



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**PROBLEMAS EN ARRANQUES DE PLANTAS DE PROCESO**

**TRABAJO MONOGRAFICO**

**HUMBERTO ROGELIO IBARZABAL GUERRERO**

**CARRERA: INGENIERO QUIMICO**

**AÑO 1985**



## **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 está 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.

# I N D I C E

	Página
INTRODUCCION.....	1
1. GENERALIDADES. ....	3
1.1. Generalidades	
1.2. Desarrollo de un Proyecto.	
1.3. Tecnología.	
2. ARRANQUE. ....	20
2.1. Operación Inicial.	
2.2. Problemas Típicos.	
2.3. Retroalimentación.	
3. FUENTES DE PROBLEMAS. ....	64
3.1. Desarrollo de la Ingeniería.	
3.2. Adquisición, Fabricación y Manejo de Equipo y Materiales.	
3.3. Negociaciones Contractuales.	
3.4. Mano de Obra de Construcción.	
3.5. Estimación de Costo.	
3.6. Desempeño del Equipo de Arranque.	
4. PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DE PROBLEMAS. ..	131
4.1. Selección y Entrenamiento de Operadores.	
4.2. Centros de Información.	
4.3. Limpieza, Pruebas y Verificación de Instalaciones.	
4.4. Planeación.	
5. CONCLUSIONES.....	192

## INTRODUCCION

Indudablemente el título "Problemas en Arranques de Plantas de Proceso" es muy genérico y da solo una idea del alcance que se le pretende dar al presente trabajo.

Es claro también que los problemas que se pueden presentar en el arranque de alguna planta en específico serán diferentes a los que se encontrarán en cualquier otro arranque. Tratar de presentar una lista que incluya todos los problemas potenciales en arranques y las maneras recomendables de prevenirlos y/o solucionarlos es - prácticamente imposible y no es la intención de este trabajo.

Con el arranque se entra al punto culminante de todo proyecto. Los proyectos pasan por una serie de etapas secuenciales e interrelacionadas entre sí desde su conceptualización hasta su arranque y demostración. Es lógico, por consiguiente, que las acciones y decisiones tomadas en etapas anteriores afectarán considerablemente la etapa del arranque. Es a partir de esta idea de donde nacieron los objetivos que se persiguen con el siguiente trabajo:

- ubicar la etapa del arranque como parte integral y culminante de todo proyecto industrial.
- mostrar un breve panorama de la operación inicial de una planta, así como de algunos de los problemas típicos que se pueden presentar.
- discutir algunas de las principales fuentes de problemas que se -

pueden presentar en las etapas previas al arranque y que de alguna forma impiden el éxito del mismo.

presentar algunas acciones recomendables para minimizar los problemas que se pudieran presentar en el arranque.

Durante el desarrollo del trabajo se entenderá por Planta de Proceso a aquella en la que se llevan a cabo una secuencia de actividades a través de unidades o equipos en los cuales se efectúa alguna Operación Unitaria o alguna reacción química.

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. Generalidades**

### **1.2. Desarrollo de un Proyecto**

### **1.3. Tecnología**

## 1.1. GENERALIDADES

El arranque de una nueva planta representa el punto culminante de un gran esfuerzo. Esfuerzo que lleva consigo varios - años de investigación (en algunos casos), evaluación, diseño y construcción. Si estas etapas han sido desarrolladas adecuadamente - entonces habrá mayores oportunidades de que el arranque sea todo un éxito; si por el contrario alguna (s) de las etapas fue (ron) manejada (s) incompetentemente entonces se producirán retrasos y dificultades en el arranque lo que hará que los costos aumenten considerablemente. Es decir, el desembolso global que involucra el diseño, construcción y arranque de las nuevas instalaciones amentará entre otras causas por el costo de materias primas y servicios desperdiciados sueldos y salarios de personal operativo y supervisor, así como por el alto costo de las modificaciones que - es necesario hacer en algunos casos a las nuevas instalaciones para poderlas poner en funcionamiento. Además es muy probable que se lleguen a presentar problemas contractuales debidos a la incapaacidad para surtir producto terminado a clientes con los que se haya firmado algún convenio y/o contrato, lo que ocasionará empezar a perder el mercado aún antes de haber entrado a él. Todo lo anterior originará que el ROI (retorno de la inversión) del proyecto se vea afectado considerablemente y que lo que en un principio parecia ser una buena inversión, se convierta en un problema para la

situación financiera de la empresa. Es por todo ésto que es muy recomendable poner mucho énfasis en la planeación y ejecución cuidados y a detalle de todos los aspectos relacionados con el arranque.

El arranque de una nueva planta es uno de los retos -- más interesantes que se le pueden presentar al Ingeniero Químico dentro de su actividad profesional. Este reto le servirá para de-- mostrar sus conocimientos técnicos adquiridos a partir de su educación y de su experiencia, poniendo a prueba además su resistencia física pues las jornadas en un arranque son largas y extenuantes, así como su talento organizativo ya que son muchos los grupos --- involucrados en un arranque. El ingeniero al frente del arranque - deberá también tratar de mantener en alto la moral del personal - involucrado pues casi siempre e inevitablemente se deberán enfrentar problemas y fallas altamente frustrantes. Es por esto que el mando y la dirección deben ser encargados a un ingeniero con experiencia en este tipo de actividades; el cual, deberá cubrir no -- sólo el arranque propio de la planta, sino que se deberá involucrar en otras etapas del proyecto como lo son el diseño, construcción, y las actividades previas al arranque. Durante el diseño y construcción, el ingeniero encargado del arranque debe hacer revisiones con el Ingeniero de Proyectos de tal forma que se logre una fusión entre la experiencia en diseño que posee la gente de proyectos y la expe

perencia en operación y arranque característicos del grupo de arranque. De esta forma se puede asegurar que el diseño final permitirá un arranque inicial más favorable y minimizará las modificaciones a las instalaciones que casi siempre son necesarias realizar. Asimismo al hacer este tipo de revisiones se consigue una mejor planeación tanto del proyecto en general como del arranque ya que por ejemplo para un arranque por etapas se debe prevenir que la construcción en las últimas etapas no interfiera con el arranque de la primera. También deberá revisar y asegurarse que los equipos cumplan con las características requeridas por el proceso.

En lo que se refiere a las actividades previas al arranque cabe hacer mención de algunas de sus responsabilidades durante esta etapa: preparación de los instructivos de operación, verificación de instalaciones, pruebas, procuración de materias primas, elaboración de la carta de lubricación de equipos, compra de refacciones, revisión y seguimiento de los gastos de arranque, selección y entrenamiento del personal, obtención de la asesoría externa ó interna requerida para el arranque, etc.

Por último, llega el día del arranque en el cual el Ingeniero a cargo del mismo tendrá el mando y la autoridad total aún cuando cuente con la asistencia del Ingeniero de Proyectos, del licenciador de tecnología (si es que ésta ha sido com-

prada), de representantes de los proveedores de los equipos (cuando son sofisticados y/o críticos para la operación de la planta) y en algunos casos de expertos en diversos campos (sobre todo instrumentistas).

