruebas.

La inexperiencia y falta de mano de obra calificada, desconocimiento de esta etapa tanto en el aspecto administrativo como en lo técnico.

El envío de personal de proveedores no adecuado para la etapa de pruebas y arranque.

Falta de información y/o la no aplicación de los procedimientos o no lectura anticipada de manuales antes de empezar el arranque.

Errores de proveedores.

Errores de construcción e instalación.

2.- ¿Cuál ha sido el tiempo máximo y mínimo de retraso con respecto al programa original que ha tenido conocimiento en la realización de un arranque?

Los tiempos variarán de acuerdo al tipo de planta y en donde se realicen, ya que intervienen factores externos, por ejemplo en instalaciones costa afuera el mal tiempo, las limitantes de logística y el hospedaje, provoca que de las 24 horas de los turnos diurno y nocturno solo se aprovechen pocas horas reales de trabajo por cada turno.

Pero de las personas encuestadas se obtuvo un promedio de 2 meses de retraso mínimo con respecto al programa original, aunque se tuvo conocimiento de algún caso en el cual se pudo obtener el arranque de una planta en el tiempo programado y hasta con 2 meses de anticipación, esto debido a que ya se tenía experiencia en plantas similares, el líder de arranque era una persona con experiencia, la buena administración y a que el personal de pruebas y arranques estuvo involucrado desde el principio del proyecto. Con lo cual podemos observar que son puntos clave y de importancia a considerar en los arranques exitosos.

El tiempo máximo de arranque que se tuvo conocimiento fue de 2 a 3 años, esto debido a algunos factores por ejemplo a que era el primero en su género, o debido a un mal diseño, esto nos permite conocer la importancia de la participación del grupo de arranque en esta etapa.

3.-Tomando como referencia 2 proyectos en los cuales haya participado. Uno en el cual considere que se logró un arranque de la planta exitoso(es decir dentro del tiempo y costo estimado o por lo menos en una aproximación al tiempo programado) al cual llamaremos proyecto tipo A y otro proyecto con fallas y mucho retraso con respecto al tiempo programado al cual llamaremos proyecto tipo B por favor responda a las siguientes preguntas:

Questionamiento	Arranque dentro de limites de tiempo y costo (PROYECTO TIPO A)	Arranque fuera de tiempo y costo (PROYECTO TIPO B)
¿El personal contaba con experiencia suficiente?	SI	<i>SI Pero en muchos casos se tuvieron deficiencias, por ejemplo solo cierta cantidad del personal tenía experiencia. O la existencia de personal inexperto en los puestos clave.</i>
¿Se llevo a cabo el entrenamiento adecuado del personal de operación?	SI	<i>SI Pero nuevamente hay deficiencias por la falta de capacitación a la totalidad del personal O en algunos casos el personal de capacitación fue el</i>

		<i>inadecuado.</i>
¿Qué tipo de entrenamiento se llevo a cabo? (En sitio, salón de clases, maquetas, simuladores)	<i>TEORICO (Ya sea por proveedores, personal de proceso, etc.) y PRACTICO (en sitio, por medio de simuladores)</i>	<i>En la mayoría de las respuestas el entrenamiento solo fue teórico.</i>
¿Cuáles fueron los componentes del entrenamiento recibido? (manual, simuladores, modelos)	<i>Manuales de operación Simuladores Modelos Maquetas electrónicas Manuales de proveedores Datos de ingeniería Procedimientos</i>	<i>Solo manuales (de procedimientos y de proveedor).</i>
¿Hubo comunicación entre los involucrados?	<i>SI</i>	<i>SI (pero la comunicación fue muy pobre).</i>
¿La comunicación fue detallada?	<i>SI</i>	<i>No, la comunicación fue deficiente.</i>
¿Se tenía una organización bien estructurada?	<i>SI</i>	<i>NO, en la mayoría de los casos.</i>
¿Se tenía una organización con autoridad y responsabilidad definidas?	<i>SI</i>	<i>SI (Pero solo la autoridad estaba definida, las responsabilidades no se definieron o solo en algunas etapas).</i>
¿El personal de arranque estuvo involucrado desde el diseño de la planta?	<i>SI</i>	<i>NO</i>
¿Se verificó el equipo durante la fabricación, antes del embarque y al arribo a la planta?	<i>SI</i>	<i>Solo en algunas ocasiones.</i>
¿Se tuvieron reuniones diarias para ponerse de acuerdo o coordinar esfuerzos?	<i>SI en su mayoría solo unas personas indicaron reuniones cada 15 días</i>	<i>En la mayoría NO.</i>
¿Todos conocían las actividades diarias a realizar?	<i>SI</i>	<i>En la mitad de los casos si y en la otra mitad no (o en muchas ocasiones no se</i>

		<i>cumplían).</i>
¿Se acordó la interfase entre el personal de arranque y construcción?	<i>SI</i>	<i>En la mitad de los casos si y en la otra mitad no.</i>
¿Se asignó a personal de apoyo en la etapa de construcción?	<i>SI</i>	<i>SI En la mayoría de los casos, pero la intervención fue tardía.</i>
¿Se consideró la asistencia de los representantes del fabricante durante construcción?	<i>SI</i>	<i>SI en su mayoría.</i>
¿Se definió el alcance de terminación mecánica?	<i>SI</i>	<i>SI (pero no hubo entendimiento en algunos casos).</i>
¿Considera que fue oportuna la intervención del personal de puesta en servicio durante la etapa de construcción?	<i>SI</i>	<i>No, fue tardía.</i>
¿Se estableció un grupo y un procedimiento para aceptar las instalaciones de construcción?	<i>SI</i>	<i>SI</i>
¿Se aplicaron listas de verificación (Check List)?	<i>SI</i>	<i>En la mitad de los encuestados la mitad la respuesta fue si y en la otra mitad no.</i>
¿Se tenían partes de repuesto accesibles?	<i>SI</i>	<i>SI (pero en algunas ocasiones no fueron suficientes o no estaban a tiempo, solo se solicitaban cuando ya se requerían).</i>
¿Se involucro al proveedor durante la etapa de puesta en servicio?	<i>SI</i>	<i>SI</i>
¿Se elaboró y se contó con un manual de operación antes del arranque?	<i>SI</i>	<i>SI (pero en la mayoría de los casos no se tuvo a tiempo o no</i>

		<i>era muy detallado.</i>
¿Se tenían procedimientos para el arranque?	<i>SI</i>	<i>SI (pero en algunos casos no completos o no detallados).</i>

Como podemos observar, para los arranques que no fueron exitosos, aunque si existieron los factores considerados como importantes como se indica en el desarrollo del presente trabajo, pero estos siempre fueron deficientes.

4.- ¿Cuál considera que es la etapa ideal para involucrar al personal de puesta en servicio?

La mayoría del personal entrevistado consideró que el personal de puesta en servicio debería involucrarse desde el inicio del proyecto, incluso desde la propuesta aclarando que al inicio solo debe estar involucrado solo el personal clave como es el gerente de comisionamiento, el cual planeará de acuerdo a los alcances contractuales, y para generar estrategias técnico administrativas, posteriormente actuarán los especialistas durante la etapa de diseño y ya durante la etapa de construcción el personal adicional.

5.- ¿De que forma considera que el personal de pruebas y arranque debe participar durante la etapa de diseño?

En esta etapa deben participar los especialistas en forma de asesorías, aportando experiencias y revisando ingeniería, aplicando comentarios de fallas más comunes detectadas en proyectos anteriores, revisando los requerimientos de limpiezas, accesibilidad, (arreglo del equipo), el como se arrancará, y la parte operacional del diseño.

6.- ¿De que forma el personal de arranque puede participar en la etapa de procura?

- En las revisiones de las requisiciones, las ordenes de compra para considerar los tiempos de entrega.*
- Revisando las partes de repuesto, verificando las listas del proveedor.*
- Suministrando la lista de consumibles a usar en la etapa de puesta en servicio y operación.*
- Participación de pruebas en fábrica.*
- En la revisión de los alcances del proveedor y para verificar su presencia en la etapa de pruebas y puesta en servicio.*
- Para requerir del proveedor todo lo necesario para el arranque manuales, catálogos, procedimientos, herramientas especiales, refacciones, etc.*

7.- ¿De que forma se apoya a construcción?

Detectando oportunamente posibles fallas en la conexión e instalación de equipos.

Revisando instalaciones para la limpieza y el precomisionamiento.

En la revisión de instalaciones con listas de verificación.

Corrigiendo errores de diseño al construir y previendo problemas futuros para la etapa de operación y pruebas.

En la revisión del avance de los trabajos.

*Revisando los sistemas antes de la transferencia.
En la integración de los equipos a los sistemas.*

8.- ¿En que aspectos ayuda esta actividad al personal de arranque?

*En definir prioridades.
En detectar problemas a tiempo y solucionarlos con anticipación.
Evitar retrasos al personal de pruebas y arranque.
En conocer a fondo los sistemas.
En el conocimiento de nuevos equipos.
Arrancar sistemas con mayor confiabilidad.
Ahorrar tiempo de corrección de las observaciones para la puesta en servicio.
En establecer la forma de operar.*

9.- ¿Cómo se realiza el cambio de una construcción por áreas a una construcción por sistemas?
¿De que depende?

*Teniendo desde el inicio la visión de sistemas y no de áreas.
Realizando un programa en conjunto entre construcción y pruebas y arranques para cambiar de áreas a sistemas, se indican los sistemas a terminar por orden de prioridades, necesidades del cliente o de acuerdo al equipo y material disponible.*

10.- ¿Cuales han sido los problemas más comunes encontrados en la etapa de lavados, pruebas hidrostáticas y neumáticas, eléctricas, de instrumentos, etc.?

En la etapa de lavados.

Los problemas más comunes son:

- La falta de supervisión en esta etapa que ocasiona que se encuentre escoria, piedras, etc. en los sistemas.*
- No accesibilidad de una fuente de suministro de agua.*
- No aplicación del químico adecuado o limpieza inadecuada del químico remanente.*
- En las Pruebas hidrostáticas.- Falta de terminación, mal apriete, empaques inadecuados.*
- En las pruebas Neumáticas.- Fugas.*

En las pruebas de Instrumentos.

- Falla de pruebas de comunicación con cuarto de control*
- Fallas de comunicación de los sistemas de control debidos a diferentes protocolos de módulos usados.*
- Instrumentación inadecuada por modificaciones realizadas.*
- Cambios de configuración.*
- Instrumentos descalibrados, transmisores fuera de rango, pruebas de lazos mal realizadas.*
- Mal apriete de tubing, conectores forzados, tableros mal conectados, cables rasgados.*

Pruebas Eléctricas.

- La información de fabricante tiene muchas modificaciones por no coincidir con los requerimientos del sistema eléctrico total.*
- Mal manejo de químicos durante el llenado de baterías.*
- Cables mal identificados o sin etiquetar, que los cables o conexiones estén invertidos.*

11.- ¿Cuál fue su solución? y/o ¿Qué solución propondría?

*Hidrostáticas.- Conseguir agua en zonas áridas, disposición de agua después de las pruebas.
Fugas en interconexiones del equipo.*

Fallas de lavados.- Poner planta de tratamiento de aguas.

Fallas Neumáticas.- Aplicación de teflón y sellador a uniones.

Fallas eléctricas.- Revisión en campo de la documentación de proveedor, profundizar en la seguridad más estricta

Instrumentos.- Realizar pruebas de señales con anticipación. Verificación desde ingeniería que los protocolos sean similares.

En general:

Tener documentación a la mano, aplicar correctamente los procedimientos.

Tener gente bien preparada técnicamente.

Asegurar que se va a hacer.

Verificar el protocolo y aplicar el check list.

Mayor comunicación entre comisionamiento e ingeniería.

Revisión del procedimiento de ingeniería de la funcionalidad.

Supervisión en fábrica.

Supervisión de control de calidad.

12.- ¿Cuáles han sido los problemas mecánicos más frecuentes?

En los equipos estáticos.- Suciedad o limpieza deficiente.

En los equipos Dinámicos.- Mal almacenamiento, corrosión interna, falta de mantenimiento preventivo.

Problemas de alineación, balanceo en equipos, que provocan desgastes, atoramientos, etc.

Mal diseño de calderas y turbinas.

Vibración fuera de rango.

13.- ¿Cuales son los problemas más frecuentes en bombas?

Fallas de diseño.

Mala instalación.

Mala alineación entre flechas.

Lubricación deficiente e inadecuada.

Capacidad inadecuada de bombas.

Ensuciamiento de alabes (por polvos muy finos).

Problemas en sellos y empaques (verificar materiales de sellos).

Falta de cebado en la línea de succión.

En los motores, ruido en rodamientos, sobrecalentamiento, corrosión.

14.- ¿Cuales son los problemas más frecuentes en equipo eléctrico?

Baja calidad del equipo (debido a que a menudo se compra el equipo más barato).

En los tableros el fabricante no realiza las pruebas que se necesitan.

Equipos no adecuados para el ambiente donde se instalara.

Mal cálculo de fusibles.

Mala aplicación de aislante en terminales de motores.

Torqueo deficiente en terminales de alimentación que genera puntos calientes y disparo de protecciones.

Mal aterrizamiento o conexión a tierra no apropiado.

Falso contacto en terminales de control.

Mal conexionado de cableado.

15.- ¿Cuales son los problemas más frecuentes en válvulas y sistemas de control?

Válvulas:

Mala selección.

Fugas.

Fugas por el estopero.

Daños en compuertas por tubería sucia.

Mala colocación con respecto a la dirección del flujo.

Falta de sellado.

Los indicadores de interruptores de posición de válvula no cumplen al 100%.

Desajuste de los interruptores de posición de válvula abierta o cerrada.

Mala calibración.

Sistemas de control:

Problemas de configuración.

Aire sucio, sintonización pobre.

Diferencias de ajuste entre el instrumento de campo y la señal.

No coordinación de señal con el instrumento en campo.

Ambiente inadecuado de almacén, no existencia de desecantes.

Conexión de la acometida eléctrica floja en todos los instrumentos, mal apriete que evita que haya voltaje.

Problemas de configuración, daños por sobrecarga.

CAPITULO 12.

CASO DE ESTUDIO

Como un complemento al cuestionario de experiencias del capítulo anterior, a continuación se describen 2 casos de arranque, uno no exitoso y otro exitoso.

CASO 1. ARRANQUE NO EXITOSO:

EL ARRANQUE DE UNA UNIDAD DE ISOMERIZACIÓN.

En el arranque de una unidad de isomerización de la refinería de BP de la ciudad de Texas se experimentó uno de los más serios desastres en un lugar de trabajo de los E. U. de las últimas dos décadas; En este caso se observa el fracaso de un arranque debido a la falla en la aplicación de varios de los factores indicados en el desarrollo de esta tesis, comprobando con esto que la no aplicación de los mismos puede provocar no solo pérdidas económicas, sino también la pérdida de vidas humanas.

ANTECEDENTES DE LA CORPORACION BP Y DE LA REFINERIA TEXAS CITY.

El 23 de marzo del 2005, una explosión y fuego ocurrieron en la refinería BP en la ciudad de Texas, 30 millas al sureste de Houston. La refinería más grande de la compañía, puede producir cerca de 10 millones de galones de gasolina por día (cerca del 2.5 por ciento de la gasolina vendida en los Estados Unidos). Esta también produce combustible, diesel de avión y suministros de químicos de alimentación; 29 unidades de refinación de aceite y 4 unidades químicas cubren su superficie. La refinería emplea aproximadamente 1,800 trabajadores de BP, y en el tiempo del accidente, aproximadamente 800 trabajadores contratistas estuvieron apoyando en los trabajos a la redonda.

SINOPSIS DEL INCIDENTE.

El 23 de Marzo de 2005, a la 1:20 pm, la refinería BP de la ciudad de Texas sufrió uno de los peores desastres industriales en la historia de los Estados Unidos. El fuego y las explosiones mataron a 15 personas e hirieron a otras 180, alarmando a la comunidad, y resultando pérdidas financieras excediendo los \$1.5 billones. El incidente ocurrió durante el arranque de una unidad de isomerización (ISOM) cuando una torre separadora de refinado fue sobrellenada; los dispositivos de relevo de presión abrieron, generando un geiser de líquido inflamable de una chimenea de venteo.



DESCRIPCION DEL INCIDENTE.

En la mañana del 23 de marzo del 2005, fue arrancada la torre separadora de refinado en la unidad de isomerización en la refinería. Durante el arranque, el personal de operaciones bombeó hidrocarburos líquidos inflamables dentro de la torre por más de tres horas sin ser removido ningún líquido, lo cual era contrario a las instrucciones de los procedimientos de arranque. Las alarmas críticas y la instrumentación de control dieron falsas indicaciones que fallaron en alertar a los operadores del alto nivel en la torre. En consecuencia, la torre de 170 ft de altura fue sobrelleada y el líquido fluyó dentro de la tubería de la parte superior de la torre.

La tubería elevada descargó de la torre a las válvulas de relevo de presión localizadas 148 ft abajo. Conforme la tubería se llenó de líquido, la presión en el fondo se elevó rápidamente de 21 libras por pie cuadrado (psi) hasta cerca de 64 psi. Las tres válvulas de relevo de presión abrieron, descargando una gran cantidad de líquido inflamable a un tambor de venteo con una chimenea de venteo abierta a la atmósfera. El tambor de venteo y la chimenea se sobrellearon con líquido inflamable, el cual condujo a una descarga tipo geiser fuera de la chimenea. Este sistema de venteo fue un diseño anticuado e inseguro, nunca fue conectado a un sistema de quemador.

El líquido volátil descargado se evaporó conforme este cayó al suelo y formó una nube de vapor inflamable. El origen más probable de ignición para la nube de vapor fue una camioneta localizada alrededor de 25 ft del tambor de venteo.

LA UNIDAD DE PROCESO DE ISOMERIZACION.

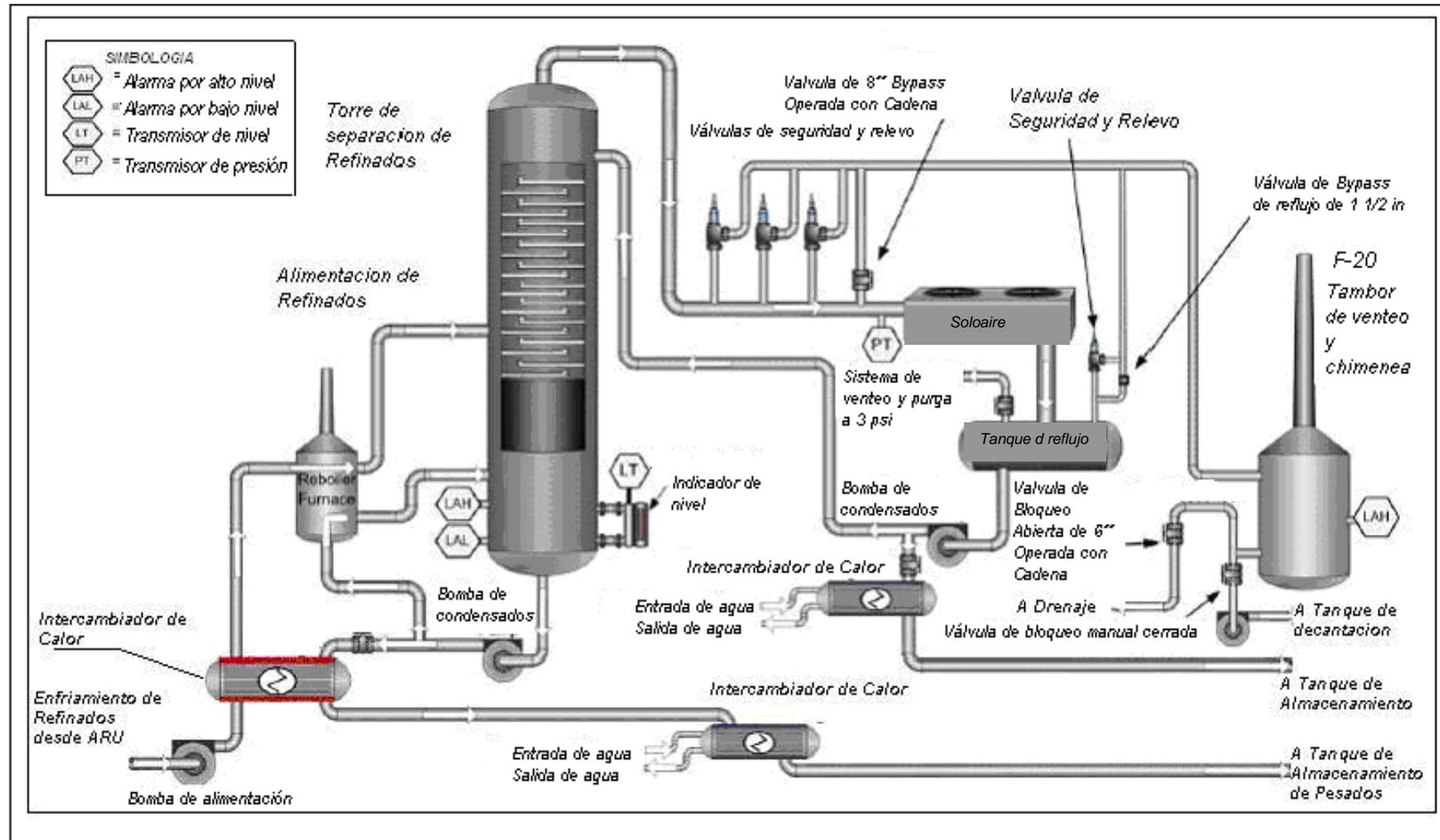
La unidad de isomerización, fue instalada en la refinería para proveer de octano más alto para la gasolina sin plomo. La Isomerización es un proceso refinación que altera el arreglo fundamental de los átomos en la molécula sin adicionar o remover nada del material original. En la refinería de BP Texas City, la unidad de isomerización convertiría la cadena recta normal de pentano y hexano en cadena ramificada de isopentano e isohexano de más alto octano para gasolina y alimentaciones químicas.

LA SECCION DEL SEPARADOR DE REFINADO.

La sección de separación de refinado toma el refinado – una no aromática, mezcla primaria de hidrocarburos de cadena recta- de la unidad recuperadora de aromáticos (ARU) y separa este en componentes ligeros y pesados. Cerca del 40% de la alimentación refinada es recuperada como refinado ligero (pentano/hexano primario). La alimentación remanente de refinado es recuperada como refinado pesado, el cual es usado como una alimentación química, combustible JP-4 de avión. La sección de separación de refinado puede procesar arriba de 45,000 bpd de alimentación refinada.

El equipo de proceso en la sección de separación de refinado consistió de una torre de destilación, un horno con 2 secciones de calentamiento, una usada como reboiler para calentar los fondos de la torre y la otra para precalentar la alimentación; condensadores de aleta enfriados por aire, un tambor de reflujo; varias bombas; e intercambiadores de calor.

Figura No. 5. Sección de refinado de la isomerizadora.



TORRE SEPARADORA DE REFINADO.

Durante el arranque de la sección de la torre de refinado, la torre separadora de refinado se sobrellenó con líquido. La torre era una columna de destilación con un diámetro interior de 12.5 ft (3.8m) y altura de 170 ft (52m) con un volumen aproximado de líquido de 154,800 galones (586,100L). La torre fue instalada con 70 platos de destilación para separar los refinados ligeros de los pesados.

La alimentación de líquido refinado es bombeada dentro de la torre separadora de refinado, en el punto medio de la torre. Una válvula de control de flujo automática ajusta el rango de la alimentación. La alimentación es precalentada por un intercambiador de calor usando producto refinado pesado y posteriormente en la sección de precalentamiento del horno rehervidor, el cual usa gas combustible de la refinería.

El refinado pesado es bombeado del fondo de la torre y circulado a través del horno rehervidor, donde es calentado y después regresado por abajo del plato del fondo. El producto de refinado pesado es también llevado como una corriente lateral en la descarga de la bomba de circulación y enviado a almacenamiento. El flujo de esta corriente lateral es controlado por una válvula de control de nivel, ajustada para mantener un nivel constante en la torre. El separador de refinado también fue instalado con alarmas redundantes de alto y bajo nivel.

La corriente lateral del producto de refinado pesado fluye a través de 2 intercambiadores de calor, uno que intercambia calor del refinado pesado con la alimentación mas fría de entrada a la torre de refinado, y un segundo que enfría la alimentación de refinado pesado usando agua, antes de que el refinado pesado sea enviado a almacenamiento.

Los vapores del refinado ligero fluyen hacia arriba y descienden una sección de tubería de 148 ft de longitud antes de que sean condensados por los soloaires y después depositados dentro de un tanque de reflujo. El líquido del tanque de reflujo, es entonces bombeado de nuevo dentro de la torre separadora de refinado arriba del plato 1 (el plato superior). El tanque de reflujo también tenía alarmas de alto y bajo nivel y una válvula de relevo de seguridad ajustadas a 70 psig. Una línea de bypass, permite la descarga de no condensables y la purga del sistema. Durante el arranque, los vapores no condensados que incrementan en el tanque son normalmente venteados a través de una válvula de control a la purga de 3 lb y al sistema de venteo de gas de la refinería. Esta válvula de control malfunctionó y no fue usada durante el arranque.

VÁLVULAS DE RELEVO.

Para proteger a la torre separadora de la sobrepresión, 3 válvulas de relevo de seguridad en paralelo fueron localizadas en la línea superior de vapor, 148 ft abajo del domo de la torre. La salida de las válvulas de relevo fue conducida por tubería a un cabezal que descargó dentro de un tambor de venteo instalado con una chimenea de venteo.

El ajuste de presiones de estas válvulas de relevo fueron 40, 41, y 42 psig. respectivamente. Una línea de 8 in de diámetro, instalada con una válvula manual de cadena, bypasea las válvulas de relevo para descargar los no condensables y para purga del sistema. En marzo 23 del 2005, durante el arranque, el separador de refinado se sobrellenó con líquido refinado. Cuando se combinó la presión de la torre con la presión adicional- producida por el peso del líquido refinado conforme este

se acumulo en la línea superior- se excedió las presiones de ajuste de las válvulas de relevo de seguridad. Las válvulas abrieron y descargaron líquido refinado dentro de un cabezal.

El cabezal recibió hidrocarburos líquidos y/o vapores de las válvulas de relevo de venteo y de purga del equipo y los descargó al tambor de venteo.

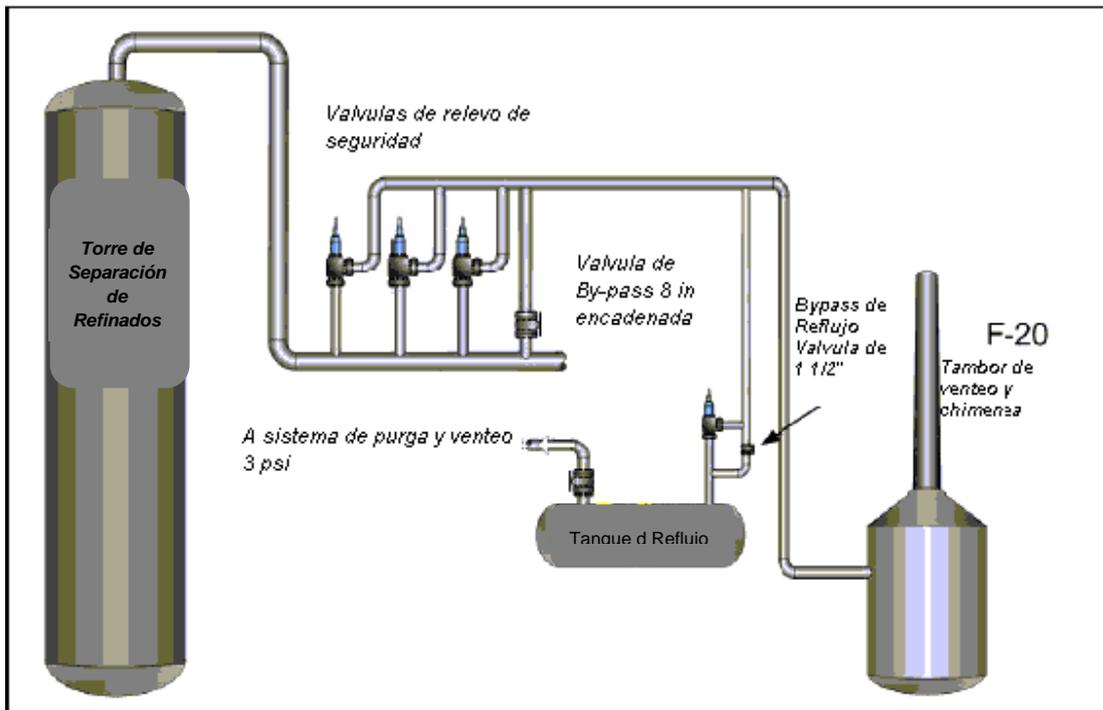


FIGURA No. 6. Torre separadora, válvulas de relevo y tanque de reflujo.

TAMBOR DE VENTEO Y CHIMENEA.

El tambor de venteo y la chimenea fueron diseñados para aceptar una mezcla de hidrocarburos líquidos y vapor de las válvulas de venteo de relevo y de purga durante los trastornos de la unidad. En operación normal, los vapores de hidrocarburos ligeros retirados de los líquidos, suben a través de una serie de baffles, y dispersan fuera el domo de la chimenea a la atmósfera. Cualquier líquido o vapor de hidrocarburos pesados descargados dentro del tambor ambos caen, o condensan y después caen al fondo del tambor donde se colectan. En este incidente, sin embargo, una gran cantidad de líquido refinado descargó dentro del sistema de venteo; el tambor y la chimenea se llenaron y después se sobrellenaron, resultando líquido refinado arrojado fuera de la chimenea a la atmósfera y descargando de la base del tambor de venteo en el sistema de drenaje de la unidad de isomerización a través de una válvula de bloqueo manual de 6 in de cadena abierta. Esta práctica de descargar al drenaje fue insegura; las guías de seguridad industrial no recomiendan la descarga de líquidos inflamables que evaporan inmediatamente dentro de un drenaje.

El tambor vertical con un diámetro interior de 10 ft (3m) y 27 ft (8m) de alto, fue construido con una chimenea de 34 in (86cm) de diámetro que descargó a la atmósfera a una altura de 119 ft (36m) del piso. El volumen total aproximado del líquido del tambor de venteo y la chimenea fue de 22,800 galones (86,200L). El tambor tenía 7 baffles internos.

Un nivel de líquido, normalmente agua, fue mantenido en el fondo del tambor de venteo. La altura de este nivel fue controlada por un cuello de ganso al drenaje cercano.

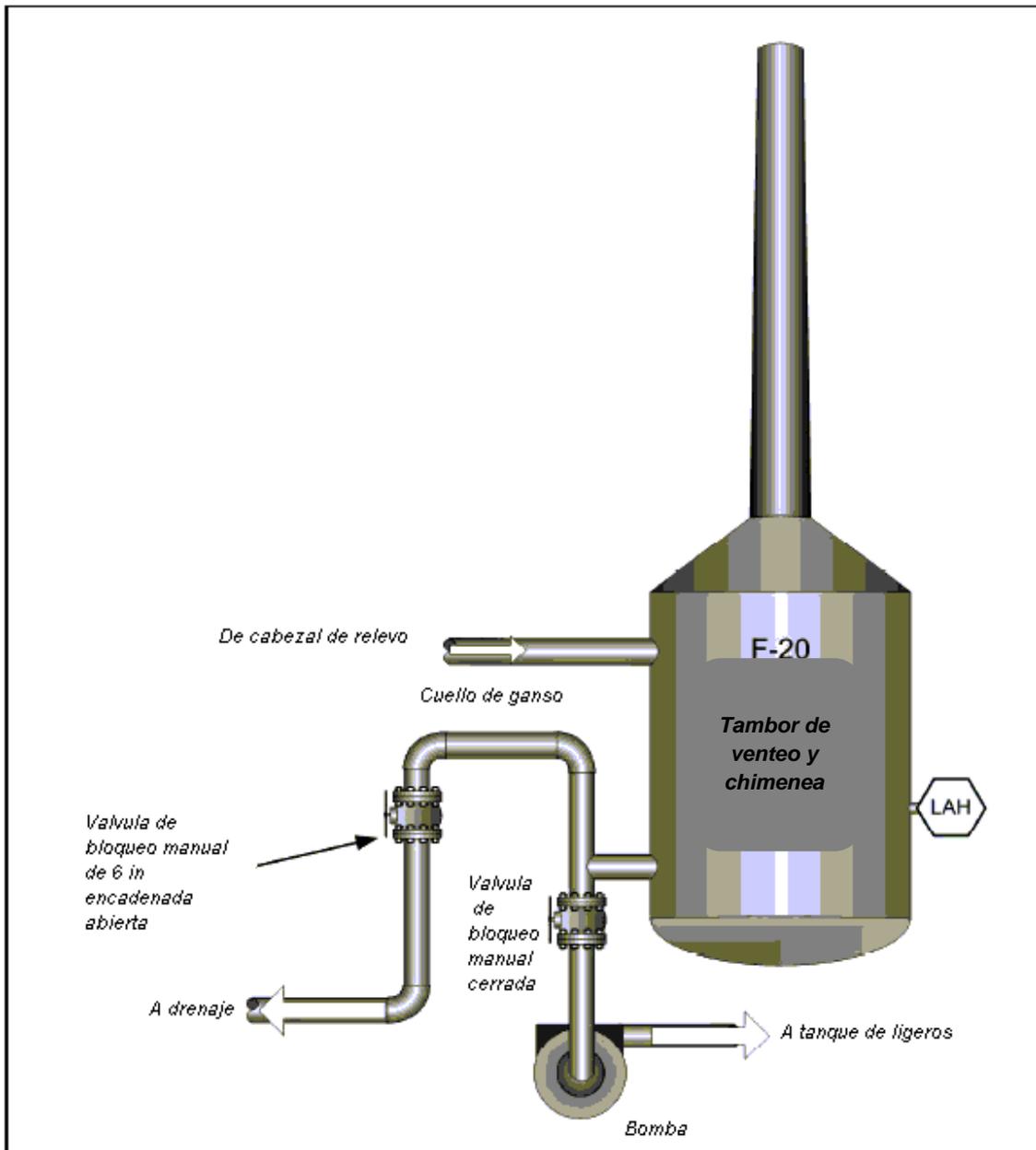


Figura No. 7. Tambor de venteo y cuello de ganso.

CLAVES TECNICAS ENCONTRADAS.

1. El procedimiento de arranque de la isomerizadora requería que la válvula de control de nivel en la torre separadora de refinado fuera usada para enviar el líquido de la torre a almacenamiento. Sin embargo, esta válvula fue cerrada por un operador y la torre se llenó por más de 3 horas sin remover ningún líquido. Esto llevo a la inundación de la torre y a una alta presión, lo cual activó a las válvulas de relevo que descargaron líquido flamable al sistema de venteo. Los factores involucrados en el sobrellenado de la torre incluyeron:
 - El indicador de nivel de la torre mostró que el nivel de la torre estaba declinando cuando en realidad se estaba sobrellenando. La alarma redundante de alto nivel no se activó, y la torre no estaba equipada con ningún otro indicador de nivel o dispositivo automático de seguridad.
 - El despliegue del tablero de control no proporcionó adecuada información sobre el desequilibrio de los flujos dentro y fuera de la torre para alertar a los operadores de la peligrosidad del alto nivel.
 - La falta de una vigilada supervisión y personal técnicamente entrenado durante el arranque (un periodo especial de peligro), fue una omisión contraria a las guías de seguridad de la compañía. Un operador extra del tablero no fue asignado para apoyar, a pesar de que una evaluación de personal recomendó un operador adicional para el tablero en todos los arranques de la isomerizadora.
 - Durante el cambio de turno los supervisores y operadores comunicaron pobremente la información crítica con respecto al arranque.
 - Los operadores de la isomerizadora probablemente estuvieron fatigados de trabajar turnos de 12 horas por 29 o más días consecutivos.
 - El entrenamiento del operador fue inadecuado. El personal del departamento de entrenamiento central había sido reducido de 28 a 8, y los simuladores no estuvieron disponibles para que los operadores practicasen situaciones anormales, incluyendo operaciones no frecuentes y altamente peligrosas como los arranques.
 - Procedimientos obsoletos e inefectivos no direccionaron los problemas operacionales recurrentes durante el arranque, dejando a los operadores creer que los procedimientos podrían ser alterados o no tenían que ser seguidos durante los procesos de arranque.
2. La unidad de proceso fue iniciada a pesar de los previos malfuncionamientos del indicador de nivel de la torre y una válvula de control de presión.
3. El tamaño del tambor de venteo fue insuficiente para contener el líquido enviado a este por las válvulas de relevo de presión. El tambor de venteo se sobrellenó y la chimenea venteó líquido flamable a la atmosfera, el cual cayó al suelo y formo una nube de vapor que se encendió.
4. BP no reemplazó los tambores de venteo y chimeneas atmosféricas, aunque una serie de incidentes advirtieron que este equipo era inseguro. OSHA citó un tambor de venteo similar y una chimenea como insegura, pero la mención fue eliminada como parte de un acuerdo establecido y por lo tanto el tambor no fue conectado a un quemador como se recomendó. Los standards de BP requerían que la chimenea de venteo fuera reemplazada con equipo tal como un quemador.
5. Trailers ocupados se colocaron muy cerca de una unidad de proceso manejando materiales altamente peligrosos.

6. Los gerentes de BP Texas city no implementaron efectivamente su política de revisión de seguridad del pre arranque para asegurar que personal no esencial fuera removido de las áreas en y alrededor de las unidades de proceso durante los arranques, en tiempo especial de peligro.

MAL FUNCIONAMIENTO DE LA INSTRUMENTACION.

La decisión tomada por el operador del tablero fue influenciada por la incorrecta calibración de la instrumentación en la torre de separación de refinado. Las lecturas exactas de los instrumentos acerca de las condiciones del proceso, tales como el nivel del producto, son críticas durante el arranque de una unidad, estas proveen al operador con una forma de monitorear el proceso y ayudan al operador a detectar irregularidades. Cuando la instrumentación provee información falsa, los accidentes son probables.

Durante el arranque el 23 de marzo del 2005, el transmisor de nivel indicó que el nivel del líquido en la torre separadora estaba declinando gradualmente, aunque estaba en realidad aumentando. Aproximadamente 16 minutos antes de las explosiones, el indicador de nivel leyó una altura de 7.9 ft en la torre sin embargo, el nivel de la torre era en realidad de 158 ft. El personal de operaciones involucrado en el arranque de la sección de refinado ignoraba que la lectura del transmisor era inexacta.

La creencia del operador del tablero que el nivel de la torre era exacto fue reforzado por la falla de activación de la alarma de alto nivel. Esta alarma fue conectada a la torre para proveer una indicación redundante de alto nivel debido al malfuncionamiento del transmisor de nivel. Sin embargo el punto de ajuste para esta alarma no fue conocido por personal de operaciones o provisto en el procedimiento, datos de control o material de entrenamiento. La falta de un set point al cual la alarma sonaría hizo menos aparente el reconocimiento de la falla de la alarma.