Se podría definir a un arranque exitoso como aquel que cumple con los gastos de arranque presupuestados y que logra demostrar las condiciones de diseño (capacidad, calidad, rendimientos, etc.) dentro del tiempo programado. Sin embargo, lograr lo anterior siempre es y ha sido un reto, sobre todo en la actualidad dadas algunas de las características de las plantas modernas, las cuales se mencionan a continuación (1):

- plantas grandes con equipo también muy grande y elevados costos fijos.
- equipos en línea, lo que ocasiona que una simple falta pueda parar toda la planta.
- mínimo capital, es decir, procesos diseñados para la capacidad requerida sin ningún sobrediseño, lo que resulta en un mínimo de flexibilidad operativa.

(1) G.T. Ryan, "Managing the Project Startup", Chemical Engineering Progress, Vol. 68 No. 12, Dic. 1972, pp.65-66.

- complejidad, los procesos y el control de los mismos se vuelven más complejos cada vez.

- interdependencia, es decir, el abasto de materias primas y algunas veces los servicios dependen de otra planta productiva la cual también tiene casi siempre los problemas de grandes equipos en línea con sistemas de control que pueden fallar en cualquier instante.

En párrafos anteriores se indicaba que en todo arranque se presentan problemas y fallas inevitables, las cuales pueden ser agrupadas básicamente en tres categorías: fallas de equipos, equipo inadecuado y fallas de proceso (2).

— Las fallas de equipos incluyen problemas tales como fugas, flechas o impulsores rotos, corto circuitos, taponamientos de líneas, pérdida de succión en bombas, etc.

— Los casos de equipos inadecuados incluyen torres que se inundan a la capacidad de diseño, motores que se sobrecargan a la capacidad de diseño de la bomba, problemas de corrosión, caída de presión excesiva en cambiadores de calor, etc.

(2) Gans, M., "The A to of Plant Startup", Chemical Engineering, Mzo. 15, 1976, pp. 72-73.

— Las fallas de proceso generalmente incluyen aquellas producto de la mala interpretación de datos de laboratorio y de planta piloto.

## 1.2. DESCRIPCION DE UN PROYECTO.

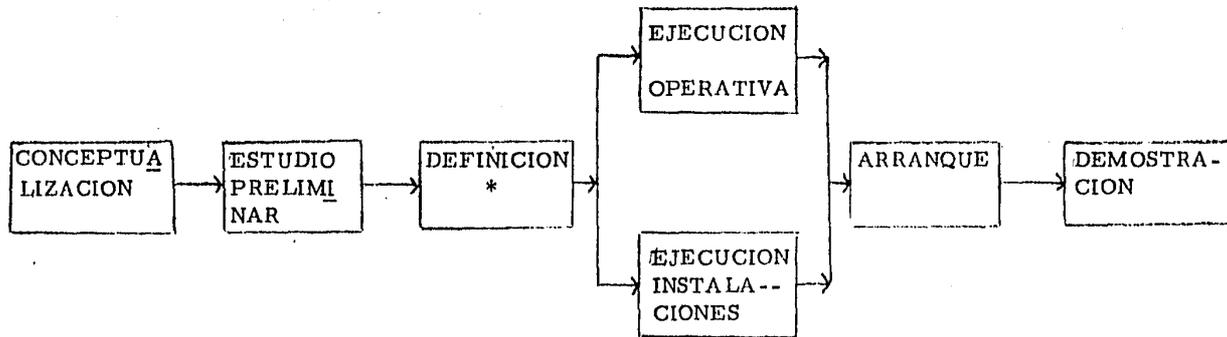
### 1.2.1. Etapas de un proyecto.

Como punto de partida se definen las etapas por las que pasa un proyecto desde su concepción hasta su arranque y demostración con el fin de tener un panorama adecuado de la ubicación que tiene el arranque de una planta como parte de un proyecto: además, lo anterior permitirá observar que las diferentes etapas están relacionadas unas con otras y que dado que en términos generales se trata de una serie de etapas secuenciales, las decisiones y acciones tomadas en etapas anteriores afectarán considerablemente la etapa del arranque puesto que esta es prácticamente la culminación o etapa final del proyecto.

En la figura 1 se muestra un diagrama de las etapas que normalmente se presentan en el desarrollo de un proyecto.

Cada una de las etapas tiene un objetivo perfectamente definido que se describe a continuación:

— Conceptualización: el objetivo final de esta etapa es el establecimiento de las metas que el proyecto debe alcanzar así como mostrar su justificación estratégica y/o operativa. En esta etapa además de las justificaciones mencionadas, se elabora una descripción global del alcance, un estimado de inversión preliminar (tal vez con una



\* En esta etapa se incluye la evaluación económica final del proyecto.

FIGURA No. 1

ETAPAS DE UN PROYECTO

exactitud de  $\pm 40\%$ ), así como un programa preliminar del proyecto.

- Estudio Preliminar: Se pretende definir si el proyecto tiene o no posibilidad de realizarse y en caso afirmativo, sentar las bases para el desarrollo del mismo. Durante esta etapa se estudian datos generales del mercado, las alternativas de capacidad, tecnología y localización; se detectan las necesidades de recursos humanos para el desarrollo del proyecto, y se hace una evaluación económica preliminar.

- Definición: se efectúa la definición completa del proyecto (mercado, producto, capacidad de planta, localización, tecnología, Ingeniería Básica, definición clara y exacta del alcance del proyecto, - - etc.) y se hace la evaluación económica final. Esta etapa termina con la aprobación del proyecto.

- Ejecución de Instalaciones: el objetivo de esta etapa es entregar las instalaciones del proyecto cumpliendo con todas las normas de construcción especificadas y requerimientos gubernamentales aplicables, para que las mismas sean operables de forma segura y satisfactoria. Lo anterior se logra por medio de la ejecución de la Ingeniería de Detalle, la expedición de equipo y material, el trámite de los permisos y licencias relacionadas con la construcción, la ejecución de la obra civil y electromecánica, y finalmente la entrega de las instalaciones al grupo de arranque.

- Ejecución Operativa: el objetivo principal de esta etapa consiste -

en llevar a cabo los preparativos necesarios para el arranque. En esta etapa se llevan a cabo, entre otras, las siguientes actividades: se integran los manuales del proyecto y de operación, expedición de materias primas, verificación de instalaciones, planeación de pruebas, selección y entrenamiento de personal, definición de las premisas de entrega de instalaciones, etc.

- Arranque: el objetivo de esta etapa consiste en demostrar que las instalaciones son operables de una forma segura y satisfactoria y que se cumple con los objetivos fijados en la etapa de ejecución.

- Demostración y Evaluación de Resultados: en esta etapa se deberá demostrar que el proyecto cumplió con todos y cada uno de los objetivos para los cuales fué diseñado. Se elabora un Reporte Final del Proyecto evaluando los resultados obtenidos.

Como ya se había dicho, es fácil ver que todas las etapas influyen en el arranque, pero son las etapas de ejecución de instalaciones y de ejecución operativa las que en mayor medida afectan y determinan el que un arranque se vea culminado con el éxito.

### 1.2.2. Actividades relativas al arranque.

Ahora, una vez revisado el panorama general de todo proyecto, se analizarán las diferentes actividades que se pueden distinguir dentro de un arranque. En la figura 2 se muestran sobre una línea de tiempo dichas actividades.