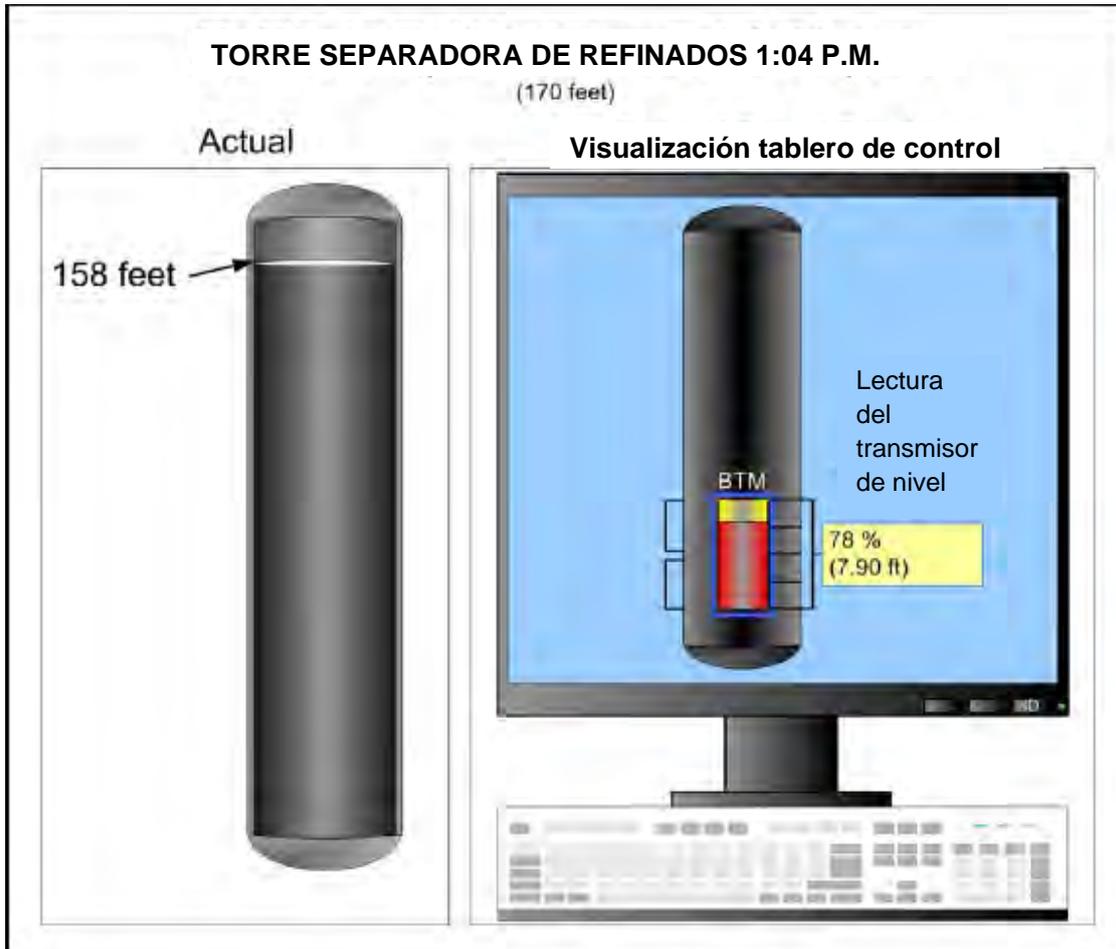


Figura No. 8. A la 1:04 el nivel del líquido de la torre era 158 ft, pero el sistema de control computarizado indicó a los operadores que el nivel estaba a 7.9 ft.

FALLAS DE LA INSTRUMENTACIÓN.

Los instrumentos relacionados con la torre separadora de refinados y el tambor de venteo fueron factores causales en el incidente. La siguiente tabla resume los instrumentos cuya falla contribuyeron al incidente.

TAG	INSTTO.	FUNCION	MODO DE FALLA	PROBALE CAUSA DE FALLA	EFECTO
LT-5100	Transmisor de nivel de la torre separadora de refinados	Transmitir una señal al sistema de control para indicar el nivel en la torre	Lectura incorrecta antes del incidente	Instrumento no calibrado para la gravedad específica real del fluido de proceso de la ISOM, a las temperaturas de operación.	El transmisor mostró falsamente el nivel en los fondos de la torre abajo del 100% y cayendo, cuando en realidad la torre se estaba sobrellenando.
LSH-5102	Alarma de alto nivel redundante de la torre separadora de refinados	Alarmar cuando el nivel en la torre excede un valor máximo ajustado.	Fallo al señalar cuando el nivel de la torre alcanzó el punto de ajuste asignado		Los operadores no recibieron a señal de advertencia de que el máximo nivel del fondo había sido excedido
LG-1002 A/B	Mirilla de nivel de la torre separadora de refinado	Indica visualmente el nivel de la torre	La mirilla estuvo sucia en el interior, el nivel de la torre no pudo ser determinado visualmente	Mirilla no limpia	La calibración del transmisor de nivel no pudo ser efectivamente desarrollada sin la verificación de la mirilla. Los operadores no tuvieron apoyo para determinar el nivel de la torre.
LSH-5020	Alarma de alto nivel del tambor de venteo	Alarmar cuando el nivel en el tambor de venteo excede un valor ajustado. Esta fue la única	Fallo al señalar cuando el nivel del fondo de la torre alcanzó el set point asignado.	Desplazador de nivel dañado (flotador)	Ninguna advertencia de que nivel del tambor de venteo estaba arriba del máximo

		alarma de alto nivel para el tambor de venteo.			
PCV-5002	Válvula de venteo de 3 lb de presión para el tanque de reflujó.	Disponibilidad para los operadores de ventear manualmente los gases.	La válvula falló para abrir durante el arranque.	Posible traba del vástago del actuador o falla neumática.	La unidad se arrancó con un conocido malfuncionamiento de esta válvula de control de presión.

Las hojas de datos de los instrumentos y los procedimientos de prueba y de calibración precisos y actualizados son necesarios para que los técnicos instrumentistas aseguren la fiabilidad del instrumento. Las hojas de datos para el transmisor de nivel de la torre separadora de refinados y otros instrumentos no fueron actualizadas o disponibles para el personal de mantenimiento, resultando en la falta de calibración del transmisor de nivel, como resultado el transmisor proporcionó falsa información a los operadores durante el arranque de la torre separadora de refinados.

Muchos instrumentos en la sección de separación de refinados fallaron, probablemente debido al inadecuado mantenimiento y prueba, contribuyendo al incidente. Las hojas de datos de los equipos no fueron actualizadas de tal forma que datos incorrectos como el valor de la gravedad específica para los hidrocarburos de proceso, resultaron en la mala calibración de instrumentos críticos. Las prácticas en sitio no aseguraron que los instrumentos fueran probados y/o reparados antes del arranque de la unidad. Fueron usados métodos y procedimientos no apropiados para probar la funcionalidad de los instrumentos como con la alarma de alto nivel del tambor de venteo.

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS Y MANTENIMIENTO.

Los técnicos instrumentistas manifestaron que no existieron procedimientos escritos para la prueba y mantenimiento de los instrumentos de la unidad de isomerización. Aunque BP tenía descripciones breves para probar unos cuantos instrumentos de la unidad isomerizadora, no tuvo instrucciones específicas u otros procedimientos escritos relacionados a la calibración, inspección, prueba, mantenimiento o reparación de los 5 instrumentos citados como causas relacionadas al incidente.

Por ejemplo para la alarma de alto nivel del venteo no se proporcionó un método de prueba para asegurar la adecuada operación de la alarma. Los técnicos frecuentemente usaron un método de mover físicamente el flotador con una varilla para probar la alarma. Este método de prueba ocultó el defecto del flotador, lo cual probablemente impidió la operación adecuada de la alarma durante el incidente.

POBRE DISPLAY DEL TABLERO DE CONTROL.

El operador del tablero dependió del sistema para obtener información crucial del proceso, el cual requiere de un tablero de control bien diseñado. Sin embargo en el día del incidente, la pantalla del sistema de control computarizado no proporcionó ningún dato del flujo dentro y fuera de la unidad de refinado en la misma pantalla desplegada. Ni un cálculo de balance de materia, impidiendo al operador del tablero la habilidad de reconocer la necesidad de enviar el líquido refinado a almacenamiento. Para prevenir el inundamiento de la torre, el líquido refinado entrante al proceso debería estar balanceado con los productos que salen de la unidad. La pantalla del sistema de control computarizado que dio la lectura de cuanto líquido refinado estaba entrando en la unidad estaba en una pantalla diferente de la que mostraba cuanto producto refinado estaba dejando la unidad. El tener las dos lecturas en pantallas separadas disminuye la visibilidad e importancia de monitorear el líquido refinado contra la salida.

Se recomienda que los sistemas de control computarizados incluyan una vista del proceso apropiada, y un resumen de balance de materia para asegurar al operador al operador la completa vigilancia del proceso.

INEFECTIVA SUPERVISION Y ASISTENCIA TECNICA DURANTE EL ARRANQUE.

Faltó efectiva vigilancia de supervisión durante el arranque de la unidad de refinado. Cuando el supervisor de día dejó la refinería por una emergencia medica familiar, personal no entrenado técnicamente con experiencia en la unidad isomerizadora fue asignado para apoyar y supervisar al operador del tablero. No fue claro quien era el responsable de la supervisión de la unidad de isomerización una vez que el supervisor de día partió, y al único individuo disponible para proveer tal supervisión le faltaba conocimiento técnico de la unidad. Las dos personas que tenían conocimiento y experiencia no fueron asignadas para ayudar al arranque.

La gerencia de BP Texas city no aseguró que tal personal fuera asignado al arranque.

INEFECTIVA E INSUFICIENTE COMUNICACIÓN ENTRE EL PERSONAL DE OPERACIÓN.

Una mala comunicación ocurrió entre el personal de operación el 23 de marzo del 2005, que condujeron a la demora en el envío del liquido refinado a almacenamiento: 1) las instrucciones para enviar productos refinados a los tanques de almacenamiento no fueron comunicadas de la gerencia de Texas city y de los supervisores a los operadores; y 2) la condición de la unidad – específicamente, el grado al cual la unidad fue llenada con líquido refinado- no fue claramente comunicada del turno de noche al turno de día. Estas fallas en la comunicación fueron el resultado de la falta de la gerencia en enfatizar la importancia de la comunicación. BP no tenía una política para la efectiva comunicación de turnos, no hicieron respetar el cambio formal de personal de turno o requerir la bitácora o los registros de procedimientos para asegurar que la comunicación fuera clara y apropiadamente diseminada entre los grupos de operación.

Las inadecuadas instrucciones verbales entre la supervisión y el personal de operación con respecto a los aspectos críticos del arranque de la unidad de isomerización condujeron al cerrado inicial de la válvula que envía los refinados a almacenamiento. Una discusión crucial cara a cara entre el

operador quien inició el proceso de arranque de la unidad de refinado, y el operador quien terminó el trabajo no ocurrió en el cambio de turno. La comunicación escrita del turno de noche en la bitácora de la unidad fue mínima y no clara, impidiendo al operador del tablero entender exactamente los pasos específicos de los procedimientos desarrollados durante los turnos previos y los pasos del procedimiento restantes.

En la mañana del incidente, las instrucciones de envío de alimentación no fueron escritas en ninguno la bitácora o los procedimientos de arranque. En lugar de esto, fueron dadas al operador del tablero por teléfono y por radio por un jefe operador quien, teniendo la experiencia y conocimiento para arrancar la unidad, era responsable de otras tareas de operación que llamaron su atención lejos de ayudar al operador del tablero en arrancar la sección de refinado de isomerización. La comunicación verbal entre los operadores fue vaga y apresurada. El operador del tablero creyó que le había dicho no enviar líquidos pesados del refinado a los tanques porque los tanques estaban llenos. El jefe operador creyó que él comunicó que la alimentación de refinados ligeros no había sido enviada al tanque normal, pero combinados con el flujo de refinados pesados para almacenamiento porque los tanques de refinados ligeros estaban llenos.

La comunicación es más efectiva cuando esta incluye múltiples métodos (ambos oral y escrito); y permiten la retroalimentación; y es enfatizado por la compañía. Durante tiempos de condiciones anormales de operación, tales como el arranque, el riesgo de operadores teniendo diferentes entendimientos del estado de la unidad de proceso también es grande.

La efectiva comunicación se completa por una clara definición de roles y responsabilidades con respecto a la comunicación para cada empleado.

FATIGA DEL OPERADOR.

La fatiga puede incrementar los errores y retrasar las respuestas. El día del incidente, el operador del tablero estaba probablemente fatigado. Él había trabajado turnos de 12 horas por 29 días consecutivos y generalmente durmiendo 5 a 6 horas por un periodo de 24 horas, aunque él reportó que se sentía mas descansado con 7 horas de sueño por noche. El operador de noche, quien lleno la torre trabajó 33 días consecutivos.

INADECUADO ENTRENAMIENTO DEL OPERADOR.

El inadecuado entrenamiento para personal de operación, particularmente para la posición del operador del tablero, contribuyó a causar el incidente. Los peligros del arranque de la unidad, incluyendo los escenarios de sobrellenado de la torre, no fueron adecuadamente cubiertos en el entrenamiento del operador.

El programa de entrenamiento para el operador de la unidad isomerizadora no incluyó:

- Entrenamiento en el manejo de situaciones anormales, la importancia de los cálculos de balance de materia, y como impedir los altos niveles de liquido en las torres.
- Efectivos métodos de verificación del conocimiento del operador; y

- Un programa formal para los grupos de operaciones para discutir condiciones peligrosas potenciales, tal como un arranque o paro, para incrementar el conocimiento del operador y definir roles.

INSUFICIENTE PERSONAL DURANTE EL ARRANQUE.

El 23 de Marzo del 2005, la unidad isomerizadora tuvo poco personal para la tarea de arranque. Un operador del tablero estuvo a cargo de monitorear y controlar las unidades de ISOM, NDU y AU2, las cuales bajo condiciones normales, tomaría cerca de 10.5 horas de un turno de 12 horas, si todas las unidades estuvieran en condición normal. En la mañana del incidente, sin embargo, el operador del tablero era también responsable de manejar el arranque de la sección de refinado de la unidad de isomerización. Un arranque es una condición anormal que requiere más control manual del proceso, como también pensamiento crítico.

Expertos en factores humanos han comparado las actividades durante condiciones de rutina y de no rutina y concluyeron que en una planta automatizada, la carga de trabajo incrementa con las condiciones anormales como los arranques.

En 2001, un análisis fue conducido cuando la NDU fue construida y las responsabilidades fueron similares para los operadores de tablero de AU2 e ISOM. Se estableció: Tener dos operadores en el tablero para cualquier actividad de arranque. Aunque el análisis se requirió 2 operadores para el tablero, la gerencia de Texas city no implementó esta recomendación para el arranque de la sección de refinados de la unidad isomerizadora.

FALTA DE UNA CULTURA DE REPORTE Y APRENDIZAJE

Reunir información apropiada, comunicar lecciones y el conocimiento de peligros son características de una efectiva cultura de seguridad. BP Texas city no tuvo una efectiva cultura de reporte y aprendizaje donde previos incidentes pudieron servir como oportunidades para impedir incidentes catastróficos.

Cultura de reporte:

Una cultura informada debe primero ser una cultura de reporte donde el personal informa a los gerentes acerca de errores, incidentes y otros concernientes a la seguridad.

El reporte de errores requiere una atmósfera de confianza, donde el personal es alentado y las organizaciones responden prontamente en forma significativa. Esta atmósfera de confianza requiere una "cultura justa" donde aquellos quienes reportan son protegidos.

Cultura de aprendizaje:

El grupo BP y Texas city carecieron de una cultura de aprendizaje. Una cultura de aprendizaje asegura que los reportes de incidentes e información de seguridad son analizados, las lecciones aprendidas comunicadas efectivamente, y que una pronta acción correctiva es tomada. El grupo BP y Texas city tuvieron serias deficiencias en esto.

- La gerencia no investigó adecuadamente incidentes previos que revelaron los serios peligros de los sistemas de venteo atmosférico en la isomerizadora y otras unidades de proceso y fallaron para tomar una acción correctiva.
- Los gerentes no actuaron sobre resultados de reportes previos, con más entrenamiento para operadores y supervisores, el uso de simuladores del tablero de control.
- No fueron realizados los reportes de malfuncionamiento de instrumentación antes del arranque de la isomerizadora.
- BP no monitoreo recurrentes malfuncionamientos de instrumentos, tal como el switch de alto nivel en la torre separadora de refinados y del tambor de venteo, para el análisis de la falla.

La falta de una cultura de aprendizaje y reporte fue también revelada con la inefectiva reacción a las importantes lecciones aprendidas del reporte de incidentes ocurridos en Grangemouth. Muchas de las fallas de organización en el incidente de la isomerizadora involucro ediciones que fueron también lecciones clave de Grangemouth.

El grupo BP careció de un efectivo programa para asegurar que las lecciones de incidentes internos y externos fueran incluidas en el corporativo.

FALTA DE CENTRARSE EN CONTROLAR EL RIESGO MAYOR.

BP no evaluó, ni controló efectivamente los riesgos de los peligros mayores en Texas city. En los eventos que encabezaron al incidente de la isomerizadora, los gerentes y operadores carecieron de un riesgo de peligro mayor:

- 1) El sistema de venteo no fue reemplazado, a pesar de que reportes previos de incidentes y políticas requerían convertir este a un quemador.
- 2) Tráileres ocupados fueron colocados peligrosamente cercanos a unidades de proceso porque los análisis de establecimiento fallaron al identificar los riesgos.
- 3) Personal no esencial no fue evacuado a pesar de los peligros planteados por el arranque de la unidad de isomerización.
- 4) El arranque fue autorizado a pesar de tener personal inadecuado, malfuncionamiento de instrumentos y equipo, y sin una revisión de seguridad de pre-arranque; y
- 5) durante el arranque, supervisión no calificada estuvo presente y los procedimientos no fueron seguidos.

Los estándares de seguridad de la refinería de BP Texas City, desde 1977, establecían que nuevas chimeneas de venteo no fueran permitidas y los tambores de venteo deberían ser conectados a un sistema cerrado o un quemador. Los ingenieros de BP propusieron conectar la descarga de las válvulas de relevo de la ISOM a un quemador como parte de un proyecto ambiental, pero este trabajo no fue desarrollado. Un sistema de quemador propiamente diseñado contendría la descarga segura de líquido en un tambor de disposición y quemar el vapor flamable previniendo una descarga peligrosa a la atmósfera. Los quemadores son los equipos de disposición frecuentemente más usados en la industria de refinación de petróleo.

CAUSAS CONTRIBUYENTES.

Los gerentes de BP Texas City:

- No crearon una cultura del reporte y aprendizaje; el reporte de malas noticias no fue fomentado.
- No aseguraron que los supervisores y gerentes siguieran el modelo e hicieran cumplir el uso de las políticas de la planta y procedimientos actualizados.
- No incorporaron buenas prácticas de diseño en la operación de la unidad isomerizadora. Ejemplos de estas fallas incluyen:
 - No instalaron un quemador para asegurar los combustibles flamables entrando al sistema de venteo.
 - Falta de controles automatizados en la torre separadora accionados por alto nivel, los cuales habría prevenido un nivel inseguro; y
 - Inadecuada instrumentación para advertir de sobrellenado en la torre de separación.
- No aseguraron que los operadores fueran supervisados y apoyados por personal experimentado, durante el arranque de la unidad.
- No incorporaron efectivamente consideraciones de factor humano en su programación de entrenamiento, personal, y trabajo para el personal de operaciones.
- El arranque de la torre separadora de refinado fue autorizado a pesar de que se conocían problemas con el transmisor de nivel de la torre y las alarmas de alto nivel en el fondo de la torre y el tambor de venteo; por ejemplo, una orden de trabajo fechada en marzo 10 y firmada por un gerente, reconocía que el transmisor de nivel necesitaba reparación pero indicaba que estas reparaciones serían diferidas hasta después del arranque.
- Careció de un efectivo programa de integridad mecánica para mantener instrumentos y equipo de proceso. Por ejemplo, instrumentos mal funcionando y el equipo no fue reparado antes de arrancar.
- No tuvo una efectiva política de tráfico de vehículos para controlar el tráfico de vehículos en áreas de peligro de procesos o para establecer distancias seguras de límites de unidades de proceso.
- Personal no esencial no fue removido de áreas en y alrededor de las unidades de proceso durante el peligroso arranque de la unidad.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar sus unidades de proceso para asegurar que equipo crítico de proceso es seguramente diseñado. En un mínimo.
 - a. Asegurar que las torres de destilación tengan una efectiva instrumentación y sistemas de control para prevenir el sobrellenado, tales como múltiples indicadores de nivel y apropiados controles automáticos.
 - b. Configurar las pantallas de los tableros de control para indicar claramente el balance de materia para las torres de destilación.
2. Asegurar que la instrumentación y los equipos de proceso necesarios para la operación segura es adecuadamente mantenido y probados. En un mínimo,
 - a. Establecer una base de datos de los equipos que capture la historia de pruebas, inspecciones, reparaciones, y orden de terminación de trabajo exitoso.
 - b. Analizar tendencias de reparación y ajustes de mantenimiento e intervalos de prueba para prevenir averías.
 - c. Requerir la reparación del malfuncionamiento de equipo de proceso antes de arrancar las unidades.
3. Establecer un programa que promueva el reporte, la investigación, y el análisis de incidentes, problemas de procesos, y mayores peligros de plantas sin temor a represalias. Asegurar acciones correctivas prontas basadas en reportes de incidentes y recomendaciones y compartir lecciones aprendidas con la fuerza de trabajo.
4. Mejorar el programa de entrenamiento del operador. En un mínimo requiere
 - a. Entrenamiento cara a cara conducido por personal con conocimiento específico en proceso y experiencia quien pueda evaluar la competencia del entrenado, y
 - b. Entrenamiento en reconocer y manejar situaciones anormales incluyendo el uso de simuladores o herramientas similares de entrenamiento.
5. Requerir personal adicional de operador del tablero durante el arranque de las unidades de proceso. Asegurar que las revisiones de peligro direccionen los niveles del personal durante condiciones anormales tales como arranques, paros, y problemas de la unidad.
6. Requerir supervisores informados o personal técnicamente entrenado para estar presente durante fases especiales de operación peligrosas tales como el arranque de una unidad.
7. Asegurar que los procedimientos de arranque de proceso están actualizados para reflejar las condiciones reales del proceso.

CASO 2. ARRANQUE EXITOSO.

EL ARRANQUE DE UN COMPLEJO DE OLEFINAS.

En Julio de 1999, COPESUL produjo etileno en especificación de su nueva planta de Olefinas en Río Grande en el Sur de Brasil. El etileno en especificación fue procesado solo 4 días después de que la alimentación fue introducida a los hornos por primera vez. COPESUL reconoce que muchos factores contribuyeron al rápido arranque de esta unidad. El siguiente caso describe lo que COPESUL, el contratista de ingeniería y procura y el constructor enlistaron durante el diseño, construcción y precomisionamiento de esta nueva planta de olefinas de 450,000 toneladas por año.

Planta 2. La nueva unidad 2 de olefinas de la planta brasileña esta basada en 100% nafta con C4 y C5 reciclados. La nueva unidad consiste de 6 hornos de craqueo más un horno de reciclado. La planta 2 usa un sistema depropanizador, convertidores acetileno y un C2 splitter. El sistema depropanizador incluye un depropanizador de alta presión y un depropanizador de baja presión. El producto del depropanizador de alta presión es comprimido antes de que este fluya al convertidor de acetileno donde los acetilenos C2 y una porción de acetilenos C3 y diolefinas son convertidos a etileno y propileno.

Diseño del Proyecto. Un equipo integrado por ingenieros del licenciador, compañía de ingeniería y personal de COPESUL desarrolló el diseño básico de la unidad. El equipo propuesto aseguró que los objetivos del proyecto fueran mantenidos a través de la fase de diseño. La experiencia de operación de COPESUL se integró a los expertos de diseño del contratista de ingeniería a través de revisiones de los DTI's y del Hazop. También, se realizaron esfuerzos conjuntos para mantener al mismo personal en el proyecto desde la fase de diseño hasta que la planta estuvo operando completamente. Fue importante para mantener la continuidad en el proyecto, capacitar a la gente para continuar y confirmar que los conceptos de diseño fueran implementados adecuadamente en campo.

El involucramiento de COPESUL en las etapas de diseño del proyecto continuó a través de la ingeniería detallada. Las experiencias de la planta 1 de COPESUL fueron continuamente transmitidas al contratista de ingeniería y procura, y estas lecciones fueron incorporadas en el diseño de la nueva planta a un nivel muy detallado. De esta forma, los problemas encontrados en la planta 1 fueron eliminados para la nueva planta a través de una ingeniería proactiva.

Un sistema avanzado de software fue usado para desarrollar el modelo electrónico tridimensional de la planta 2. Se instaló una estación de trabajo en el sitio de la planta y el equipo de operaciones del sitio revisó el modelo y se familiarizaron con las características físicas de la unidad diseñada.

Mientras tenía lugar el entrenamiento tradicional sobre los procedimientos de operación recomendados, el equipo de operaciones tuvo acceso a una representación precisa de la localización de instrumentos, válvulas y accesos a plataformas. Usando esta información, el equipo estuvo bien preparado para planear las actividades de precomisionamiento antes del término de construcción de la unidad.

El equipo de revisión del HAZOP fue un grupo multiespecialista de COPESUL, incluyendo empleados altamente experimentados de los grupos de ingeniería de procesos y de operación. El equipo fue capaz de llevar el reporte de mitigación del HAZOP al campo y confirmar que todas las recomendaciones fueran adecuadamente implementadas.

Fase de Construcción.- Desde el inicio de construcción, el equipo de puesta en servicio trabajó muy de cerca con el equipo de construcción. Existió la total participación entre ingenieros de puesta en servicio, constructores, personal de diseño y gerentes; todas las partes mantuvieron objetivos comunes de terminación exitosa del proyecto en programa, dentro del presupuesto y de una forma segura. La seguridad fue una alta prioridad para ambos COPESUL y la gerencia de construcción; se impusieron requerimientos estrictos de seguridad.

Un jefe de construcción del contratista de ingeniería fue asignado al sitio para la coordinación entre los equipos de diseño y construcción y para resolver cualquier pregunta que surgió durante construcción. Diseñadores de tubería, estructural e ingenieros instrumentistas estuvieron en el sitio de construcción conforme se requirió; ellos resolvieron cualquier problema y respondieron cualquier pregunta durante construcción. También facilitaron la comunicación entre el sitio de construcción y las oficinas del equipo de diseño en Houston.

Fueron sostenidas reuniones diarias de coordinación entre los representantes del contratista de construcción y el equipo de puesta en servicio de COPESUL. Estas reuniones fomentaron la comunicación y facilitaron todos los esfuerzos comunes.

Experimentado personal clave de puesta en servicio trabajaron de cerca con los inspectores de COPESUL y participaron en el chequeo del equipo en cuanto este arribó al sitio y fue instalado.

Antes de que la construcción estuviera terminada, el jefe de puesta en servicio conoció a fondo la planta. Su personal involucrado en el proceso de inspección le dio confianza de que el equipo fue correctamente instalado. Los ingenieros de puesta en servicio tomaron especial cuidado para continuar y confirmar que cualquier no conformidad fuera corregida de una manera oportuna.

El entrenamiento. Un intenso programa de entrenamiento del operador fue terminado antes del arranque. De esta manera, el personal de operación estuvo muy familiarizado con el diseño y la filosofía de operación de la nueva planta.

Las tareas tempranas incluyeron visitas por dos grupos separados de puesta en servicio de COPESUL a la planta Thai Olefinas Co. (TOC) en Tailandia, la cual usa un esquema de flujo muy similar y también fue diseñada por el contratista de ingeniería.

Los operadores de COPESUL se reunieron con los operadores de la planta TOC quienes compartieron los detalles de sus experiencias de arranque. Los operadores de COPESUL tomaron notas de estas reuniones y usaron estas notas en las sesiones de entrenamiento cuando ellos regresaron al sitio de trabajo. El conocimiento obtenido de estas reuniones con TOC capacitó a COPESUL para anticipar situaciones operacionales y facilitar el arranque. Algunos complementos de diseño y operación fueron realizados en la planta de COPESUL basados en las experiencias de TOC.

Los operadores senior de COPESUL guiaron sesiones de entrenamiento de operadores para los niveles medio y entrantes. Sesiones de discusión y preguntas siguieron a las presentaciones. Se representaron escenarios típicos realistas de la planta; en consecuencia, los entrenados tuvieron que anticipar problemas y resolver problemas. Estas sesiones fueron un complemento a las tareas diarias de chequeo e inspección de instalaciones conforme fueron terminadas por construcción.

Personal de precomisionamiento. Un grupo de jefes de operadores fue asignado cuando actividad significativa había progresado en campo. Este grupo consistió de operadores de proceso con 15 años de experiencia en plantas de etileno. Los ingenieros fueron personal experimentado del staff técnico de la planta 1. El resto del staff de operaciones fue igualmente dividido entre personal de nivel medio de experiencia con 5-10 años de experiencia de operación y aquellos con poca experiencia en operación. El personal de medio y bajo nivel de experiencia fue asignado al proyecto cerca de 8 meses antes del arranque.

Los miembros del equipo fueron seleccionados por los niveles de experiencia y motivación. En adición a los niveles de experiencia, el personal también fue seleccionado por su deseo de trabajar en el proyecto y su habilidad para motivar otros miembros del proyecto. Mantener un alto nivel de motivación durante la duración del proyecto fue un factor muy importante de éxito.

Un especialista de precomisionamiento del contratista de ingeniería fue asignado al sitio cerca de 8 meses antes del arranque y trabajó como parte del equipo de puesta en servicio ayudando en la preparación y revisión de los procedimientos de precomisionamiento. Tres especialistas de operación de la contratista de Ingeniería fueron asignados al sitio de trabajo como una parte integral del equipo de puesta en servicio durante el precomisionamiento y arranque. Un tecnólogo especialista estuvo también presente durante el arranque y siguiendo las operaciones hasta que la corrida exitosa de prueba fue terminada. Estando en sitio, el tecnólogo especialista pudo rápidamente diagnosticar y resolver problemas durante el comisionamiento y arranque.

Preparativos de Precomisionamiento. La preparación de limpieza y secado de sistemas iniciaron cerca de 8 meses antes del arranque. La planta fue dividida en sistemas para la limpieza y secado.

Se determinó si eran requeridas líneas temporales adicionales para facilitar la operación. Después de que el ingeniero de puesta en servicio escribió el procedimiento detallado, el grupo lo revisaría y lo criticaría.

Un especialista de precomisionamiento de la contratista de ingeniería revisó los procedimientos de secado y soplado que fueron escritos por los ingenieros de puesta en servicio de COPESUL y trabajaron cercanamente con los operadores para implementar estos procedimientos.

Ejecución. Los operadores realizaron chequeos mecánicos conforme el equipo quedó disponible. Esto incluyó tareas tales como el chequeo de rotación de bombas, el adecuado tamaño de los filtros temporales de succión, dirección de las válvulas check, etc. Los operadores confirmaron la instalación de la torre de platos, después de que fueron terminadas las inspecciones de construcción.

Personal de puesta en servicio limpiaron las líneas conforme los sistemas fueron liberados por construcción. Construcción cooperó con puesta en servicio para terminar la planta por sistemas. Esto capacitó a puesta en servicio para iniciar el precomisionamiento mas pronto de lo que ellos lo habrían hecho de otro modo.

La limpieza de líneas fue realizada soplando aire con el aire de planta de la planta 1.

Siempre que fuera posible, un recipiente corriente arriba fue usado como un depósito para tener un volumen más grande de aire para soplar la línea. Se tomó cuidado durante esta tarea para asegurar que la presión del sistema no excediera tres atmósferas antes del soplado y que todas las líneas estuvieran bien soportadas para prevenir que cualquier línea se forzara.

Construcción fue responsable de llevar a cabo las pruebas hidrostáticas de líneas. Sin embargo, los ingenieros de puesta en servicio supervisaron cercanamente estas pruebas y checaron la configuración de la tubería para confirmar que toda el agua fuera drenada del sistema después de cada prueba, ya que el agua dejada en el sistema prolongaría la operación de secado.

El compresor de gas y el secador fueron usados para circular aire para el secado de sistemas. Esta operación inició cerca de 4 meses antes del arranque y se desarrolló por aproximadamente 2 meses. El secado pudo haber sido terminado en un tiempo ligeramente mas corto pero la operación estuvo ocasionalmente en espera de la liberación de sistemas por construcción.

El fabricante del compresor suministró una curva de funcionamiento modificada para el compresor en operación con aire y los instrumentos fueron recalibrados para adaptar la operación con aire.

Además de suministrar aire para el secado, la operación del compresor con aire proporcionó a los operadores experiencia y confianza de poner en marcha la maquina, así como, resolver algunas dificultades en el sistema de control.

Operaciones de secado.- El cuarto de control no estuvo funcional durante las operaciones de secado: algunos tráileres fueron montados por toda la planta para servir como oficinas del operador. De esta manera, los operadores estuvieron mucho más cerca del trabajo. Los procedimientos de secado fueron mantenidos en estos tráileres. Los sketches de los sistemas fueron fijados a las paredes y marcados para mostrar el progreso del secado. Los sketches tenían los puntos de soplado numerados para responder con las tareas de los procedimientos. Conforme un operador checaba un punto de condensación, él registraría ese punto de condensación con la fecha. La revisión de la documentación para puntos secuenciales de condensación dio una indicación si aun estaba presente agua en un sistema.

Todas las corazas de los intercambiadores fueron mantenidas bajo presión de nitrógeno positiva desde que dejaron la fábrica. Estos fueron checados periódicamente y resurizados, si era necesario, hasta que fueron incluidos en la operación de secado.

Después de que cada sistema estuvo completamente seco, este fue mantenido bajo presión y los puntos de condensado verificados periódicamente para confirmar que este estaba aún seco.

Después de que la planta estuvo completamente seca, esta fue liberando aire por presurización y despresurización muchas veces con nitrógeno seco. En COPESUL, un sistema de nitrógeno estuvo

disponible para suministrar el nitrógeno necesario. Fue checada la hermeticidad de la planta por el bloqueo en sistemas bajo presión y monitoreando esa presión por al menos 24 horas. Todas las bridas fueron revisadas aplicando masking tape perforando un hoyo en él y aplicando solución de jabón para detectar cualquier fuga. Cuando el gas de proceso fue inicialmente introducido en el sistema, los operadores monitorearon de cerca todas las áreas con medidores de gas portátil.

Los especialistas de los fabricantes estuvieron presentes y ayudaron en los esfuerzos de precomisionamiento, para compresores y sistema de control del compresor. Otros representantes del proveedor para el Sistema de Control Distribuido, PLCs y analizadores estuvieron presentes en tiempos estratégicos para apoyar y confirmar que las tareas fueran adecuadamente terminadas.

Arranque.

Después de que el trabajo de precomisionamiento estuvo terminado y la planta estuvo bajo una cubierta de nitrógeno, el hidrocarburo fue introducido en la planta. Los operadores estuvieron en la planta con monitores de gas para detectar hidrocarburos y localizar fugas. Durante este periodo, cuando el hidrocarburo fue alimentado por primera vez a la planta, los operadores tomaron especial cuidado de checar fugas y apretar las bridas que goteaban.

Factores de éxito. Los factores clave en este arranque exitoso fueron las actitudes de los participantes y la comunicación entre los varios grupos. Los miembros del equipo fueron seleccionados basados en su experiencia y motivación. Sin embargo, la gerencia de COPESUL mantuvo esa motivación alentando e inspirando a los participantes. El personal clave de la gerencia tomó una parte activa en la operación sin anular las responsabilidades del jefe de operadores y facilitando la comunicación entre todo el personal. Estas prácticas fueron benéficas para mantener un ambiente positivo.

- Las responsabilidades fueron asignadas para todas las operaciones críticas en el precomisionamiento, comisionamiento y arranque. La Gerencia complementó estas asignaciones para confirmar que estas fueran terminadas o para proveer ayuda, si era necesario.
- Durante el periodo de comisionamiento y arranque, fueron realizadas reuniones cada mañana entre el jefe de operadores, personal del contratista de ingeniería, ingenieros de proceso, ingenieros de mantenimiento e ingenieros del proveedor para evaluar las últimas 24 horas y planear las próximas 24 horas. Durante estas reuniones, se reunió información importante acerca de problemas, las causas fueron determinadas, fueron desarrollados planes de acción correctivas y fueron asignadas las responsabilidades.
- Todos los participantes trabajaron juntos como un fuerte y cohesivo equipo, manteniendo el enfoque en el objetivo común – implementando un buen arranque seguro de la planta 2.

Lecciones aprendidas. Con una tarea tan compleja como el arranque de una amplia planta de olefinas, los problemas deben ser enfrentados igual con un alto grado de preparación, entrenamiento y diligencia. El arranque de COPESUL no fue la excepción.

Los equipos de construcción y puesta en servicio cooperaron en la liberación de sistemas de la planta para iniciar el precomisionamiento antes de que otras partes estuvieran terminadas. Cuando la construcción estuvo terminada en un 85%, el equipo de construcción fue reenfocado y las prioridades fueron cambiadas para liberar los sistemas de la planta de acuerdo a las necesidades de comisionamiento.

Sobre la terminación exitosa de las pruebas de desempeño, una sesión de lecciones aprendidas se sostuvo con miembros de ambos, el contratista de ingeniería y COPESUL. En esta reunión se revisó el proyecto completo – desde su propuesta, las etapas de ingeniería y actividades de construcción, y finalmente en la operación completa de la planta. Los aspectos positivos y negativos de la ejecución del proyecto fueron examinados en detalle, y se enfocaron los esfuerzos continuos de mejora para maximizar el efecto. El compromiso para mejorar ha fomentado una relación más cercana entre el contratista y el cliente.

CAPITULO 13

RESUMEN DE LOS FACTORES QUE PERMITEN UN ARRANQUE EXITOSO

Con la investigación realizada, la exposición del caso de estudio y su confirmación a través de la aportación de la experiencia del personal especialista en pruebas y puesta en servicio de varias compañías, se encontraron una serie de factores que se deben considerar para lograr un arranque exitoso y que las compañías en su mayoría no toman en cuenta o les prestan poca importancia. Todos estos elementos se resumen a continuación:

1) Participación del personal de puesta en servicio desde las primeras etapas del proyecto.

Para tener un arranque exitoso en cualquier nueva planta, es necesario que personal clave de pruebas y puesta en servicio tenga participación desde el inicio del proyecto, y es más favorable el hecho de que este personal participe desde las propuestas, con el fin de considerar todas las actividades y los recursos a necesitar en las últimas fases de un proyecto, como son las etapas de pruebas y puesta en servicio, evitando con esto omisiones en las licitaciones que resulten en un presupuesto estimado muy bajo y que ocasionen posteriores pérdidas económicas a las compañías.

2) Elaboración de diseños adecuados.