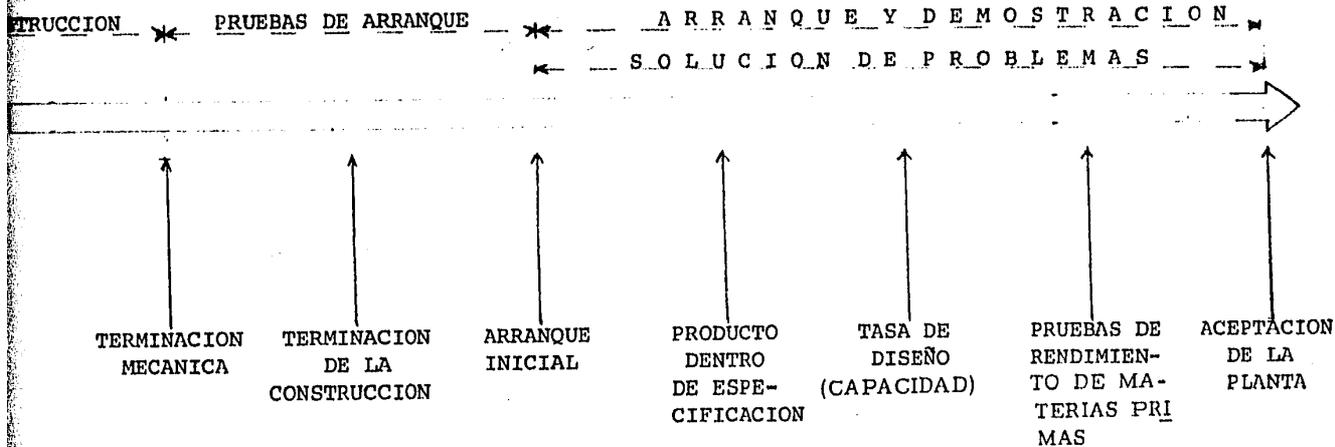


FIGURA No. 2

DIAGRAMA DE ACTIVIDADES RELATIVA AL ARRANQUE.

La terminación mecánica tiene lugar cuando la planta - ha sido erigida de acuerdo con los planos, especificaciones y normas correspondientes y se pueden iniciar las actividades de pruebas de arranque, las cuales incluyen entre otras: pruebas hidrostáticas, pruebas mecánicas y eléctricas, pruebas en los sistemas de instrumentación y control, pruebas de sistemas, operaciones simuladas para permitir pruebas de funcionamiento del equipo que ayudan también a capacitar al personal operativo y a que éste se familiarice con el equipo, etc. La terminación de la construcción - significa que se ha erigido completamente la planta de acuerdo -- con los planos y especificaciones y que se han completado los trabajos finales de limpieza, pintura y aislamiento térmico. Este -- punto por lo general se alcanzará durante la etapa de pruebas de arranque.

El arranque inicial tiene lugar cuando se introduce materia prima a la planta con el propósito expreso de producir un -- producto por primera vez. Durante la fase de demostración se van alcanzando los siguientes objetivos:

- obtención de producto dentro de especificación.
- tasa (ó velocidad de producción) de diseño.
- obtención de los rendimientos de materias primas esperadas.
- demostración de los consumos de servicios establecidos en las - bases de diseño de la planta.

Para poder medir y cuantificar los objetivos anteriores, es necesario que hayan sido establecidas de antemano ciertas premisas como:

- duración de la corrida de demostración (para un proceso continuo puede ser de una o varias semanas de tal manera que el funcionamiento de la planta pueda ser medido en forma adecuada. En procesos por lotes o "batch", suele establecerse un mínimo de cinco lotes en forma consecutiva).

- fuentes de información de las condiciones de proceso (bitácoras de operadores, lecturas directas de instrumentos, etc.).

- metodología de cálculo, i.e. ecuaciones y algoritmos por medio de los cuales la información recabada será utilizada en los balances de materia y energía.

- métodos para la medición, análisis y ajuste de inventarios.

Es recomendable iniciar la corrida de demostración hasta que se hayan alcanzado las siguientes condiciones:

- obtención del control en las condiciones de operación de la planta, i. e. los valores de presión, temperatura, flujos, niveles y composiciones de las corrientes son constantes ó repetitivos.

- se cuenta con una metodología de cálculo tal que los balances diarios de materia y energía concuerdan con los balances semanales.

- obtención de producto dentro de especificaciones en forma repe-

titiva.

Una vez alcanzados los objetivos planteados para la fase de demostración y solucionados todos los problemas que se hubieran presentado, se procede a entregar las instalaciones al personal operativo, el cual será el responsable de la operación futura de la planta. Cabe insistir en la importancia de la medición y registro exactos de toda la información que se obtenga en esta fase pues ésta será el punto de partida para establecer las condiciones bajo las cuales se hace la entrega de las instalaciones.

### 1.3. Tecnología.

Como se mencionó anteriormente, las plantas modernas se caracterizan por su gran tamaño, con equipos e inversiones -- grandes que permiten tener una capacidad productiva alta. Asimismo, se puede hablar de plantas y procesos cada vez más complejos operados a presiones y temperaturas elevadas, en medios corrosivos, con reacciones complejas y recirculaciones, en los cuales el control depende en ocasiones de la regulación de trazas de impurezas cuantificables en ppm, y la calidad del producto depende y se ajusta por medio de la distribución de pesos moleculares.

El control del proceso, como se puede ver, depende fundamentalmente de analizadores automáticos, los cuales lógicamente, son más susceptibles de fallar durante un arranque que es cuando son más útiles e indispensables.

En el diseño de una nueva planta es necesario hacer un balance entre lo que sería la planta ideal y el costo permisible. Es decir, diseñar una planta química es diferente a diseñar una nave espacial, la cual debe operar a la perfección sin ninguna falla. El control de calidad en uno y en otro caso son distintos lo que ocasiona que se presenten problemas cuando los diversos equipos que componen la planta se ven expuestos por primera vez a las condiciones del proceso.

Por otra parte, la computadora se ha convertido en una herramienta de gran utilidad en el diseño de plantas industriales. La simulación matemática por computadora ha hecho posible el diseño de procesos más económicos y eficientes, principalmente por la facilidad que se tiene con esta poderosa herramienta de analizar y estudiar una gran cantidad de opciones a partir de las cuales se puede elegir la más económica y eficiente. Sin embargo, una planta que sea económica y eficiente no necesariamente será fácil de operar y/o de arrancar.

Es decir, las ventajas y avances que han traído el uso de las computadoras en el diseño han dirigido las tendencias hacia

procesos con operaciones en línea, con un número limitado de equipos en "standby" y con una capacidad de sobrediseño prácticamente nula.

Cabe aclarar que los resultados que se obtengan a través del uso de la computadora serán tan buenos como los datos e información que se le hayan alimentado. Es decir, la exactitud en el diseño dependerá de la cantidad y exactitud de la información que se tenga sobre los parámetros del proceso y sobre las sustancias por manejar.

A pesar de lo anterior, la computadora también es usada por el ingeniero de arranque para simular la operación de la planta en condiciones inestables de tal manera que puede anticipar el comportamiento del proceso durante el arranque.