Una de las principales causas de fallas en el arranque son los diseños inadecuados. Los errores de diseño resultan ser los más impactantes, ya que las omisiones de este tipo no descubiertas en una etapa temprana del proyecto pueden llegar a afectar grandemente la realización de un arranque o incluso hacerlo imposible. Por lo tanto las actividades en la etapa de ingeniería deben ser ejecutadas correctamente para prevenir retrasos y problemas en el arranque.

Por lo anterior es indispensable crear y promover la cercana cooperación entre el grupo de puesta en servicio y el grupo de ingeniería.

La continua revisión de la ingeniería por parte del personal de puesta en servicio, proporcionará al diseño el beneficio de la aplicación de la experiencia de gente especializada indicando cuáles serán las necesidades para los futuros trabajos, esto con la finalidad de que las decisiones realizadas durante el periodo de diseño provean un mejor arranque, operación, mantenimiento y condiciones de seguridad en la planta, e incorporen un punto de vista y experiencia a tiempo cuando los cambios pueden ser realizados a un costo mínimo. Además permitirá a la gente de puesta en servicio familiarizarse con el equipo en una etapa temprana.

3) Inspección completa y detallada del equipo en fábrica y en campo.

Durante el comisionamiento y operación inicial de la planta, un 61% de las causas del tiempo perdido se debe a fallas de equipos, lo cual se puede minimizar si se tiene una inspección completa y detallada del equipo.

La inspección y prueba del equipo antes de su entrega evitará problemas en campo, por lo que es importante realizar inspecciones varias veces durante la fabricación para asegurar que el equipo reunirá las especificaciones y operará de acuerdo a los requerimientos de diseño, asegurar y mantener el tiempo de entrega prometido y saber de problemas que podrían afectar dicha entrega, permitiendo al gerente de proyecto intensificar la premura o modificar los programas de arranque y construcción. Así también llevar a cabo pruebas en la fábrica del proveedor para facilitar la corrección de posibles deficiencias, considerando la presencia de inspectores de unidades verificadoras.

Posteriormente durante el arribo al lugar de instalación se debe verificar su recepción para el cumplimiento del equipo con los requerimientos del proyecto.

4) Participación del personal de puesta en servicio en la procura de equipo.

En la etapa de procura es importante que el personal de puesta en servicio apoye con la revisión de listas de partes de repuesto para las etapas de pruebas, puesta en marcha y operación, así como los materiales a necesitar, soluciones, combustibles, químicos, etc.

Las listas de partes de repuesto, suministradas por el proveedor y complementadas por un experimentado personal de puesta en servicio, así como un anticipado tiempo de entrega, permitirá contar con un conjunto de partes de repuesto, que no solo asegure una rápida reparación, sino también evite un consumo de tiempo en la búsqueda de substitutos o permisos de importación si una parte no estuviera disponible en el país.

5) Asegurar la asistencia de proveedores durante el arranque.

Muchos proveedores ofrecen asistencia durante el precomisionamiento, comisionamiento y arranque y es aconsejable asegurar tal asistencia mientras se prepara el contrato de compra. Su conocimiento y experiencia disminuirá retrasos y errores costosos sobre todo en equipos críticos y poco familiares al personal.

6) Colaboración y coordinación entre los grupos de construcción y puesta en servicio.

La etapa de construcción debe ser bien coordinada y manejada para satisfacer los programas y reducir retrasos en las etapas posteriores, considerando sobre todo las prioridades del grupo de comisionamiento y realizando una terminación de construcción desde una perspectiva de sistemas.

Lograr acuerdos sobre el alcance de construcción y puesta en servicio, con la finalidad de obtener una clara definición de "la terminación mecánica" y lograr el adecuado traslape entre los grupos de construcción y de precomisionamiento que evite conflictos y retrabajos.

7) Inspección completa y eficiente de la instalación.

Uno de los aspectos sobresalientes que debe ser considerado antes de llevar a cabo cualquier prueba, es la realización de una inspección adecuada de las instalaciones y confirmar que cualquier no conformidad sea corregida, esta inspección no solo permitirá minimizar problemas en el arranque, sino también desarrollar un amplio conocimiento de la planta y el equipo. Así como también es indispensable tener personal con conocimiento y experiencia para una supervisión efectiva durante el arranque.

8) Poner fuerte énfasis en la realización de pruebas de equipo en campo.

Los arranques más exitosos ocurren cuando un fuerte énfasis se pone en las actividades de precomisionamiento, la realización de pruebas para cada equipo particular permitirá evitar peligros de seguridad potenciales y eliminar muchos problemas que podrían retrasar o impedir el arranque.

Mientras los equipos están siendo probados, se recomienda la participación del personal quien será responsable después del arranque para asegurar su familiaridad con el equipo y su adecuada operación.

9) Realización de pruebas de sistemas completos.

Otra etapa importante en un proyecto es la etapa de comisionamiento, donde las partes de una planta son probadas en conjunto, simulando condiciones similares a las del proceso real. Por lo que existe la necesidad de tener *un equipo de comisionamiento multidisciplinario con experiencia* que tenga la capacidad de reaccionar sensible y efectivamente ante cualquier situación.

10) Aplicación de lecciones aprendidas y experiencia durante el arranque.

Es importante establecer medidas y lecciones aprendidas de proyectos pasados así como la realización de una exhaustiva investigación de las experiencias propias y de las sucedidas en otras partes y dar seguimiento a su aplicación. Las experiencias obtenidas en plantas similares, son de gran ayuda para la detección oportuna de problemas que se pudieran presentar durante el arranque y para planear los procedimientos a seguir con el fin de evitarlos, así como mejorar las prácticas de estimación y de ejecución.

Fomentar una cultura para el reporte de errores pasados, lo cual requiere de una atmósfera de confianza, donde el personal es alentado y las organizaciones responden prontamente en forma significativa.

11) Considerar la seguridad durante el arranque.

Se debe dar énfasis en la seguridad del personal, mediante una revisión de seguridad pre-arranque e implementando eficientemente una política de seguridad durante el arranque para minimizar accidentes y mantener un alto estado de ánimo del grupo de trabajo.

No iniciar actividades de larga duración con gente cansada, aislar las áreas en operación y restringir el acceso a estas. Contar con planes alternos, con la finalidad de detallar las acciones a tomar y enlistar los recursos requeridos para cada acción.

El conocimiento de experiencias de incidentes que han sucedido en otras partes puede tomarse para evitar la repetición de peligros similares.

12) Contar con procedimientos antes de comenzar cualquier actividad de precomisionamiento, comisionamiento y arranque.

Preparar procedimientos de seguridad, procedimientos de arranque, manuales de operación completos, hojas de datos etc. detallados, precisos y actualizados así como asegurar su aplicación.

13) Tener suficiente personal experimentado.

Como se ha mencionado el arranque de una planta es vulnerable a retrasos por averías en el equipo y gran daño del equipo es causado por el inadecuado manejo por operadores sin experiencia, por lo cual se debe insistir en la cobertura de personal experimentado y en cantidad suficiente.

14) Tener una organización eficiente.

La selección adecuada de todo el personal basada en la capacidad y la experiencia puede reducir el tiempo de arranque y al mismo tiempo se cometerán menos errores.

Un elemento importante será el contar con un jefe de arranque con experiencia, que sea técnicamente competente, con alta resistencia física y emocional y capacidad de mando.

15) Mantener la continuidad de la gente.

Lograr la continuidad del personal adecuado con asignaciones oportunas en todas las fases del proyecto es un factor importante en el éxito de la fase de arranque. Esta continuidad es mejorada teniendo algunos hombres clave viviendo el proyecto completo.

Estas personas también deben estar presentes durante el arranque para resolver con más eficiencia y menos retraso los problemas que surjan.

16) Una programación y planeación del arranque detalladas y actualizadas.

Puesto que las fases tempranas del proyecto tienen gran impacto en el éxito del proyecto, es crítico que la planeación del arranque ocurra lo más temprano posible, para anticipar posibles problemas.

Un factor que frecuentemente retrasa el arranque son las fallas al no incluir todo el trabajo en el plan. Con la finalidad de evitar omisiones, la planeación y programación deben ser realizadas lo más detalladas posibles. Asegurando que se distribuirá tiempo suficiente para actividades tales como revisiones del proceso, de seguridad e inspecciones de equipos mayores, tanto en fábrica como en campo, la programación de la asistencia de los proveedores, puesto que las actividades pueden retrasarse si estos no están a tiempo en el sitio.

También será importante dar un seguimiento estricto al programa para el cumplimiento de este.

17) Personal perfectamente entrenado.

El entrenamiento debe ser realizado por personal calificado y considerando el personal al que va dirigido (involucrando a los niveles del personal requerido). No limitando el trabajo del entrenamiento solo a condiciones normales de operación, sino también para manejar situaciones anormales, ya que durante un arranque el personal necesita conocer más que en cualquier otro tiempo acerca de como solucionar problemas que puedan surgir.

18) Comunicación completa y efectiva en todas las disciplinas que intervienen en el arranque.

Durante todo el proyecto debe existir una comunicación constante entre el personal de ingeniería, construcción y puesta en servicio, manteniendo reuniones regulares con respecto a las actividades planeadas. Además debe existir retroalimentación en todo momento para asegurar que la comunicación sea efectiva.

Antes de la fase de arranque, mantener una corta sesión de comunicación con los operadores, sobrestantes e ingenieros, para ponerse de acuerdo, asegurar que cada hombre conoce su asignación y coordinar sus esfuerzos.

Durante el arranque mantener una efectiva comunicación de forma directa entre los turnos de operación (asegurando un tiempo de traslape para la intercomunicación entre ellos).

19) Mantener una buena relación con el personal del cliente.

Fomentar la buena cooperación y un espíritu saludable de equipo, ya que un arranque exitoso dejará una perdurable impresión positiva con el cliente.

CONCLUSIONES.

Una nueva planta tiene un arranque exitoso cuando se demuestran: la generación del producto en especificación y capacidad, el consumo de servicios y la cantidad de las emisiones, de forma segura; además se encuentra dentro del período de tiempo que se ha fijado para arrancar y dentro de los costos presupuestados de arranque.

Un arranque resultará muy costoso cuando hay retrasos en el tiempo de arranque, debido al impacto que provoca un consumo mayor de recursos, la falta de producción y retrasos en la entrega de los productos a los clientes y mercados, abriendo la puerta a competidores, así como el retraso en el inicio del flujo de ingresos a la compañía.

En virtud de la dificultad para iniciar el arranque de una planta química y de lo costoso de los retardos al hacerlo, se recomienda que las compañías consideren y aseguren la aplicación efectiva de la serie de factores preventivos con respecto al diseño, fabricación, construcción, operación, seguridad, planeación y organización descritos en este trabajo, para el logro de un arranque exitoso.

Creando conciencia en todos los miembros que intervienen en las fases del proyecto (ingeniería, procura, construcción, pruebas y puesta en servicio) acerca de la importancia de su trabajo y del impacto financiero que una unidad puede tener si el periodo de arranque se alarga. Trabajando todos los participantes como un equipo fuerte y cohesivo, manteniendo el enfoque en el objetivo común.

Por otra parte, con la gran cantidad de problemas que se presentan en un arranque, en nuestro país se hace necesaria la formación de un mayor número de expertos de puesta en servicio, que permita asegurar el contar con ingenieros mexicanos capacitados para los proyectos futuros. Con la formación de personal que haya tenido experiencia previa en diseño, asignado al proyecto desde el inicio del proceso y que participe en el arranque como pupilo de expertos para que complete su formación integral.

Cada arranque de planta es una experiencia única. No hay arranque fácil, todos los arranques tienen algún problema y lo importante es disminuirlos anticipándonos a ellos lo más posible.

FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

ANEXO A

EJEMPLO DE

PROGRAMA DE ARRANQUE

PROGRAMA POR SISTEMAS DE UNA PLATAFORMA DE PRODUCCIÓN

Descripción de la Actividad	Inicio	Final	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
DRENAJES ABIERTOS												
Precomisionamiento	8-Apr	25-Jun										
Terminación Mecánica	26-Jun	26-Jun										
Comisionamiento	7-Aug	8-Aug										
Arranque del sistema	9-Aug	9-Aug										
Pba de desempeño	10-Aug	12-Aug										
DRENAJES CERRADOS												
Precomisionamiento	15-May	5-Jul										
Terminación Mecánica	6-Jul	6-Jul										
Comisionamiento	7-Aug	12-Aug										
Arranque del sistema	13-Aug	13-Aug										
Pba de desempeño	14-Aug	16-Aug										
AGUA POTABLE												
Precomisionamiento	17-Apr	7-Jun										
Terminación Mecánica	8-Jun	8-Jun										
Comisionamiento	7-Aug	14-Aug										
Arranque del sistema	15-Aug	15-Aug										
Pba de desempeño	16-Aug	18-Aug										
AGUA DE SERVICIO												
Precomisionamiento	27-May	9-Jun										
Terminación Mecánica	10-Jun	10-Jun										
Comisionamiento	7-Aug	10-Aug										
Arranque del sistema	11-Aug	11-Aug										
Pba de desempeño	12-Aug	14-Aug										
DIESEL												
Precomisionamiento	18-Apr	23-Jun										
Terminación Mecánica	24-Jun	24-Jun										
Comisionamiento	9-Aug	13-Aug										
Arranque del sistema	14-Aug	14-Aug										
Pbas de desempeño	15-Aug	17-Aug										
PUESTA A TIERRA												
Precomisionamiento	20-Mar	20-Apr										
Terminación Mecánica	21-Apr	21-Apr										

Descripción de la Actividad	Inicio	Final		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
AGUA CONTRA INCENDIO													
Precomisionamiento	3-Apr	12-May											
Terminación Mecánica	13-May	13-May											
Comisionamiento	16-Aug	26-Aug											
Arranque del sistema	27-Aug	27-Aug											
Pbas de desempeño	28-Aug	30-Aug											
GENERACION DE EMERGENCIA													
Precomisionamiento	20-Apr	5-Jun											
Terminación Mecánica	6-Jun	6-Jun											
Comisionamiento	16-Aug	19-Aug											
Arranque del sistema	20-Aug	20-Aug											
Pba de desempeño	22-Aug	24-Aug											
DISTRIBUCION DE BAJA TENSION													
Tablero de Distribución													
Precomisionamiento	23-Apr	30-Apr											
Terminación Mecánica	1-May	1-May											
Comisionamiento	24-Aug	6-Sep											
Arranque del sistema	7-Sep	7-Sep											
Pba de desempeño	8-Sep	10-Sep											
CCM-01 Y CCM - 02													
Precomisionamiento	17-Apr	8-May											
Terminación Mecánica	9-May	9-May											
Comisionamiento	24-Aug	6-Sep											
Arranque del sistema	7-Sep	7-Sep											
Pba de desempeño	8-Sep	10-Sep											
CARGADOR DE BATERIAS													
Precomisionamiento	26-May	18-Jun											
Term Mecanica	19-Jun	19-Jun											
Comisionamiento	24-Aug	27-Aug											
Arranque	28-Aug	28-Aug											
Pba de desempeño	29-Aug	1-Sep											

Descripción de la Actividad	Inicio	Final		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
UPS/BATERIAS													
UPS-01,02,03,04,05 Tableros Dist y Bancos de Baterías													
Precomisionamiento	19-Mar	13-Apr											
Terminación Mecánica	14-Apr	14-Apr											
Comisionamiento	13-Sep	17-Sep											
Arranque	18-Sep	18-Sep											
Pba de desempeño	19-Sep	21-Sep											
CONTROL DISTRIBUIDO													
Precomisionamiento	3-Jul	6-Jul											
Terminación Mecánica	7-Jul	7-Jul											
Comisionamiento	1-Sep	14-Sep											
Arranque	15-Sep	15-Sep											
Prueba de Desempeño	16-Sep	18-Sep											
FUEGO Y GAS													
Precomisionamiento	31-May	9-Jul											
Terminación Mecánica	10-Jul	10-Jul											
Comisionamiento	1-Sep	5-Sep											
Arranque	6-Sep	6-Sep											
Pbas de desempeño	7-Sep	9-Sep											
PARO DE EMERGENCIA													
Precomisionamiento	22-Jun	4-Jul											
Terminación Mecánica	5-Jul	5-Jul											
Comisionamiento	1-Sep	9-Sep											
Arranque	10-Sep	10-Sep											
Pbas de desempeño	11-Sep	13-Sep											
AIRE DE PLANTA													
Precomisionamiento	5-May	11-Jun											
Terminación Mecánica	12-Jun	12-Jun											
Comisionamiento	24-Aug	27-Aug											
Arranque del sistema	28-Aug	28-Aug											
Pbas de desempeño	29-Aug	31-Aug											

Descripción de la Actividad	Inicio	Final		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
AIRE DE INSTRUMENTOS													
Precomisionamiento	29-Apr	6-Jun											
Terminación Mecánica	9-Jun	9-Jun											
Comisionamiento	21-Sep	15-Oct											
Arranque del sistema	16-Oct	16-Oct											
Pbas de desempeño	17-Oct	19-Oct											
GAS COMBUSTIBLE													
Precomisionamiento	18-Mar	5-Jul											
Terminación Mecánica	6-Jul	6-Jul											
Comisionamiento	6-Sep	12-Sep											
Arranque del sistema	13-Sep	13-Sep											
Pba de Desempeño	14-Sep	16-Sep											
GENERACION DE ENERGIA													
Generador Principal A,B,C													
Precomisionamiento	29-Mar	31-May											
Terminación Mecánica	1-Jun	1-Jun											
Comisionamiento	4-Oct	16-Oct											
Arranque del sistema	17-Oct	17-Oct											
Pba de Desempeño	18-Oct	20-Oct											
DISTRIBUCION DE MEDIA TENSION													
Tablero TDM-01 y TDM-02													
Precomisionamiento	20-Apr	11-May											
Terminación Mecánica	12-May	12-May											
Comisionamiento	21-Oct	30-Oct											
Arranque del subsistema	31-Oct	31-Oct											
INYECCION QUIMICA													
ANTIESPUMANTE													
Precomisionamiento	2-Jun	22-Jun											
Terminación Mecánica	23-Jun	23-Jun											
Comisionamiento	11-Sep	14-Sep											
Arranque del sistema	15-Sep	15-Sep											
Pba de desempeño	16-Sep	18-Sep											

Descripción de la Actividad	Inicio	Final		Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
INHIBIDOR DE ASFALTENOS													
Precomisionamiento	15-May	10-Jun											
Terminación Mecánica	11-Jun	11-Jun											
Comisionamiento	11-Sep	14-Sep											
Arranque del sistema	15-Sep	15-Sep											
Pba de desempeño	16-Sep	18-Sep											
INHIBIDOR DE CORROSION.													
Precomisionamiento	15-May	4-Jun											
Terminación Mecánica	5-Jun	5-Jun											
Comisionamiento	11-Sep	14-Sep											
Arranque del sistema	15-Sep	15-Sep											
Pba de desempeño	16-Sep	18-Sep											
INYECCION HIPOCLORITO SODICO													
Precomisionamiento	2-Jun	19-Jun											
Terminación Mecánica	20-Jun	20-Jun											
Comisionamiento	11-Sep	14-Sep											
Arranque del sistema	15-Sep	15-Sep											
Pba de desempeño	16-Sep	18-Sep											
PRODUCCION DE CRUDO													
SEPARADOR PRIMERA ETAPA													
Precomisionamiento	2-Apr	30-Jun											
Terminación Mecánica	1-Jul	1-Jul											
Comisionamiento	19-Sep	2-Oct											
Arranque del sistema	3-Oct	3-Oct											
Pba de desempeño	4-Oct	6-Oct											
SEPARADOR DE SEGUNDA ETAPA													
Precomisionamiento	18-Mar	30-Jun											
Terminación Mecánica	1-Jul	1-Jul											
Comisionamiento	21-Sep	4-Oct											
Arranque del sistema	5-Oct	5-Oct											
Pba de desempeño	7-Oct	9-Oct											

Descripción de la Actividad	Inicio	Final	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept	Oct	Nov	Dic
BOMBAS DE CRUDO A,B,C,D,E.												
Precomisionamiento	28-Mar	20-Jun										
Terminación Mecánica	21-Jun	21-Jun										
Comisionamiento	25-Oct	19-Nov										
Arranque del sistema	20-Nov	20-Nov										
Pba de desempeño	21-Nov	23-Nov										
CRUDO PRODUCIDO												
Precomisionamiento	29-Jan	30-May										
Terminación Mecánica	31-May	31-May										
Comisionamiento	6-Oct	23-Oct										
Arranque del sistema	24-Oct	24-Oct										
Pruebas de desempeño	25-Oct	27-Oct										
MEDICION DE CRUDO												
Precomisionamiento	9-Apr	16-May										
Terminación Mecánica	17-May	17-May										
Comisionamiento	28-Oct	12-Nov										
Arranque	13-Nov	13-Nov										
Pruebas de desempeño	14-Nov	16-Nov										
GAS INERTE												
NITROGENO												
Precomisionamiento	27-Feb	26-Apr										
Terminación Mecánica	27-Apr	27-Apr										
Comisionamiento	18-Nov	11-Dec										
Arranque del sistema	12-Dec	12-Dec										
Pba de desempeño	13-Dec	15-Dec										

FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA NUEVA
INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

ANEXO B

FORMATOS PARA

LISTAS DE VERIFICACION

(EQUIPO, INSTRUMENTOS Y TUBERIAS)

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA RECIPIENTES**

IDENTIFICACION NO. _____ SERVICIO: _____

DATOS DEL EQUIPO					
CAPACIDAD:					
FLUIDO:					
PRESION:					
DIAMETRO:					
ALTURA:					
TAPA:					
FONDO:					
BOQUILLAS:					
RECUBRIMIENTO INTERIOR:					
AISLAMIENTO:					
PINTURA					
INSPECCION VISUAL					
	SI	NO		SI	NO
DIAMETRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NIVELACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ALTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ANCLAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FONDO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ATERRIZAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TAPAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BAFLES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AISLAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BOQUILLAS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PINTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			PLACA DE IDENTIFICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PRUEBAS					
RECUBRIMIENTO EXTERIOR:			CUERPO:	SI	NO
TIPO: _____				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LIMPIEZA INTERIOR: _____				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PRUEBA HIDROSTATICA:				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TANQUE:					
PRESION: _____			DURACION: _____		
OBSERVACIONES					

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA CAMBIADORES DE CALOR**

IDENTIFICACION NO. _____ SERVICIO: _____

DATOS DEL EQUIPO					
TIPO/PROVEEDOR:					
TAMAÑO:					
NO. DE TUBOS:					
FLUIDO CORAZA:					
FLUIDO TUBOS:					
MATERIALES:					
CONEXIÓN A PROCESO:					
NIVELACION:					
INSPECCION VISUAL					
	SI	NO		SI	NO
DIAMETRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NIVELACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ALTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ANCLAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DIAMETRO CONEX.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ATERRIZAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
MATERIALES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AISLAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			PINTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			PLACA DE IDENTIFICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PRUEBAS					
PRUEBA HIDROSTATICA:					
PRESION: _____			DURACION: _____		
OBSERVACIONES					

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA BOMBAS CENTRIFUGAS**

IDENTIFICACION NO. _____ SERVICIO: _____
DE: _____ A: _____

DATOS DE LA BOMBA

MARCA/PROVEEDOR:
TIPO/MODELO/TAMAÑO:
GASTO/CARGA DINAMICA:
POTENCIA/R.P.M./VOLTAJE:
TIPO DE COPLE:
ESTOPERO:
TIPO DE SELLO:
TIPO DE LUBRICACION:

INSPECCION VISUAL

BASE:	SI	NO	TUBERIAS	SI	NO
GROUT	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SUCCION ALINEADA:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ANCLAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SUCCION SOPORTADA:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ATERRIZAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DESCARGA ALINEADA:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			DESCARGA SOPORTADA:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BOMBA:	SI	NO	ALINEACION:		
MARCA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LECTURA AXIAL _____		
TIPO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LECTURA RADIAL _____		
COPLE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEPARACION ENTRE FLECHAS _____		
ESTOPERO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
GUARDA COPLE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
	SI	NO			
PINTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
PLACA DE IDENTIF.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
POTENCIA DE MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			

PRUEBA EN VACIO

MEGUEO A MOTOR: _____
 ROTACION: _____
 AMPERAJE: _____
 VIBRACION: _____
 TIEMPO FUNCIONAMIENTO: _____
 TEMP LINTERNA BOMBA: INICIAL _____ FINAL _____
 DURACION: T1 _____ T2 _____ T3 _____

OBSERVACIONES

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA VALVULAS DE CONTROL**

IDENTIFICACION NO. _____ LOCALIZACION:

DATOS DEL INSTRUMENTO		
TIPO:		
TAG:		
SERVICIO:		
TAMAÑO DEL CUERPO:		
TIPO DE CONEXION:		
TIPO DE ACTUADOR:		
POSICIONADOR:		
FILTRO REGULADOR:		
VALVULA SOLENOIDE:		
INTERRUPTOR DE POSICION:		
TORNILLOS/ESPARRAGO:		
SUMINISTRO ELECTRICO:		
SUMINISTRO DE AIRE:		
INSPECCION VISUAL		
	SI	NO
TAMAÑO DEL CUERPO:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TIPO DE CONEXIÓN:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TIPO DE ACTUADOR:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
POSICIONADOR:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FILTRO REGULADOR:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VALVULA SOLENOIDE:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INTERRUPTOR DE POSICIÓN:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
TORNILLOS/ESPARRAGO:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SUMINISTRO ELÉCTRICO:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SUMINISTRO DE AIRE:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES		

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA INSTRUMENTOS DE CAMPO**

IDENTIFICACION NO. _____ LOCALIZACION:

DATOS DEL INSTRUMENTO	
TIPO:	
TAG:	
SERVICIO:	
RANGO:	
SOPORTERIA:	
MONTAJE:	
CONEXIÓN A PROCESO:	
TORNILLOS/ESPARRAGOS:	
EMPAQUE:	
INSPECCION VISUAL	
	SI NO
MONTAJE:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
CONEXIÓN A PROCESO:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
TORNILLOS/ESPARRAGOS:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
EMPAQUE:	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
OBSERVACIONES	

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA TUBERIAS**

IDENTIFICACION NO. _____ ISOMETRICO: _____

DATOS DE LA LINEA					
SERVICIO:					
FLUIDO:					
DIAMETRO:					
ESPECIFICACION:					
EMPAQUE:					
AISLAMIENTO:					
PINTURA:					
TRAZADO:					
INSPECCION VISUAL					
	SI	NO		SI	NO
DIAMETRO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AISLAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ESPECIFICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PINTURA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
EMPAQUE.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	TRAZADO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SOPORTERIA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PURGA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
			VENTEOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INST. INSTRUMENTACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	OPERACIÓN DE VALV.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
INST. VALV. CONTROL	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	INSTL. ACCS. ESPEC.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PRUEBAS					
LAVADO DE LINEA:	_____				
PRUEBA HIDROSTATICA:	_____				
PRESION:	_____	DURACION:	_____		
SOPLADO DE LINEA:	_____				
POSTERIOR A PRUEBAS					
INSTALACION:		SI		NO	
OBSERVACIONES					

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION DE MOTORES ELECTRICOS**

IDENTIFICACION NO. _____ **EQUIPO:** _____

DATOS DEL MOTOR			
MARCA:		POTENCIA (HP):	
VELOCIDAD (RPM):		FRECUENCIA (Hz):	
TENSION (VOLTS):		CORRIENTE (AMP):	
CLASE DE AISLAMIENTO:		ARMAZON (NEMA):	
NO. DE FASES:		FACTOR DE SERVICIO/TIPO:	
MONTAJE:		DISEÑO (NEMA)	
NO. DE SERIE:		SENTIDO DE ROTACION:	
ESTACION DE CONTROL Y/O SELECTOR		EFICIENCIA/CLAVE	
BALERO LADO POLEA:		BALERO LADO CORTO:	
FACTOR DE POTENCIA:		MODELO:	
DATOS DEL INTERRUPTOR			
MARCA:		TIPO:	
NO. DE POLOS:		CAPACIDAD INTERRUPTIVA (KAMP):	
DISPARO (AMP)			
DATOS DEL ARRANCADOR			
MARCA:		TAMAÑO:	
CLASE:		TIPO:	
NO. DE CONTACTOS AUXILIARES:		METODO DE ARRANQUE:	
LOC. DE LUCES PILOTO:		CALIBRE ALIMENTADOR:	
TRANSF. DE CONTROL (V.A.)		LUCES PILOTO INDICADORAS:	
ELEMENTOS TERMICOS NO.		IDENTIFICACION PERMANENTE DE CABLES Y FUERZA	
LOC. DE BOTONERAS			
FUSIBLES DEL CIRCUITO DE CTROL.			
CONEXIÓN A TIERRA DEL MOTOR			
INSPECCION VISUAL	PRUEBAS ELECTRICAS FINALES		
	SI	NO	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO DEL MOTOR
CAJA DE CONEXIONES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
AMPERES DE DISPARO DEL INTERRUPTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
TAMAÑO NEMA DEL ARRANCADOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
NUMERO DE ELEMENTOS TERMICOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	RESISTENCIA DE AISLAMIENTO
IDENTIFICACION PERMANENTE DE CABLES DE CONTROL Y FUERZA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
POTENCIA DEL MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
LLEGADA DE TUBERIA FLEXIBLE A CAJA DE CONEXIONES DEL MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	PRUEBAS EN VACIO
ESTACION DE BOTONES Y/O SELECTOR CONTROL DEL MOTOR CON	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
ESTACION DE BOTONES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
SENTIDO DE ROTACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
HOJAS DE VERIFICACION PARA COMPRESORES**

IDENTIFICACION NO. _____ SERVICIO: _____

DATOS DEL COMPRESOR			
MARCA:			
PROVEEDOR:			
MODELO:			
VELOCIDAD NOMINAL:			
TIPO:			
TIPO DE ACOPLAMIENTO:			
TIPO DE LUBRICACION:			
INSPECCION VISUAL			
BASE:	SI	NO	TUBERIAS
ANCLAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SUCCION ALINEADA:
ATERRIZAJE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SUCCION SOPORTADA:
COMPRESOR:	SI	NO	DESCARGA ALINEADA:
MARCA	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	DESCARGA SOPORTADA:
TIPO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
COPELE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	ALINEACION:
ESTOPERO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LECTURA AXIAL _____
LUBRICACION	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	LECTURA RADIAL _____
GUARDA COPELE	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	SEPARACION ENTRE FLECHAS _____
	SI	NO	
PLACA DE IDENTIF.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
POTENCIA DE MOTOR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
OBSERVACIONES			

CIA. CONTRATISTA: _____

FECHA: _____

RESIDENTE: _____

SUPERVISOR: _____

**FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA
NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.**

ANEXO C

FORMATO PARA LISTAS DE PENDIENTES

DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
LISTA DE PENDIENTES (PUNCH LIST)

PARTIDA	TUBERIA O EQUIPO	SECCION O SISTEMA	OBSERVACIONES	SOLUCION

FACTORES CLAVE QUE PERMITEN EL ARRANQUE EXITOSO EN UNA
NUEVA INSTALACIÓN INDUSTRIAL.

ANEXO D

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS

(HIDROSTÁTICAS Y NEUMÁTICAS).

D.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS HIDROSTÁTICAS

OBJETIVO.

El objetivo de este documento es definir la metodología que se aplicará para la realización de las pruebas de presión hidrostáticas.

APLICACIÓN.

La prueba es una prueba de resistencia a 1.5 X presión de diseño máxima, mantenida por un periodo suficiente para verificar la integridad y resistencia mecánica de un sistema o componente individual.

El medio de la prueba será agua potable con inhibidor de corrosión, a menos que sea indispensable o inevitable utilizar otro medio debido al material.

El agua potable tendrá un valor de PH controlado de 6 a 8 y una concentración máxima de cloro de 25 ppm. El inhibidor de corrosión será biodegradable.

Se presentará un análisis bioquímico del agua potable, para su verificación y aceptación antes de utilizarse.

Los sistemas de acero inoxidable deberán probarse con agua desmineralizada, para asegurar que sean compatibles con la metalurgia del equipo.

EQUIPO DE MEDICIÓN Y PRUEBA.

- Abastecimiento de agua potable.
- Tanque de almacenamiento del fluido de prueba.
- Línea de abastecimiento de aire, seco.
- Bombas neumáticas de llenado.
- Bombas neumáticas de presurización
- Manómetros de prueba estándar
- Registrador de presión de prueba
- Registrador de temperatura ambiente.
- Mangueras de presión con conectores de seguridad
- Juego de válvulas y conectores.
- Juego de herramientas de afloje.
- Juego de herramienta menor y equipo para maniobras.
- Materiales temporales suficientes, incluyendo bridas, empaques, pernos y tapones para cerrar.
- Señales de seguridad y cinta barricada.

DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.

PRERREQUISITOS.

Todo el equipo y tuberías que se probarán estarán evaluados y organizados en sub-sistemas o pruebas individuales con la ayuda de los DTI's y de los isométricos. El supervisor de precomisionamiento elaborará los paquetes de cada prueba, y en cada paquete se contará con los siguientes datos incluidos como mínimo:

- DTI's de los sistemas marcados.
- Isométricos de pruebas identificando: límites, presurización, venteo, drenaje y ubicación del calibrador, equipo temporal e instrumentos eliminados.
- Diagramas de soporte de tuberías.
- Lista de líneas a probar.
- Registro de inspección de soldadura.
- Formato de liberación de construcción
- Formato de registro de prueba hidrostática.
- Forma de evaluación de riesgo del trabajo.
- Lista de revisión de trabajo seguro.

Precomisionamiento y el departamento de seguridad acordarán el inicio de la prueba.

Las pruebas que se lleven a cabo durante la noche, fines de semana etc. se pondrán bajo consideración para reducir riesgos de salud y seguridad de trabajo en áreas de venteo potencial.

Se notificara con 24 horas de anticipación al personal que atestiguara las pruebas como son; Inspectores del cliente, control de calidad e inspector de comisionamiento.

EQUIPO DE PRUEBA

El supervisor del equipo verificará que los calibradores y los registradores de presión y temperatura cuenten con certificados de calibración disponibles, así como que incluyan el periodo de validez.

Se revisaran las etiquetas de inspección y calibración, para asegurarse que la fecha de la ultima calibración o inspección no haya expirado.

Todos los conectores de prueba, mangueras y coples de manguera serán inspeccionados visiblemente antes de utilizarse. Los conectores que estén corroídos o dañados no se utilizarán.

SEGURIDAD

Area de trabajo.- Se colocarán señales de advertencia y cinta barricada a una distancia segura del lugar de prueba. Las áreas donde se lleve a cabo un venteo prolongado podrán ser acordonadas y asistidas por personal de pruebas durante el venteo. Se avisará al personal no requerido que deberán abandonar la zona barricada.

Seguridad: Antes del comienzo y duración de la ejecución de las operaciones de pruebas, se tomarán las siguientes precauciones.

- a) Si se requiere permiso por tiempo determinado para trabajar en determinada área, este deberá tramitarse antes de comenzar el trabajo.

- b) Se llevará a cabo una plática de seguridad y se convocará a una junta para hablar sobre la seguridad, antes durante y después de la prueba para todo el personal que esté directamente relacionado con las operaciones de prueba hidrostática.
- c) El equipo de protección individual se usará en todo momento.
 - Casco de seguridad
 - Lentes de seguridad
 - Guantes
 - Ropa de seguridad
 - Botas con casquillo
- d) Al agregar el inhibidor de corrosión a la fuente de agua potable se tendrá cuidado en lo siguiente:
 - Que los técnicos calificados realicen estas actividades según las instrucciones del proveedor y las hojas de datos de los productos incluidos. Cuando se esté expuesto al inhibidor de corrosión o a altas concentraciones del inhibidor de corrosión, se usará el siguiente equipo especializado.
 - Traje impermeable para manejo de químicos
 - Guantes a prueba de ácidos y álcalis
 - Protección facial.
 - Protección respiratoria
- e) Se detendrán todos los demás trabajos en el sistema que se esté probando.
- f) El acceso al área de prueba y a cualquier planta o equipo incluido en la prueba bajo presión quedará restringido y solamente podrá acceder el personal de prueba autorizado.
- g) Se tomarán las medidas necesarias para brindar seguridad a todo el personal durante las pruebas hidrostáticas.
- h) Las mangueras a usar se someterán a revisiones visuales y auditivas regulares durante la presurización.

CONDICIONES INICIALES.

El supervisor de pre-comisionamiento se coordinará con el supervisor de construcción para asegurarse que el sistema está listo para la prueba.

Se aplicarán los siguientes puntos como mínimo.

- Todas las uniones del sistema, incluyendo soldaduras estarán libres de aislamiento, pintura y visibles para las pruebas de presión hidrostática.
- Que todos los soportes temporales estén seguros y en el lugar correcto.
- Todos los equipos y materiales del sistema que no puedan resistir la presión de prueba y que sean susceptibles a ser dañados serán aislados o removidos.
- Se verificará que todos los conectores de prueba temporales estén instalados correctamente.
- Se verificará que todo el equipo de prueba sea adecuado, en conformidad con el isométrico de prueba hidrostática.
- Se verificará que las mangueras no se doblen cuando se conecten
- El registrador de presión y manómetro de prueba estándar a utilizar estarán a la presión de prueba dentro de un 60% de su rango.

- Se utilizará un mínimo de 2 manómetros en cada prueba, uno posicionado en el punto más alto del sistema y otro en el mas bajo.
- El registrador de presión se conectará en el punto más alto.
- Dependiendo de la configuración del sistema, uno o más dispositivos de descompresión se ubicarán cerca de la bomba de presión o del punto de alimentación para protección, en caso de que la presión de prueba sea excedida.
- Los dispositivos descompresores de presión tendrán una presión fijada no más alta que la presión de prueba (al menos de 3.5 barg (50 psi) o 10% de la presión de prueba).
- Un medidor de presión debe ser instalado en el punto de inyección del sistema si el volumen del medio de prueba es suficiente para ocasionar daños contra la salud.