Por último, un punto de suma importancia para el ingeniero de arranque es: ¿La planta por arrancar opera con Tecnología nueva ó con Tecnología conocida? Por Tecnología conocida se entiende que ésta ha sido probada comercialmente utilizando equipo probado. De esta manera, los problemas están bien identificados y el diseño ha sido mejorado para evitar dichos problemas. Lo anterior significa que hay alguien que en algún lugar ha experimentado un arranque de una planta similar ó idéntica. Esta experiencia es muy valiosa y debe tratarse como un recurso vital que debe tratar de conseguirse a como de lugar; puede ser suministrada por: - licenciador de la tecnología (si lo hay).

- alguna firma de ingeniería.
- asesores.
- recursos internos.

Una tecnología nueva implica que no hay experiencia --  
previa con arranques de ese tipo de plantas y que van a surgir --  
muy probablemente mayor cantidad de problemas imprevistos que  
en un proceso ya conocido para los cuales hay que predestinar --  
tiempo y fondos suficientes para su solución. Esto puede hacer --  
que un proceso nuevo inicialmente atractivo desde un punto de vis  
ta económico se convierta en poco atractivo.

## **2. ARRANQUE**

**2.1. Operación Inicial**

**2.2. Problemas Típicos**

**2.3. Retroalimentación**

## 2.1. OPERACION INICIAL

### 2.1.1. Generalidades.

Para poder iniciar las operaciones de una nueva planta básicamente se requieren las siguientes condiciones:

- pruebas preoperativas totalmente terminadas en forma satisfactoria (pruebas hidrostáticas, pruebas eléctricas, pruebas dinámicas, pruebas con solvente, etc.)
- personal operativo y supervisor perfectamente entrenado
- materia prima con la calidad y en cantidad suficiente para el arranque.

En la mayoría de las plantas se pueden distinguir las siguientes secciones:

- servicios
- preparación de materia prima
- reacción
- recuperación
- refinamiento de producto terminado

### 2.1.2. Servicios

En lo que se refiere a la sección de servicios, ésta es la primera en ser activada pues como su nombre lo indica, da servicio a las demás y por tanto es requisito su buen funcionamiento previo al arranque de las otras secciones.

A continuación se mencionan algunos aspectos de interés

en relación con el arranque ó puesta en marcha de algunos de los más importantes servicios que se pueden encontrar en una planta:

- Energía Eléctrica: dado lo fundamental de este servicio, éste es el primero que entra en operación. La preparación para su arranque incluye la revisión de continuidad en los circuitos, tomas de cargas de los motores eléctricos, rodamientos de los motores eléctricos desacoplados verificando rotación y temperatura de operación, secado de motores y comprobación de los sistemas de arranque y paro.

- Agua de Enfriamiento: es necesario realizar la limpieza y prueba de la fosa ó pileta, para lo cual, ésta se llena con agua limpia y fresca; una vez llena, se toman lecturas cada determinado tiempo para comprobar que no haya fugas. A continuación se procede a la revisión de los motores eléctricos de los ventiladores de la Torre de Enfriamiento para verificar que tengan un índice correcto de polarización (rotación correcta). Una vez que se hace la revisión física del empaque de la Torre de Enfriamiento, se arrancan las bombas de recirculación de agua las cuales previamente han sido checadas tanto mecánica como eléctricamente; el agua se hace circular por las tuberías abriendo las válvulas de drenado de manera que arrastre todo el óxido, escoria y materiales extraños hacia el drenaje. Una vez que el agua comienza a salir limpia y libre de óxido, se cierran los drenes y se -

recircula el agua hacia la Torre, operando ésta inicialmente con los ventiladores fuera de servicio para después arrancarlos chequeando las cargas tomadas por sus motores. Cuando la lectura de la carga es mayor que la especificada en la placa del motor, se procede a corregir el ángulo de las aspas del ventilador. Los equipos de intercambio de calor (i.e. condensadores, chaquetas de reactores, etc.) deberán ventearse en los puntos más elevados durante la operación de llenado del sistema con agua para evitar la formación de bolsas de aire.

- Agua de Proceso: Las líneas se deberán limpiar de la misma manera que se describió para el agua de enfriamiento.

- Agua contra incendio: por parte importante de las instalaciones de seguridad de la planta, este sistema se prepara cuidadosamente y debe estar en perfecto funcionamiento antes del inicio del arranque de las otras cuatro secciones mencionadas al inicio del inciso, sobre todo considerando que durante los arranques aumentan las probabilidades de ocurrencia de accidentes. Se debe comprobar el buen funcionamiento del equipo de bombeo, dejando al motor de combustión interna en condiciones óptimas de operación instantánea.

- Vapor: se debe ir alimentando vapor lentamente y en forma gradual al sistema de distribución. Durante esta operación el vapor

condensará dentro de las tuberías pues éstas se encuentran frías - y por tanto se irán calentando gradualmente. Durante el calentamiento de las líneas es recomendable observar cuidadosamente el crecimiento de éstas para checar el correcto funcionamiento de las expansiones y soportes. Cuando se presenten golpes de ariete por el choque del vapor alimentado con el condensado que se encuentra en las líneas, se deberá disminuir el flujo del primero para evitar daños a tuberías. Al momento de estar ejecutando lo anterior, se deberá tener cuidado de bloquear todas las trampas de vapor y purgar el flujo de condensados por los drenes que deberán estar instalados en los puntos más bajos de la línea. Una vez que la tubería se encuentre limpia, se ponen en funcionamiento las trampas y se checa su funcionamiento. También es necesario ventear las incondensables (i.e. aire) del sistema de vapor, lo cual se logra abriendo los venteos en los equipos de intercambio de calor (calentadores, chaquetas, etc.) una vez que éstos se encuentran presionados, y dejando escapar un poco de vapor a través de ellos.

- Aire de Planta: se hace el soplado de cabezales y líneas de distribución con el mismo aire para eliminar toda el agua retenida en la línea (de la prueba hidrostática). El agua es drenada por las partes bajas. Cuando se tiene la certeza de que ya no hay agua en la línea, se deja en operación el sistema.

- Aire de Instrumentos: a diferencia del aire de planta, no debe contener humedad ya que ésta puede ocasionar lecturas incorrectas además de dañar los aparatos. A este sistema se le hace prueba neumática.

Posterior a la puesta en marcha de los servicios y una vez que éstos se encuentran operando en forma satisfactoria, se procede al arranque de las demás secciones. Para esto, es recomendable en muchas plantas comprar producto de tal forma que se pueda arrancar con éste la sección de refinación de producto terminado. Después se arranca la sección de preparación de materia prima y por último las secciones de reacción y recuperación, las cuales por lo general están estrechamente vinculadas.

### 2.1.3. Personal Operativo y de Mantenimiento.

Para el arranque es necesario contar con personal extra tanto operativos como supervisor. Esto se puede conseguir mediante la implantación de turnos de 12 horas o bien, eliminando los días de descanso durante la etapa del arranque. Sin embargo, es conveniente controlar el número de personas presentes o involucradas, pues una cantidad excesiva de gente ocasiona confusiones. Asimismo, es común que el día establecido para el arranque, se encuentre el cuarto de control lleno de personas extrañas e "invitados" que no ayudan en nada sino que por el contrario dificultan el buen desarrollo del arranque. Por tanto, es necesario prevenir y limitar este tipo de situaciones. Cabe

aclarar también que la línea de mando debe estar perfectamente clara y establecida para todos; todas las indicaciones deben provenir del Ingeniero a cargo del arranque, o bien, de la persona por él señalada.

De vital importancia para un arranque exitoso, es el contar con un equipo de mantenimiento que asegure un servicio rápido y eficiente. Los encargados de mantenimiento deberán estar familiarizados y/o entrenados con el proceso y sus limitaciones. De acuerdo con el tamaño de la planta, se deberá contar con especialistas mecánicos en número suficiente para la reparación y/o remplazo de tubería y aislamiento y para la revisión y reparación de bombas, agitadores, compresores, etc.; también es necesario contar con electricistas para la revisión y reparación de motores eléctricos y de los sistemas de arranque-paro de los mismos; asimismo, es fundamental contar con personal instrumentista altamente calificado y de tiempo completo (24 horas al día para el arranque ya que es durante éste cuando se deberán ajustar los instrumentos y sistemas de control pues por primera vez se estará operando a las condiciones de proceso con los fluidos de proceso. Se deberá prevenir la posibilidad de incrementar el personal de mantenimiento durante el arranque dependiendo de los problemas que durante éste se vayan presentando. El personal extra requerido se podrá conseguir con el contratista que ejecutó

la obra electromecánica. De esta manera, dicho personal ya est  
rá familiarizado con las instalaciones. Una vez que se haya al--  
canzado una operación estable de la planta durante un período de  
tiempo razonable se reducirá el número del personal de manteni--  
miento al nivel requerido para la operación normal de la planta.

#### 2.1.4. Operación Inicial.

Durante el arranque, es extremadamente importante que  
la tasa de alimentación de la unidad no aumente demasiado aprisa.  
Esto puede causar trastornos y posibles esfuerzos y "golpes de - -  
ariete" en los equipos; además, en los casos en que exista reac--  
ción catalítica pudiera ser necesario un período de acondiciona---  
miento del catalizador, el cual fijará por tanto la tasa de alimen-  
tación. Normalmente, la tasa de alimentación es aumentada lentam  
ente hasta alrededor del 50% de la tasa de diseño. Durante este  
período se practican cuidadosas observaciones e inspecciones en -  
toda la planta. Se verifica que el equipo mecánico se encuentre -  
funcionando adecuadamente. También se registran las presiones,  
temperaturas, flujos y niveles de los indicadores locales, los cuam  
les son comparados con las lecturas del cuarto de control. Cuanm  
do la planta esté operando sin problemas, cuando todos los instrum  
entos se encuentren en control automático y cuando el ó los prom  
ductos están cumpliendo con las especificaciones, se procede a aum  
mentar la tasa de alimentación paso a paso hasta llegar a la capam

cidad de diseño. Después de cada aumento de tasa, se permite -- que la unidad se asiente y se evalúan las condiciones de operación y la calidad del producto antes de emprender un nuevo incremento. En caso de que se presenten problemas, no deberá dudarse en ordenar un paro de emergencia de la planta evitándose de esa manera correr riesgos tanto con las vidas del personal como con el -- mismo equipo. La información obtenida así como las observaciones realizadas durante el período en que la planta estuvo en operación antes de presentarse el paro de emergencia podrán ser eva--luadas y estudiadas con relativa calma para determinarse que tan bien estuvo operando la planta y cual fué la causa de la dificul---tad.

En lo que a instrumentación y circuitos de control se refiere, se puede elegir entre un arranque en "manual"; ó un arranque en "automático", este último no es práctico por las oscilacio--nes e inestabilidades que se presentan en el arranque y por las interacciones que puedan existir entre los diversos circuitos de control. También se puede utilizar una combinación de ambos. Esta última opción es la más recomendable, se pueden seleccionar para arranque en "automático" aquellos circuitos de control más senci--llos que no son críticos para la operación de la planta, mientras el personal operativo se concentra en el arranque manual de circuitos críticos. La elección del modo de control a emplear durante -

el arranque (reset, derivativa, banda proporcional, etc.) dependerá de los objetivos que se persigan y de la naturaleza específica del circuito de control que se esté considerando. El objetivo - - ideal sería que la variable de proceso alcance rápidamente el punto de control y se mantenga en él sin ninguna oscilación (4). La estabilidad, sin lugar a dudas, es deseable pero no crucial durante el arranque; lo crucial en estas circunstancias es la magnitud de las oscilaciones que se presenten. Por tanto, los controles - - deberán enfocarse a limitar la amplitud de las oscilaciones. Una vez conseguido esto, se podrá ajustar el control para conseguir - la estabilidad requerida.

#### 2.1.5. Planeación y Control.

Una herramienta valiosa y de gran ayuda en la planeación, ejecución y control del arranque, es el uso de diagramas - lógicos, también conocidos como diagramas de flechas (3). En - la figura 3 se muestra el diagrama lógico para el arranque de un compresor de gas. Como se puede observar, todos los pasos necesarios para alcanzar un objetivo dado son ordenados en una se-

- (3) G.T.Ryan, "Managing the Project Startup", Chemical - - - - - Engineering Progress, Vol. 68 No. 12, Dic. 1972, pp. 69-70.  
(4) Anderson, G.D., "Initial controller settings to use at Plant - Startups", Chemical Engineering, Jul. 11 1983, p. 113.

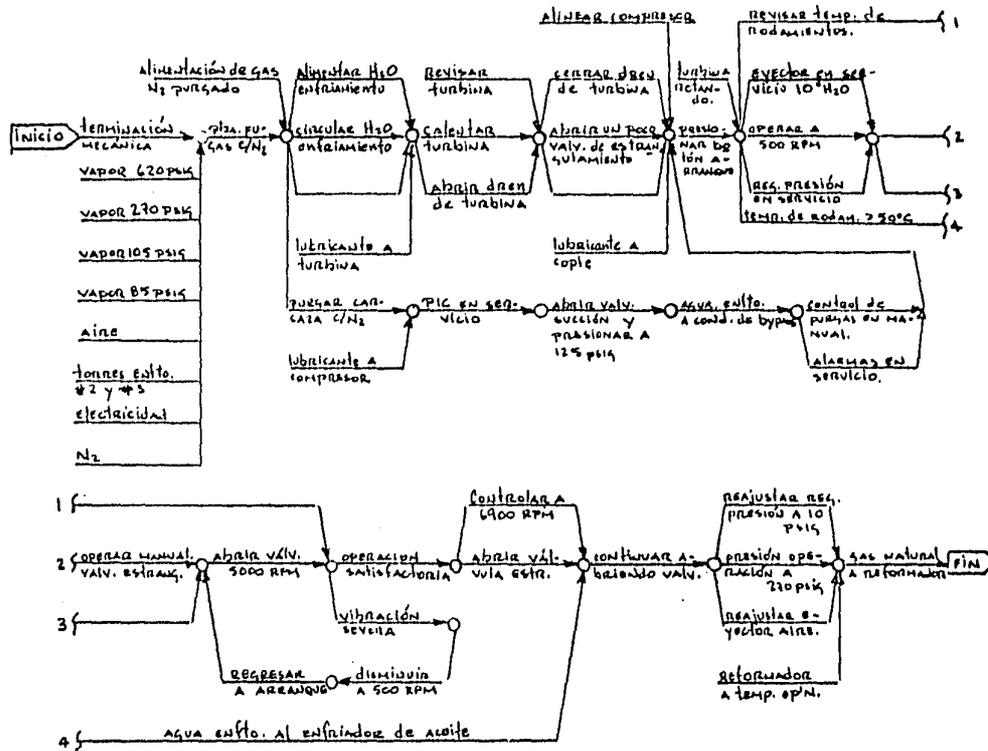


FIGURA No. 3  
 DIAGRAMA LOGICO DEL ARRANQUE DE UN  
 COMPRESOR DE GAS (6)