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

- A) El supervisor de prueba, tendrá que verificar la presión de la prueba, comparándola con isométricos actualizados, materiales y equipo instalado.
- B) Antes del llenado todos los conectores de mangueras se revisarán para asegurarse que no existan fugas en las uniones y que las mangueras estén libres de torceduras y obstrucciones.
- C) La alimentación del sistema será por el punto más bajo y el venteo en el punto más alto, el cual estará abierto durante el llenado, para evitar tener aire dentro del sistema.
- D) Una persona estará presente en todos los puntos de venteo para cerrar y sellar rápidamente, siguiendo la emisión visible del medio de prueba de cualquier venteo, para asegurarse que ningún rebose caiga sobre el personal, planta y/o equipo.
- E) Comunicación entre el operador de la bomba de llenado y el personal que monitorea el venteo
- F) El sistema tendrá que ser presurizado gradualmente; no más de 2 bar/min, en pasos, hasta que la presión de la prueba haya sido alcanzada.
- G) Se deberá verificar la presión en el manómetro hasta alcanzar el 25% de la presión de la prueba, la presurización se detendrá y se deberá permitir que se establezca por un periodo mínimo de 10 minutos.
- H) Se tendrá que llevar a cabo una inspección visual preliminar a lo largo del circuito de prueba, para revisar si existen defectos en el sistema, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de prueba.
- I) De 25% a 50%, la presión tiene que incrementarse a no más de 2 bar/min
- J) Cuando el circuito en prueba esté al 50% de presión, se tiene que dejar que la presión se establezca mínimo por 10 min.
- K) Se debe llevar a cabo un chequeo para ver si hay fugas y una inspección visual para verificar si el sistema tiene defectos, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de pruebas.
- L) De 50% a 75% de la presión de prueba, esta se debe aumentar a no más de 2 bar/min
- M) Cuando el circuito en prueba esté al 75% de presión, se tiene que dejar que la presión se establezca mínimo por 10 minutos.
- N) Se debe llevar a cabo un chequeo para verificar si hay fugas y una inspección visual para verificar si el sistema tiene defectos, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de pruebas.
- O) De 75% al 100% de la presión de prueba, debe aumentarse a no más de 1 bar/min.
- P) Cuando se alcance la presión de la prueba, el sistema tiene que estabilizarse por un periodo de 10 minutos.
- Q) Después del periodo de estabilización, la presión de la prueba debe confirmarse como aceptable, por el área de precomisionamiento y los inspectores del cliente.
- R) La presión se mantendrá durante 30 minutos o durante el tiempo requerido para examinar e inspeccionar el sistema o componentes individuales.
- S) Durante las etapas de las pruebas y la duración de las pruebas, todas las conexiones y trabajos de tuberías, tienen que ser revisados visualmente, en caso de que se

encuentren defectos en el sistema, si se encuentra algún defecto, este tendrá que ser reportado al supervisor de precomisionamiento, quien acordara una acción de solución, con el ingeniero de precomisionamiento.

- T) Se debe decidir si una unión y accesorio o equipo del sistema falla, la prueba deberá ser despresurizada.

Bajo ninguna circunstancia se podrán realizar uniones con pernos o reparaciones mientras el sistema se encuentre bajo presión.

- U) Una vez que el circuito de prueba se haya despresurizado, se pueden realizar las reparaciones relativas, y se reinicia la prueba, de acuerdo al procedimiento acordado.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN.

La prueba de presión hidrostática será aceptable cuando la caída de presión registrada en la gráfica del manógrafo se deba al efecto de la temperatura ambiente y que no se haya detectado fugas en el sistema de tuberías probado.

CONDICIONES FINALES.

En una finalización exitosa de pruebas de presión hidrostática, el sistema será despresurizado a 0 barg y reinstalada siguiendo los requerimientos operacionales indicados por los supervisores de precomisionamiento (instalación de tapas, ciegos, etc.)

La despresurización se llevará a cabo de manera controlada para evitar factores de estrés en el sistema bajo prueba hasta que se alcancen condiciones de presión atmosférica.

- a) Los líquidos de la prueba deberán utilizarse en sistemas subsecuentes listos para probar o regresar a los tanques de almacenamiento o contenedores donde se evitará ocasionar impacto ambiental.
- b) El sistema será normalmente despresurizado a través de una operación uniforme continua de un mínimo de 10 min. Asegurando que la despresurización no exceda de 4 bar/min. No se aplicarán periodos de estabilización intermedia.
- c) Se tiene que tomar en consideración la posibilidad de que los fluidos de prueba pueden estar siendo retenidos. Se debe ejercer extremo cuidado para asegurarse que toda la presión haya sido descargada antes de abrir cualquier componente, equipo o tubería que haya estado sometida a prueba de presión. Puede que haya la necesidad de ventear la prueba en más de un punto, lo cual se definirá en cada paquete de prueba.
- d) Al termino de la despresurización, cualquier válvula incluida en el paquete de prueba o que se encuentre en los límites del sistema sera accionada para liberar la presión que pueda quedar atrapada dentro de las cavidades de las válvulas.
- e) Se confirmará que el sistema se haya despresurizado completamente, que se observe visiblemente seco y libre de materiales y/o sustancias peligrosas.
- f) El equipo y los componentes del sistema que hayan sido removidos durante la operación de prueba deberán instalarse.
- g) Las uniones bridadas involucradas en la prueba serán reinstaladas utilizando empaques nuevos.
- h) Cualquier abertura se protegerá para evitar el ingreso de materia extraña.
- i) Todo el equipo de prueba se operará, limpiará y se regresará al almacén de pruebas.
- j) Se evitará cualquier derrame de líquido que pueda causar daño al personal o algún impacto negativo en el medio ambiente.

- k) Cuando se haya finalizado por completo el trabajo dentro del área asignada para el mismo, se removerán la cinta barricada y las señales de seguridad utilizadas para delimitar el área.
- l) El área de trabajo se dejará limpia y en buenas condiciones de acuerdo con las buenas practicas de ingeniería y el reglamento de seguridad y medio ambiente del patio de fabricación.

ELEMENTOS DE SALIDA.

REGISTROS.

Al lograr una finalización exitosa, el paquete del sistema se pasará al ingeniero de precomisionamiento para presentarlo al cliente para su aprobación.

El paquete del sistema incluirá lo siguiente.

- DTI's de los sistemas marcados.
- Isométricos de prueba, identificando: límites del circuito de prueba, presurización, venteos, ubicación de drenes y manómetros, equipo provisional, elementos removidos.
- Diagramas de soporte de tubería
- Índice de líneas a probar
- Registro de inspección de soldadura.
- Formato de registro de prueba hidrostática completado incluyendo pero sin limitarse a los siguientes puntos: número de identificación único de prueba, descripción y código del sistema, presión designada del sistema, fecha de la prueba, medio de la prueba, temperatura y presión de la prueba, fecha de inicio y termino de la prueba, registros del medidor de la prueba.
- Hoja de prueba de presión y temperatura incluyendo número de identificación de prueba, fecha de la prueba, fecha de inicio y termino, registro de datos.

Ejemplo de formato de certificado de Prueba Hidrostática.

GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL CERTIFICADO DE PRUEBA HIDROSTÁTICA.		
CENTRO DE TRABAJO: _____	INSTALACION: _____	
EQUIPO Y/O CIRCUITO: _____	SERVICIO: _____	
PRESION DE DISEÑO _____ Kg/cm ²	TEMPERATURA DE DISEÑO ____ °C	
PRESION DE OPERACION _____ Kg/cm ²	TEMPERATURA DE OPERACION ____ °C	
PRESION DE PRUEBA _____ Kg/cm ²	TEMPERATURA DE PRUEBA ____ °C	
MATERIAL _____		
ESFUERZO PERMISIBLE A LA TEMPERATURA DE DISEÑO _____		
ESFUERZO PERMISIBLE A LA TEMPERATURA DE OPERACION _____		
ESFUERZO PERMISIBLE A LA TEMPERATURA DE PRUEBA _____		
OBSERVACIONES: _____		

TIEMPO DE DURACION DE LA PRUEBA _____		

SE CONSIDERA SATISFACTORIO EL RESULTADO DE LA PRUEBA _____		

_____	_____	_____
SUPTCIA. INSP. TEC. Y SEG. IND. (Nombre y firma)	SUPTCIA. DE MANTO. (Nombre y firma)	SUPTCIA. DE OPERACION (Nombre y firma)
FECHA: _____		

EQUIPOS UTILIZADOS PARA LAS PRUEBAS HIDROSTATICAS



Tanque de almacenamiento de agua, bombas y mangueras



Manómetros y Termómetros



Medidores de presión y conexiones.

D.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS NEUMÁTICAS

OBJETIVO.

El objetivo de este documento es definir la metodología que se aplicará para la realización de las pruebas de presión neumáticas.

APLICACIÓN.

La prueba de presión neumática se desarrollará a 1.1 X Presión de diseño (ASME B31.3 – 345.5.4.) para probar la fuerza mecánica y la integridad del sistema o del componente, y solo se lleva a cabo en circunstancias especiales:

- Cuando el recipiente o el sistema, no sea capaz de soportar el peso del líquido requerido para las pruebas hidrostáticas y que no se permita el uso de soportes adicionales temporales.
- Cuando el uso del agua en el interior del recipiente o el sistema, no este permitido dado que puede contaminarlo. En este caso se debe considerar primero el uso de un fluido alternativo, si esto no es aplicable el uso de pruebas neumáticas podrá ser considerado como opción.

Si la prueba de presión neumática llega hasta 10.5 barg (150 psi) se debe llevar a cabo usando aire comprimido. A partir de 10.5 barg se recomienda el uso de Nitrógeno, lo que brindará una atmósfera inerte con contenido rico en oxígeno y se reducirá considerablemente el riesgo de combustión.

Excepto por aquellos casos en donde se obtiene un requerimiento específico, la prueba neumática debe restringirse a las siguientes presiones:

- | | |
|----------------------------|--|
| - Componentes individuales | 1.1 X Presión de diseño del componente. |
| - Sistema | 1.1 X Presión de diseño de la unión más débil. |

EQUIPO DE MEDICIÓN Y PRUEBA.

- Suministro de aire limpio, libre de aceite y seco, @ 7 bar (100 psi).
- Compresor de aire 4.25 m³/min (150 ft³/min)
- Unidad de bomba de nitrógeno (cuando aplique).
- Tanque de almacenamiento para el nitrógeno líquido.
- Registrador de presión de prueba
- Registrador de temperatura ambiente.
- Mangueras de presión con conectores de seguridad
- Cabezales múltiples con válvulas de bloqueo y conectores.
- Juego de válvulas y conectores.
- Juego de herramientas de afloje.
- Juego de herramientas menor y equipo para maniobras.
- Materiales temporales suficientes, incluyendo bridas, empaques, pernos y tapones para cerrar.
- Solución de agua con jabón.
- Señales de seguridad y cinta barricada.
- Servicios de soporte del sitio: Montacargas/andamios.

DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO.

PRERREQUISITOS.

Todo el equipo y tuberías que se probarán estarán evaluados y organizados en sub-sistemas o pruebas individuales con la ayuda de los DTI's y de los isométricos. El supervisor de precomisionamiento elabora los paquetes de cada prueba, y en cada paquete se contará con los siguientes datos incluidos como mínimo:

- DTI's de los sistemas marcados.
- Isométricos de pruebas identificando: límites, presurización, venteo, drenaje y ubicación del calibrador, equipo temporal e instrumentos eliminados.
- Diagramas de soporte de tuberías.
- Lista de líneas a probar.
- Registro de inspección de soldadura.
- Completar las hojas de tensión hidráulica de brida con el reporte del valor de tensión del espárrago individual
- Formato de liberación de construcción
- Formato de registro de prueba neumática.
- Forma de evaluación de riesgo del trabajo.
- Lista de revisión de trabajo seguro.

Precomisionamiento y el departamento de seguridad acordarán el inicio de la prueba.

Las pruebas que se lleven a cabo durante la noche, fines de semana etc. se pondrán bajo consideración para reducir riesgos de salud y seguridad de trabajo en áreas de venteo potencial.

Se notificara con 24 horas de anticipación al personal que atestiguara las pruebas como son; inspectores del cliente, control de calidad e inspector de comisionamiento.

EQUIPO DE PRUEBA

El supervisor del equipo verificará que los calibradores de prueba y los registradores de presión y temperatura cuenten con certificados de calibración disponibles, así como que incluyan el periodo de validez.

Se revisaran las etiquetas de inspección y calibración, para asegurarse que la fecha de la ultima calibración o inspección no haya expirado.

Todos los conectores de prueba, mangueras y coples de manguera serán inspeccionados visiblemente antes de utilizarse. Todos los conectores que estén corroídos o dañados no se utilizarán.

SEGURIDAD

Area de trabajo.- Se colocarán señales de advertencia y cinta barricada a una distancia segura del lugar de prueba. Las áreas donde se lleve a cabo un venteo prolongado podrán ser acordonadas y asistidas por personal de pruebas durante el venteo. Se avisará al personal no requerido que deberán abandonar la zona barricada.

Seguridad: Antes del comienzo y duración de la ejecución de las operaciones de pruebas neumáticas, se tomarán las siguientes precauciones.

- a) Si se requiere permiso por tiempo determinado para trabajar en determinada área, este deberá tramitarse antes de comenzar el trabajo.

- b) Se llevará a cabo una plática de seguridad y se convocará a una junta para hablar sobre la seguridad, antes durante y después de la prueba para todo el personal que este directamente relacionado con las operaciones de prueba neumática.
- c) El equipo de protección individual se usará en todo momento.
 - Casco de seguridad
 - Lentes de seguridad
 - Guantes
 - Ropa de seguridad
 - Botas con casquillo
- d) Todos los demás trabajos se detendrán en el sistema que se esté probando.
- e) El acceso al área de prueba y a cualquier planta o equipo incluido en la prueba bajo presión quedará restringido y solamente podrá acceder el personal de prueba autorizado.
- f) Se tomaran las medidas necesarias para brindar seguridad a todo el personal durante las pruebas neumáticas.
- g) Las mangueras a usar se someterán a revisiones visuales y auditivas regulares durante la presurización.

CONDICIONES INICIALES.

El supervisor de pre-comisionamiento se coordinará con el supervisor de construcción para asegurarse que el sistema esta listo para la prueba.

Se aplicarán los siguientes puntos como mínimo.

- Todas las uniones del sistema, incluyendo soldaduras estarán libres de aislamiento, pintura y visibles para las pruebas de presión neumática.
- Que todos los soportes temporales estén seguros y en el lugar correcto.
- Todos los equipos y materiales del sistema que no puedan resistir la presión de prueba y que sean susceptibles a ser dañados serán aislados o removidos.
- Se verificará que todos los conectores de prueba temporales estén instalados correctamente.
- Se verificará que todo el equipo de prueba sea adecuado, de conformidad con el isométrico de prueba neumática.
- Se verificara que las mangueras no se doblen cuando se conecten
- El registrador de presión y manómetro de prueba estándar a utilizar estarán a la presión de prueba dentro de un 60% de su rango.
- Se utilizará un mínimo de 2 manómetros en cada prueba, uno posicionado en el punto más alto del sistema y otro en el mas bajo.
- El registrador de presión se conectará en el punto más alto.
- Un medidor de presión debe ser instalado en el punto de inyección del sistema si el volumen del medio de prueba es suficiente para ocasionar daños contra la salud.

DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO.

1. El supervisor de prueba, tendrá que verificar la presión de la prueba, comparándola con isométricos actuales, materiales y equipo instalado.
2. El sistema tendrá que ser presurizado gradualmente; a no más de 2 bar/min, en pasos, hasta que la presión de la prueba haya sido alcanzada.
3. Se deberá verificar la presión en el manómetro hasta alcanzar el 25% de la presión de la prueba, la presurización se detendrá y se deberá permitir que se estabilice por un periodo mínimo de 10 minutos.
4. Se tendrá que llevar a cabo una inspección visual preliminar a lo largo del circuito de prueba, para revisar si existen defectos en el sistema, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de prueba.
5. De 25% a 50%, la presión tiene que incrementarse no más de 2 bar/min
6. Cuando el circuito en prueba esté al 50% de presión, se tiene que dejar que la presión se estabilice mínimo por 10 min.
7. Se debe llevar a cabo un chequeo para ver si hay fugas y una inspección visual para verificar si el sistema tiene defectos, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de pruebas. Se debe aplicar una mezcla de agua y jabón en las juntas, en donde no sea suficiente la inspección visual.
8. De 50% a 75% de la presión de prueba, esta se debe aumentar a no más de 2 bar/min
9. Cuando el circuito en prueba esté al 75% de presión, se tiene que dejar que la presión se estabilice mínimo por 10 minutos.
10. Se debe llevar a cabo un chequeo para verificar si hay fugas y una inspección visual para verificar si el sistema tiene defectos, incluyendo; conexiones para bridas, juntas roscadas y accesorios de pruebas. Se debe aplicar una mezcla de agua y jabón en las juntas, en donde no sea suficiente la inspección visual.
11. De 75% al 100% de la presión de prueba, debe aumentarse a no más de 1 bar/min.
12. Cuando se alcance la presión de la prueba, el sistema tiene que estabilizarse por un periodo de 10 minutos.
13. Después del periodo de estabilización, la presión de la prueba debe confirmarse como aceptable, por el área de precomisionamiento y los inspectores del cliente.
14. La presión se mantendrá durante 30 minutos o durante el tiempo requerido para examinar e inspeccionar el sistema o componentes individuales.
15. Durante las etapas de las pruebas y la duración de las pruebas, todas las conexiones y trabajos de tuberías, tienen que ser revisados visualmente, si se encuentra algún defecto, este tendrá que ser reportado al supervisor de precomisionamiento, quien acordara una acción de solución, con el ingeniero de precomisionamiento.
16. Se debe decidir si una unión y accesorio o equipo del sistema falla, la prueba deberá ser despresurizada.
17. Bajo ninguna circunstancia se podrán realizar uniones con pernos o reparaciones mientras el sistema se encuentre bajo presión.
18. Una vez que el circuito de prueba se haya despresurizado, se pueden realizar las reparaciones relativas, y se reinicia la prueba, de acuerdo al procedimiento acordado.

CRITERIOS DE ACEPTACIÓN.

La prueba de presión neumática será aceptable cuando no se encuentren defectos durante la inspección visual y no se haya identificado alguna fuga en la tubería del sistema.

CONDICIONES FINALES.

En una finalización exitosa de pruebas de presión neumática, el sistema será despresurizado a 0 barg y reinstalado siguiendo los requerimientos operacionales indicados por los supervisores de precomisionamiento (instalación de tapas, ciegos, etc.)

La despresurización se llevará a cabo de manera controlada para evitar factores de estrés en el sistema bajo prueba hasta que se alcancen condiciones de presión atmosférica.

- A) Los gases de las pruebas tienen que ser ventilados de manera controlada para reducir el factor de ruido en el medio ambiente, además de la ventilación de las pruebas neumáticas.
- B) El sistema será normalmente despresurizado a través de una operación uniforme continua de un mínimo de 10 min. Asegurando que la despresurización no exceda de 4 bar/min. No se aplicarán periodos de estabilización intermedia.
- C) Para presiones de prueba arriba de 50 bar (725 psi) el sistema tendrá que ser despresurizado con los mismos pasos de la presurización.
- D) Al término de la despresurización, cualquier válvula incluida en el paquete de prueba o que se encuentre en los límites del sistema será accionada para liberar la presión que pueda quedar atrapada dentro de las cavidades de las válvulas.
- E) Se confirmará que el sistema se haya despresurizado completamente, que se observe visiblemente seco y libre de materiales y/o sustancias peligrosas.
- F) El equipo y los componentes del sistema que hayan sido removidos durante la operación de prueba deberán instalarse.
- G) Las uniones bridadas involucradas en la prueba serán reinstaladas utilizando empaques nuevos.
- H) Cualquier abertura se protegerá para evitar el ingreso de materia extraña.
- I) Todo el equipo de prueba se operará, limpiará y se regresará al almacén de pruebas.
- J) Se debe considerar la posibilidad de que los gases de la prueba queden atrapados, por lo que debe tenerse cuidado extremo para asegurarse que toda la presión haya sido liberada, antes de cerrar cualquier planta, equipo o tubería que haya sido sometido a prueba de presión. Puede ser necesario que se ventee el circuito de prueba, desde más de un punto.
- K) Cuando se haya finalizado por completo el trabajo dentro del área asignada para el mismo, se removerán la cinta barricada y las señales de seguridad utilizadas para delimitar el área.
- L) El área de trabajo se dejará limpia y en buenas condiciones de acuerdo con las buenas prácticas de ingeniería y el reglamento de seguridad y medio ambiente del patio de fabricación.

ELEMENTOS DE SALIDA.

REGISTROS.