(6) G.T. Ryan, "Managing the Project Startup", Chemical Engineering Progress, Vol. 68 No. 12, Dic. 1972, p. 70

cuencia lógica. Las actividades subsecuentes a un nodo determinado en el diagrama no pueden o no deben iniciarse hasta que no hayan sido terminadas todas aquellas actividades que confluyen a dicho nodo. Se puede observar también que varios paquetes de actividades ó subsistemas pueden ser desarrolladas por separado y simultáneamente de tal forma que en un momento dado desembocan en un mismo punto que permite la continuación de las actividades del sistema global. La descripción de cada actividad debe ser concisa y muy clara para facilitar la comprensión de la misma por parte del personal operativo. Así como en la figura 3 se muestra el diagrama para el arranque de un solo equipo, se puede construir el diagrama para el arranque de toda la planta en el cual obviamente el arranque del compresor estará indicado como una sola actividad sobre su flecha correspondiente. Este tipo de diagramas es de mucha utilidad no sólo en el arranque en sí sino también en el entrenamiento del personal ya que permite al instructor mostrar la importancia de una actividad específica. El operador por su parte puede captar rápidamente y de una ma-

nera sencilla y práctica el panorama global de todas las actividades a desarrollar para el arranque. Dentro del diagrama se suelen usar líneas punteadas para indicar actividades ya realizadas. Esto permite que con el diagrama se pueda mostrar de una manera muy práctica el estado y avance que guarde el arranque. También pueden mostrarse las fechas de terminación requeridas en cada nodo con lo cual el uso del diagrama permite un mejor control.

Otra herramienta útil y más conocida es el uso de diagramas de barras. En ellos, las actividades se listan y por medio de una barra se muestra su duración y su ubicación en el tiempo. Tienen la desventaja de que no muestran las relaciones que existan entre las diferentes actividades y tampoco presentan la secuencia que se ha de seguir. Son útiles en la presentación del programa global de arranque de la planta y en mostrar el avance que se tiene en el mismo. En la figura 4 se muestra un diagrama de este tipo.

Como se puede fácilmente apreciar, los diagramas lógicos están orientados hacia la parte operativa del arranque, es decir, hacia el desglose y ordenamiento secuencial de todas las actividades de tal forma de facilitar la ejecución de las mismas. Por su parte, los diagramas de barras están orientados hacia la planeación y control del avance del arranque, es decir, hacia el aspecto administrativo del mismo. Los diagramas lógicos serán



de mayor utilidad al personal operativo y a los ingenieros directamente a cargo del arranque, mientras que los diagramas de barras lo serán más a nivel gerencial (Gerente de Proyectos, Gerente de Planta, etc.)

#### 2.1.6. Control de Calidad.

Además del personal operativo y de mantenimiento, también es necesario contar con personal de laboratorio y control de calidad para llevar a cabo los análisis que se requieran durante el arranque, los cuales pueden caer dentro de cualquiera de las siguientes categorías:

- análisis de las corrientes de proceso. De los resultados de éstos surgen las modificaciones de carácter inmediato que se deben hacer en las condiciones de operación de la planta.
- análisis de la calidad del producto terminado.

El control de calidad en una planta nueva es problemático. Por tanto, es recomendable contar con personal técnico altamente calificado y de preferencia con experiencia en el proceso utilizado en las nuevas instalaciones. Los métodos de análisis deberán estar perfectamente desarrollados y comprobados. Previo al arranque, se deberá contar con un programa de análisis en el que se detallen las corrientes que deberán ser muestreadas y la frecuencia con que se deberán tomar dichas muestras. Para poder conseguir lo anterior, es necesario contar durante el arran-

que con un laboratorio adecuado que permita llevar a cabo los análisis en un tiempo razonable. El personal de control de calidad - deberá ser capaz de proponer cambios operativos y/o de proceso en base a los análisis que efectúa de tal manera de mejorar la calidad del producto terminado. A fin de cuentas, la finalidad de la planta es la obtención de producto con una calidad determinada, - la cual no podrá ser garantizada sin las facilidades de laboratorio adecuadas y sin un personal de control de calidad debidamente entrenado.

#### 2.1.7 Seguridad.

El arranque inicial es una de las situaciones más peli-- grosas que se pueden suscitar en una planta. Es recomendable - - efectuar un estudio de peligros potenciales previo al arranque de - las instalaciones en el que se revisen totalmente ls propiedades de todos los productos químicos, catalizadores, reactivos, etc. para ver su toxicidad, inflamabilidad, acción corrosiva, etc. También se deberán revisar las condiciones del arranque para examinar la posible generación temporaria de mezclas tóxicas o explosivas. Es conveniente que se considere la posibilidad de contar para el arranque con equipo y ropas especiales de seguridad. A continuación se enumeran una serie de situaciones que pueden atentar contra la seguridad del personal y de las instalaciones:

- falla en la energía eléctrica.
- pérdida de aire en los instrumentos.

- fugas de materiales.
- incendio.
- derrames.
- disparos de reacción.
- pérdida de abastecimiento de combustible.
- pérdida de agua de alimentación de la caldera.
- reventón de sellos en bombas.
- explosión en el drenaje.
- falla en pilotos.

Con objeto de mejorar las condiciones de seguridad durante el arranque, es necesario generar una actitud en tal sentido a lo largo de toda la vida del proyecto. Dicha actividad debe comenzar desde la filosofía del diseño y continuar con la inspección de la construcción. Se deberán programar auditorías de seguridad durante la etapa de construcción con la participación del grupo de arranque, del grupo de proyectos, del grupo de operaciones y de especialistas en seguridad, los cuales a partir de recorridos por las instalaciones en construcción darán sus recomendaciones sobre problemas potenciales en lo que a las condiciones de seguridad se refiere.

#### 2.1.8. Demostración.

Las operaciones iniciales de la planta se prolongarán algunos días a partir de la primera introducción de materia pri-

TABLA No. 1  
RESUMEN DE PUNTOS IMPORTANTES EN LA  
OPERACION INICIAL DE UNA PLANTA

MANTENIMIENTO

Personal suficiente.  
Taller equipado.  
Refacciones.  
Herramientas especiales.  
Lubricantes y empaques a la mano  
Instrucciones y catálogos de equipos.

SERVICIOS

- Electricidad.  
prueba de continuidad.  
motores e instalaciones libres  
de humedad.  
aceite del transformador.
- Agua de enfriamiento  
limpieza de pileta.  
limpieza de líneas.  
ajustar ventiladores.
- Aire.  
soplado de líneas.  
eliminar humedad.
- Vapor.  
Limpieza de Líneas.  
Calentamiento de tuberías.  
funcionamiento de trampas

LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD

Equipo y material de laboratorio.  
Especificaciones oficiales de producto terminado y materias primas.  
Programa de muestreo.

SEGURIDAD

Equipo de seguridad (goggles, cascos, guantes, mascarillas, canisters, equipo de respiración autónomo, etc.)  
Procedimientos de seguridad.  
Equipo de primeros auxilios.

VARIOS

Bitácoras  
Hojas de control  
Procedimientos de cálculo  
Ordenes de trabajo, formas de requisición, etc.  
Herramientas varias requeridas para la -  
operación (mangueras, linternas, etc.)

ma, o bien, para ser más específicos, hasta que todos los equipos de proceso en todas las secciones de la planta se encuentren trabajando con fluidos de proceso y se esté obteniendo producto terminado. A partir de ese momento, se comenzará con la evaluación de la información recopilada con objeto de iniciar la etapa de demostración en la cual se deberá comprobar que el producto se obtiene con la calidad especificada, o sea, es vendible, también se deberá comprobar la velocidad de producción, los rendimientos de materias primas y los consumos de servicios.

## 2.2 PROBLEMAS TIPICOS

### 2.2.1. Generalidades.

De acuerdo con lo expuesto en el capítulo anterior, los problemas que se presentan en arranques básicamente pueden ser agrupados en tres categorías (2):

- fallas de equipo debidas a descomposturas mecánicas y/o eléctricas. Además de situaciones obvias como fugas, flechas e impulsos rotos y corto circuitos, tenemos los casos de taponamientos de líneas por escoria, rebaba, óxido y/o basuras, de pér

(2) Ganz, M., "The A to Z of Plant Startup", Chemical Engineering, Mzo. 15 1976, pp. 72-73.

dida de succión en bombas por la entrada de aire através del sello de las mismas, etc.

- equipo inadecuado por fallas en el diseño o en la fabricación de los mismos. Ejemplos de estas situaciones lo son torres que se inundan al operarse a los flujos de diseño del vapor y del líquido o corrosión en equipos por metalurgia incorrecta, motores de compresores que se sobrecargan a la capacidad de diseño, y cambiadores de calor con una caída de presión excesiva.

- fallas en el proceso debidas a la malinterpretación de los resultados de laboratorio y/o de planta piloto, o bien, debidas a aspectos del proceso que no fueron ó que no pudieron investigarse adecuadamente en planta piloto.

Se considera que aproximadamente cerca del 75% de los problemas son debidos a la descompostura de equipos, el 20% a equipos inadecuados y tan sólo un 5% a deficiencias en el proceso. Los porcentajes anteriores se consideran aplicables para plantas diseñadas por un equipo de ingenieros competente y con experiencia pues de otra forma los porcentajes correspondientes a equipos inadecuados y a deficiencias en el proceso aumentarían respecto a los valores reportados. Cabe también mencionar que es frecuente, sobre todo cuando se carece de la experiencia suficiente en arranques, la tendencia a justificar como fallas de proceso a la mayor parte de los problemas de arranque. Esto

es debido a la facilidad con que se pueden desarrollar hipótesis y teorías sobre una falla en el proceso que aparentemente justifican el problema que se presenta. Esta postura indudablemente es bastante cómoda. Sin embargo, antes de aventurarse a presentar -- una hipótesis en tal sentido, es recomendable la revisión a fondo de equipos y condiciones de operación hasta encontrar y solucionar la verdadera causa del problema.

A continuación se revisarán y analizarán algunos de los problemas típicos que se pueden llegar a presentar con algunos - equipos y/o operaciones.

#### 2.2.2. Equipo de intercambio de calor.

Un problema característico en equipos de intercambio de calor es el depósito de incrustaciones y basura debido a la presencia de materiales extraños en las corrientes de proceso durante el arranque. Se deben registrar continuamente las temperaturas de entrada y salida de la corriente de proceso y del medio de calentamiento ó enfriamiento. El análisis de las tendencias ó cambios repentinos en los rangos normales de temperaturas es indicativo de la presencia de incrustaciones. La caída de presión através del equipo es otro indicador de taponamientos e incrustaciones; sin embargo, esta situación no es fácil de detectar a menos que el taponamiento sea considerable.

Existen también otros puntos a revisar en aquellas situau

ciones en las que los equipos no alcanzan a dar el flujo de calor de diseño. Cuando se emplea vapor como medio de calentamiento, puede suceder que las trampas no operen adecuadamente lo que ocasionaría que las líneas y el equipo se inunden de condensado y se pierda área para la transferencia de calor. En el caso de calderetas tipo termosifón conectadas por ejemplo a una torre de destilación, puede suceder que se inunden los fondos de la misma hasta una altura tal que cubra la salida de vapores de la caldereta, ocasionando obviamente problemas en la operación de la misma.

Pero no sólo puede suceder que el intercambiador falle en dar el flujo de calor requerido. Este tipo de equipos están diseñados considerando un factor de obstrucción, a condiciones máximas de flujo y bajo las condiciones de operación más severas (por ejemplo, para agua de enfriamiento se considera la temperatura de la misma en verano aún cuando en invierno ésta sea considerablemente más baja). Por tanto, durante el arranque el equipo estará sobrado puesto que se encontrará limpio y los flujos no estarán a su máximo nivel. Esto ocasiona problemas con el sistema de control sobre todo si los gastos al intercambiador son muy reducidos y pudiera ser necesario el arranque en manual.

Otro tipo de problemas que se puede presentar en equipos de transferencia de calor son las fugas a través de los empaques y bridas de los cabezales. Esta situación se presenta sobre

todo en equipos operando a temperaturas elevadas. Cuando se presentan este tipo de fugas, se recomienda apretar las juntas con mucho cuidado una vez que el equipo se encuentre a las condiciones de proceso. También se pueden presentar fugas internas, al fallar o perforarse un tubo, que ocasionan contaminaciones de las corrientes de proceso y alteraciones en las temperaturas de salida. Este último caso puede deberse a defectos en la fabricación, o en la selección del material y espesor de los tubos, tal que el equipo no soportó las condiciones de operación (presión, temperatura y flujos de proceso). Con objeto de minimizar el tiempo de paro para la reparación del tubo perforado, es frecuente soldar un par de tapones en el espejo a ambos extremos de dicho tubo.

### 2.2.3. Bombas.

Las bombas juegan un papel vital en cualquier planta de proceso. De los distintos tipos de bombas, las más versátiles y de mayor aplicación en la industria son las bombas centrífugas. Este tipo de bombas tienen la característica de dar una cabeza máxima a condiciones de flujo nulo. Bajo estas condiciones, la demanda de potencia es mínima. Por tanto, es recomendable y frecuente arrancar las bombas centrífugas con la válvula de descarga parcialmente cerrada, de tal forma que la demanda de potencia sea baja mientras la bomba alcanza su velocidad de operación (RPM'S). Sin embargo, no se debe trabajar la bomba con la

descarga totalmente cerrada ya que el líquido en la carcaza se calentaría excesivamente provocando flasheo del mismo y por consiguiente cavitación en la bomba. Asimismo, en estas circunstancias de flujo reducido, la flecha del impulsor sufre la acción de fuerzas de torsión excesivas que pueden dar lugar a problemas mecánicos serios.