Al lograr una finalización exitosa, el paquete del sistema se pasará al ingeniero de precomisionamiento para presentarlo al cliente para su aprobación.

El paquete del sistema incluirá lo siguiente.

- DTI's de los sistemas marcados.
- Isométricos de prueba, identificando: límites del circuito de prueba, presurización, venteos, ubicación de drenes y manómetros, equipo provisional, elementos removidos.
- Reportes de pruebas no destructivas en soldaduras y soportes de tuberías.
- Índice de líneas a probar
- Registro de inspección de soldadura.
- Formato de registro de prueba neumática completado incluyendo pero sin limitarse a los siguientes puntos: número de identificación único de prueba, descripción y código del sistema, presión designada del sistema, fecha de la prueba, medio de la prueba, temperatura y presión de la prueba, fecha de inicio y término de la prueba, registros del medidor de la prueba.
- Hoja de prueba de presión y temperatura incluyendo número de identificación de prueba, fecha de la prueba, fecha de inicio y término, registro de datos.

LISTA DE VERIFICACION DE TRABAJO SEGURO PARA PRUEBAS DE PRESION.

ACTIVIDAD	OK	NA	COMENTARIOS
Verificar que todos los elementos temporales que han sido soldados para prueba ha sido liberado por control de calidad antes de la prueba.			
¿Se encuentra el equipo de pruebas en buenas condiciones y calibrado?			
¿Se encuentra el área bloqueo con cinta / cadena y señales de advertencia?			
¿Todo el personal ha abandonado la zona de exclusión de seguridad antes de la presurización?			
En caso de prueba hidrostática, verificar que todas las válvulas están en la posición correcta.			
En caso de prueba neumática, ¿Esta especificada la distancia de seguridad y bloqueada correctamente?			
Durante la despresurización: Asegurar que el sistema de prueba esté sin presión antes de desmontar el equipo de prueba.			

	SUPERVISOR DE PRUEBAS	SEGURIDAD	INSPECTOR DE PRECOMISIONAMIENTO
NOMBRE			
FIRMA			
FECHA			

ANEXO E

**FORMATOS UTILIZADOS DURANTE
LA REALIZACION DE PRUEBAS**

**DELIMITACION DE SISTEMAS POR CIRCUITOS PARA TENER EL CONTROL EN LAS ACTIVIDADES DE PRUEBAS
HIDROSTATICAS, LAVADOS, SOPLADOS Y NORMALIZADO DE LOS MISMOS**

PROYECTO: _____
 SISTEMA DE: _____ SISTEMA No.: _____ DESCRIPCION SISTEMA: _____
 FECHA : _____ PLANTA: _____ REV. _____ HOJA: _____ DE _____

CIRCUITO No.	DELIMITACION DEL CIRCUITO	NUMEROS DE LINEAS QUE LO COMPONEN	OBSERVACIONES

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
SEGUIMIENTO A PRUEBAS DE PRECOMISIONAMIENTO**

ITEM	CLAVE	DESCRIPCION DE SISTEMA Y/O CIRCUITO	PRUEBA HIDROST.	TRANSFERENCIA	LAVADO		PRUEBA DE HERMETIC	PRUEBA DE PRESION	SOPLADO	NORMALIZADO	INERTIZADO
					NORMAL	QUIMICO					

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
PRUEBAS A TANQUES, RECIPIENTES Y TORRES**

ITEM	TAG.	SECCION	SISTEMA	DISEÑO		PRUEBA HIDROSTATICA kg/cm2 (g)	MATERIAL		CODIGO
				PRESION kg/cm2(g)	TEMPERATURA °C		CUERPO	TAPAS	

**DIRECCION DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
 REPORTE DE OPERACIÓN DE EQUIPO MECANICO**

ITEM	TAG.	MOTOR PAR DE ARRANQUE amps	CARGA amps	VOLTS	VELOCIDAD rpm	TEMP.	BOMBA PRESION		FLUJO	TEMP.	VIBRACIONES
							SUCCION Kg/cm2	DESCARGA Kg/cm2			

DIRECCIÓN DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
PRUEBA DINAMICA DEL MOTOR

DATOS DE PLACA

VOLTS	MARCA	PROTECCION
AMPS	TIPO	 AISLAMIENTO
HERTZ	CLASE	INCREMENTO DE TEMPERATURA
FASES	GRUPO	PAR DE ARRANQUE
F.S.	DIVISION	RESISTENCIA CALEFACCION

HORA	CORRIENTE EN FASES (amps)			RESIST. CAL. CORRIENTE (amps)	TEMPERATURA		VELOCIDAD (rpm)
	1	2	3		LADO COPLE °C	LADO OPUESTO COPLE °C	

OBSERVACIONES:

**DIRECCIÓN DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
REGISTRO DE VIBRACIÓN DE EQUIPO ROTATORIO**

		REGISTRO DE VIBRACION DE EQUIPO ROTATORIO						PAG. 1 DE 1 FECHA:						
DESCRIPCION DEL EQUIPO:														
DATOS DE PLACA DEL EQUIPO:														
MOTOR				VARIADOR						BOMBA				
MARCA				MARCA						MARCA				
VELOCIDAD				TIPO						GASTO				
VOLTAJE				VARIABLE VELOCIDAD						CARGA DINAMICA				
CORRIENTE				FLUJO						VELOCIDAD MAXIMA				
POTENCIA				LUBRICACION						HP				
LUBRICACION				SISTEMA ENFTO.						LUBRICACION				
SERIE				SERIE						SERIE				
MEDICION DE VIBRANTES				MICRAS ()						MILS ()				
H O R A	CARGA DEL EQUIPO %	PUNTO	MEDICIONES FILTRADAS						MEDICION SIN FILTRAR					
			X		Y		Z		X		Y		Z	
			VEL	DESP	VEL	DESP	VEL	DESP	VEL	DESP	VEL	DESP	VEL	DESP
		A												
		B												
		C												
		D												
		E												
		F												

OTROS PARAMETROS

HORA	PRESION (KPa)		TEMPERATURA DE CHUMACERA °C						TEMP AMB °C	CORR. amps	AGUA ENFTO °C		GASTO M ³ /S
	SUCCION	DESCARGA	A	B	C	D	E	F			ENTR	SAL.	
CORRIENTE DE ARRANQUE: _____ AMPS. CORRIENTE A M.C.R. _____ AMPS. EQUIPO DE PRUEBA: _____ COMENTARIOS: _____ _____									EFECTUO PRUEBA: _____ REVISO: _____ APROBO: _____ INICIO: _____ TERMINACION: _____ LUGAR Y FECHA: _____ _____				

**DIRECCIÓN DE PRUEBAS Y PUESTA EN SERVICIO
REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS**

	HOJA DE DATOS	PLANTA: _____ UNIDAD: _____ FECHA: _____ PAG. ____ DE ____
--	---------------	--

HOJA DE DATOS PARA CALIBRACION DE: _____

No. TAG. _____ MARCA / MODELO _____ SERIE _____

SEÑAL SUMINISTRO _____ OPERACIÓN _____ CON AIRE TIPO: _____

NOMBRE DEL SISTEMA _____ No. DE SISTEMA _____

MARCA _____ MARCA _____
 MODELO _____ MODELO _____

ACTUADOR TIPO _____ POSICIONADOR RANGO _____

P. SUMINISTRO _____ No. DE SERIE _____
 No. DE SERIE _____ P. SUMINISTRO _____

ENTRADA			SALIDA LEIDA	ERROR	SALIDA LEIDA	ERROR	SALIDA LEIDA	ERROR	FINAL	ERROR
% RANGO	EQUIVA LENCIA	SALIDA DESEADA								
0										
25										
50										
75										
100										
75										
50										
25										
0										

ERROR PERMITIDO

OBSERVACIONES:
EQUIPO DE PRUEBA UTILIZADO

DESCRIPCION	MARCA/No. DE SERIE	No. DE CONTROL	VIGENCIA DE CALIBRACION

	NOMBRE Y FIRMA	FECHA
REALIZO		
REVISO		
APROBO		

BIBLIOGRAFIA

LIBROS	1. BAASEL William D. <i>Preliminary Chemical Engineering Plant Design</i> . Segunda Edición. New York. Editorial Van Nostrand Reinhold.
	2.- GARRET. <i>Chemical Engineering Economics</i> .
	3.- JOHN Spence L. and WALLSGROVE Christopher. <i>Course Process Plant Start-up</i> . Chicago, Illinois. December 2-4, 1981.
	4.- JOHN, Stanford McLeod. " <i>Planning for startup: An evaluation of factors affecting the startup of process industry facilities</i> ". The University of Texas at Austin. December 2000.
	5.- LUDWING Ernest. <i>Applied project engineering and management</i> . Segunda Edición. 1988. Editorial Gulf Publishing Company.
	6.- PETERS, Max S. TIMMERHAUS, Klaus D. and WEST, Ronald E. <i>Plant Design and economics for chemical engineers</i> . Quinta Edición. Editorial Mc. Graw Hill.
	7.- Sin Autor. <i>Course of Instrument Society of America</i> (1989).
ARTICULOS DE REVISTAS	8.- ANDERSON, Charles H. "Successful start-up management". AACE Transactions. (1992): U.1.1 – U.1.7.
	9.- ANDIA, Dan. "Project practices for success". Hydrocarbon Processing. (December 1998):43-50.
	10.- BOPP, Peter H. "Startup problems in Mexico". Chemical Engineering Progress. Vol. 63, No. 12. (December 1967): 57-60.
	11.- BOWDOIN K. A. "Reduce plant startup problems". Hydrocarbon Processing. (March 2001):59.
	12.- BRANISLAV, Plavsic. "Estimate costs of plants worldwide". Chemical Engineering. (August 1993):100-104.
	13.- BUS, Ken. DOMINGOS, Aldemir. DUARTE, Gilmar and POHLMANN, André. "Improve startup of an olefins complex". Hydrocarbon Processing. (June 2000): 37-42.
	14.- BUTLER, Martin E. NAYAR, M. P. and WHEELER, Mark E. "How to facilitate startup". Chemical engineering. (June 1993):82-92.

	15.- FELDMAN, Richard P. "Economics of plant startups". Chemical Engineering. (November 3, 1969): 87-90.
	16.- FINLAYSON, Kenneth and GANS, Manfred. "Planning the successful startup". Chemical Engineering Progress. Vol.63, No. 12. (December 1967):33-39.
	17.- FINNERAN J. A. HUTCHINSON T.G. and SWEENEY N. J. "Startup performance of large ammonia plants". Chemical Engineering Progress. Vol. 64, No. 8 (August 1968): 72-77.
	18.- FULKS, Bernard D. "Planning and organizing for less troublesome plant startups". Chemical Engineering. (September 6, 1982): 96-106.
	19.- GANS, Manfred. "The A to Z of plant startup". Chemical Engineering. (March 15, 1976):72-82.
	20.- GANS, Manfred. FITZGERALD, Francis A. and KIORPES, Stephen A. "Plant startup- step by step by step". Chemical Engineering. (Oct. 3,1983):74-100.
	21.- HARDING, Jeffrey S. "A crash course in project engineering". Chemical Engineering. (July 1995): 118-126.
	22.- HOLLMAN, John and JONES, Greg. "A planned way for smooth, quick startups". ProQuest. Vol. 44, Iss. 7 (Jul 2002): 1 – 4.
	23.- HOPPER B. J. and SWAIN R.T. "Contractor problems during startup". Chemical Engineering Progress. Vol. 67, No. 12. December 1971: 32-35.
	24.- IYER, K.R. "Operator maintenance – key to reducing breakdowns". Hydrocarbon Processing. (October 2002):51-55.
	25.- KING, Robert A. "How to achieve effective project control". Chemical Engineering. (July 4, 1977): 117-121.
	26.- LEITCH, Jim. "Effective new plant startup increases asset's net present value". Hydrocarbon Processing. (July 2004): 95-98.
	27.- LEITCH, Jim. "Eliminating the risk to starting up your plant right the first time". Hydrocarbon Processing. (December 2006): 47-52.
	28.- LOEN, Raymond O. "Use Engineered Training for better plant startup". Hydrocarbon Processing. Vol. 45. No.10. (October 1966): 199-202.
	29.- MATLEY Jay. "Keys to successful plant startup". Chemical Engineering. (September 8, 1969): 110-130.
	30.- MC CALLISTER, Robert A. "Plant startup problems". C&EN. (May 17, 1971). 30-32.
	31.- MC CALLISTER Robert A. "Here's a study of sources and cost of plant start-up problems". The Oil and Gas Journal. (June 28, 1971): 74-75.

	32.- MUKHERJEE Siddhartha. "Preparations for initial startup of a process unit". Chemical Engineering. (January 2005): 36-42.
	33.- PEARSON L. "When it's time for startup". Hydrocarbon Processing. (August 1977):116-120.
	34.- RYAN G. T. "Managing the project startup". Chemical Engineering Progress. Vol. 68. No. 12. (December 1972): 65-71.
	35.- STRAIGHT, Frank. "How the project engineer gets the job done". Chemical Engineering. (April 16, 1984): 75-77.
	36.- SURESH, Victor Sohmen. "Capital project commissioning: Factors for success". AACE Transactions. (1992): J.4.1 - J.4.10.
	37.- TROYAN J.E. "How to prepare for plant startups in the chemical industries" Chemical Engineering. (September 5, 1960):107-126.
	38.- TROYAN, J. E. "Troubleshooting new equipment". Chemical Engineering. (March 20, 1961): 147-150.
	39.- TROYAN, J. E. "More on troubleshooting new equipment. Pumps, compressors and agitators". Chemical Engineering. (May 1, 1967): 91-94.
	40.- UPPAL, Kul B. "Best practice of cost estimates". AACE International Transactions (2003): EST.06.1- EST.06.5.
	41.- WHISTON, James. "When you commission a plant". Hydrocarbon Processing. (November 1977): 410-422.
TESIS	42.-CANELA Isais Salvador. "Tesis: Arranque de una nueva planta industrial". Facultad de Ingeniería de la UNAM. México D.F. 1989.
	43.-CASTAÑON Guadardo Enrique Abraham. "Tesis: Arranque de plataformas de compresión de gas". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1982.
	44.-FLORES Hinojosa Arturo. "Tesis: Arranque de plantas: Estudio del arranque de una planta de urea". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1984.
	45.-RAMÍREZ Gómez Carlos Hernán. "Tesis: Propuesta de herramientas de planeación para proyectos industriales de instalación". Facultad de Química de la UNAM. México D. F. 1999.
	46.-SERRANO Liceaga Jessica Beatriz. "Tesis: Arranque de un paquete de generación de ácido sulfuroso en una plataforma marina". UNAM FES Zaragoza. México D.F. Septiembre 2000.

NORMAS	47.- <i>API Publication 700. Checklist for Plant Completion. Second Edition September 1981.</i>
	48.- 258-28400-PA-0001. <i>Procedimiento para la Entrega-Recepción de obras del proyecto Cantarell a los Activos y Gerencias de la Región Marina Noreste. Diciembre 2000.</i>
	49.- DG-GPASI-IT-0400. <i>Procedimiento para efectuar las pruebas hidrostáticas a tuberías y equipos de las instalaciones dependientes de PEMEX Refinación. Rev.1.</i>
	50.-DG-ASIPA-SI-06920. <i>Procedimiento para verificar las condiciones de seguridad y los requerimientos ambientales antes de iniciar la operación de instalaciones industriales nuevas. Rev. 3.</i>
	51.- Procedimientos PEMEX Q1684220. Dirección corporativa de ingeniería y desarrollo de proyectos
DOCUMENTO DE INTERNET	52.- www.csb.gov

DEFINICIONES.

Acta de Entrega-Recepción.- Documento que certifica la terminación y aceptación de la obra por parte del cliente.

Acta de Entrega - Recepción condicionada.- Documento que certifica la terminación del proceso de entrega-recepción de la obra con las No Conformidades, observaciones y/o nuevos requerimientos para la conclusión de la obra.

Agencia Certificadora.- Compañía con acreditación internacional para avalar: ingeniería, diseño, construcción, instalación y pruebas a instalaciones y equipos industriales.

Arranque.- Es hacer funcionar todos los sistemas con hidrocarburos, es decir la introducción de la materia prima a la instalación y la Puesta en Servicio, a las condiciones de operación de cada uno de los sistemas hasta obtener la producción nominal y su estabilización.

Certificado de Aceptación Parcial.- Documento que avala la aprobación de la inspección o prueba realizada.

Certificado de Terminación Mecánica.- Documento que avala que toda ó una parte de la obra se encuentra terminada al 100% de acuerdo con los requisitos y especificaciones del Contrato.

Contratista.- Persona física o moral que celebra contratos de obras públicas, y de servicios relacionados con las mismas.

Contrato.- Acuerdo de voluntades entre dos o más personas físicas o morales, en el cual se establecen obligaciones y derechos recíprocos entre las partes firmantes, con relación a la realización y/o entrega de un bien o servicio determinado, por un monto y una duración determinados.

Lista de Pendientes.- Describe los conceptos de trabajo aun no concluidos o las desviaciones de la obra, identificadas después que el contratista notifica la terminación mecánica del sistema.

Manual de Operación.- Documento que contiene de manera detallada las actividades y condiciones con las cuales debe operar el sistema, circuito, instalación, así como las características técnicas sobresalientes del mismo.

Precomisionamiento: Las actividades de precomisionamiento son las actividades tales como ajustes, chequeos de alineación en frío, etc. desarrolladas antes del comisionamiento o terminación mecánica.

Presión de Diseño (Pd). Es la presión en las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes esperadas durante el servicio y en las que resulta el mayor espesor de pared y el más alto libraje de los componentes.

Presión de Operación (Po). Es la presión medida en el punto más alto, a la que opera normalmente un equipo o tubería.

Prueba de Desempeño.- Actividad posterior al Arranque de una instalación o la Puesta en Servicio de un sistema, circuito, y que tiene por objeto verificar el rendimiento del mismo, de acuerdo a las especificaciones de diseño.

Pruebas dinámicas (de funcionamiento).- Estas incluyen, pero no se limitan a: accionar a todos los instrumentos y lazos de control como sistemas, el funcionamiento de los equipos rotatorios, la verificación de todos los enclavamientos, los sistemas de alarmas y de paro de emergencias (ESD), el purgado de sistemas y el alineamiento de los sistemas para operaciones.

Pruebas Previas a la Puesta en Servicio.- Son todas las pruebas estáticas (no de funcionamiento) las cuales incluyen, pero no se limitan a las pruebas hidrostáticas, las pruebas para la detección de fugas, el alineamiento de los equipos rotatorios, las inspecciones de recipientes, la calibración de instrumentos, el lavado de sistemas y limpieza química, la carga inicial de aceite y de químicos, las rotaciones/rodaje inicial de motores, para confirmar que los elementos apropiados para la seguridad del proceso han sido cubiertos satisfactoriamente y la instalación se encuentra en condiciones seguras de operar.

Recepción Parcial de la Obra.- Actividad documentada en la que el cliente recibe una parte utilizable de la obra, terminada, quedando pendiente el complemento de la misma.

Sistema.- Conjunto de elementos de una instalación que contiene los circuitos de tubería, equipos electromecánicos e instrumentos asociados para un fin específico.

Temperatura de Diseño (Td). Es la temperatura en las condiciones más severas de presión y temperatura coincidentes esperadas durante el servicio y, en las que se requiere el mayor espesor de pared y el más alto libraje de los componentes

Terminación Mecánica. - Instalación completa ó parte de ésta construida de acuerdo a planos, diagramas, especificaciones, normas, procedimientos y códigos aplicables, incluyendo las actividades de precomisionamiento han sido terminadas en la extensión necesaria para permitir que inicien las actividades de comisionamiento.