En ocasiones las tuberías pueden estar tan sobrediseñadas que se obtienen gastos muy grandes que ocasionan una sobrecarga del motor. En estos casos se deberá hacer un balance hidráulico del sistema previo al arranque. Normalmente se procede a instalar orificios que restrinjan el flujo. No es del todo confiable el restringir el flujo con ayuda de una válvula pues el control de esta situación se volvería manual haciéndola muy dependiente del operador. La condición de flujo excesivo se puede presentar también cuando una bomba que bajo condiciones normales de operación descargará a un recipiente a presión se prueba descargando hacia un recipiente a menor presión.

Un gasto muy grande origina no solo una sobrecarga en el motor de la bomba, sino que puede ser la causa de cavitación en la misma ocasionando serios daños al impulsor, carcaza, empaque y/o rodamientos. Un ruido excesivo es característica típica en problemas de cavitación. La solución de este tipo de situaciones se puede lograr incrementando la presión a la succión de la

bomba ó el diámetro de la tubería de succión, o bien, por medio - de una disminución del gasto mediante la instalación de orificios como ya se indicó, ó en el último de los casos estrangulando ó castigando la descarga de la bomba.

Previo al arranque de una bomba, esta debe ser purgada totalmente ya que el trabajar una bomba en vacío daña las partes en movimiento por el calentamiento que se produce como consecuencia de la fricción.

Puede suceder que al arrancar la bomba no se establezca una presión a la descarga. Esto es indicativo de la presencia de una bolsa de aire. Por tanto, será necesario volver a purgar hasta estar seguros de que la bolsa de aire ha sido eliminada por completo. La succión de la bomba también puede ocasionar este tipo de problemas al estar tapada la misma tubería ó algún filtro ó rejilla que se le haya instalado a la succión. Un empaque de la bomba en mal estado puede originar la entrada de aire al interior de la bomba originando el mismo problema.

Es importante checar que el impulsor rote en el sentido correcto. Si el motor eléctrico se conecta de tal forma que su rotación sea inversa se producirán daños en las cuerdas de la flecha y del impulsor, o bien, éste saldrá disparado fuera de su flecha.

Cuando se tengan problemas para alcanzar las condi--

ciones de operación es conveniente consultar las curvas de la bomba proporcionadas por el fabricante y compararlas contra la curva del sistema. Se debe tener cuidado al emplear una bomba para un líquido diferente al considerado en el diseño pues se pueden generar presiones de descarga diferentes a las esperadas, lo cual puede dañar la instrumentación (indicadores de presión) y sobrecargar el motor. Esto es importante de ser considerado sobre todo al momento de llevar a cabo las pruebas previas al arranque, las cuales suelen hacerse con agua o algún otro fluido que no es el de proceso.

Otros problemas que se presentan al arrancar equipo para el transporte ó movimiento de fluidos (bombas de todo tipo, compresores, ventiladores, agitadores, etc.) lo son las fugas de fluido y la lubricación de las partes mecánicas.

#### 2.2.4. Sellos mecánicos.

Los sellos mecánicos son utilizados con frecuencia en este tipo de equipos para prevenir fugas de fluido a través de la flecha, sobre todo en casos que implican velocidades de rotación, temperaturas y presiones elevadas. Una operación satisfactoria de un sello mecánico depende en el contacto perfecto que debe existir entre las caras estacionaria y rotatoria del mismo. También debe existir una lubricación y enfriamiento adecuados en el sello.

Las deficiencias en la lubricación de los sellos mecáni-

cos durante el arranque son comunes y pueden tener muy diversas causas. Puede suceder que el lubricante no fluya libremente hacia el sello por un taponamiento en la tubería de circulación del mismo o por una mala alineación entre dicha tubería y la entrada de lubricante al sello. La altura del recipiente que contiene el lubricante pudiera ser insuficiente, el diámetro de la tubería puede ser tan pequeño que no facilite la recirculación térmica desde el sello hacia el recipiente del lubricante, etc. Un sobrecalentamiento en el sello es indicativo de una lubricación deficiente. En caso de persistir el sobrecalentamiento aún después de solucionados los problemas de circulación, se puede instalar en el sello una camisa de enfriamiento a fin de mantener baja la temperatura.

El polvo y en general cualquier material sólido extraño también ocasionan graves problemas en sellos mecánicos. Se debe tener mucho cuidado durante su instalación y durante la realización de trabajos y maniobras propias de la construcción en lugares cercanos a él a fin de evitar la introducción de este tipo de materiales en el interior del sello. La tubería de circulación de lubricante también debe estar totalmente libre de materiales extraños. En algunos casos se llegan a emplear filtros ó rejillas para eliminar los elementos extraños; sin embargo, una cantidad muy grande de tales materiales pudiera llegar a tapan el filtro impidiendo que el lubricante llegue al sello, ocasionando que éste se

dañe.

### 2.2.5. Prensaestopas.

Otro tipo de dispositivos empleados también en los puntos en que una flecha móvil entra dentro de un equipo de proceso son los prensaestopas, los cuales son empacados con materiales de distintas composiciones y formas para evitar la salida de los flujos. Se requiere el uso de grasa o aceite no solo para la lubricación sino también para ayudar a un mejor sellado del equipo. Frecuentemente cuentan con una camisa de enfriamiento para disipar el calor producido por la fricción. En algunos casos especiales, se permite una fuga ligera del líquido de proceso (si éste no es ni tóxico, ni peligroso, ni explosivo) a través del empaque, la cual hace las veces de lubricante y enfriamiento.

Durante el arranque, los prensaestopas deben ser apretados cuidadosamente para eliminar las fugas mientras la bomba, el agitador o el equipo del que se trate se encuentra operando. Sin embargo, hay que tener cuidado pues el apretar en exceso puede ocasionar el desgaste de la flecha. Si la fuga continúa a pesar de haber apretado el prensaestopas es recomendable revisar lo siguiente: movimientos laterales excesivos de la flecha debidos probablemente a un apoyo deficiente en los rodamientos, tamaño y/o tipo inadecuado de empaque para el servicio requerido, selección incorrecta del lubricante empleado, basura o polvo en el lubrican-

te, enfriamiento deficiente (temperatura elevada).

#### 2.2.6. Rodamientos.

Los rodamientos (baleros, chumaceras, etc.) también pueden ser causantes de problemas durante el arranque. Deben ser revisados, limpiados y lubricados previo al arranque. Los problemas de limpieza son similares a los ya expuestos para sellos mecánicos y prensaestopas, y pueden ser la causa de un desgaste en las partes mecánicas de los equipos. En cuanto a la lubricación, se debe tener especial cuidado ya que una cantidad excesiva de lubricante puede obstruccionar el deslizamiento adecuado del rodamiento ocasionando un sobrecalentamiento en el mismo. Los problemas de enfriamiento son también similares a los expuestos para sellos mecánicos y prensaestopas.

#### 2.2.7. Agitadores.

En lo que se refiere a agitadores y equipo para el mezclado de líquidos, los problemas comunes incluyen sellos deficientes, vibración ó movimiento lateral excesivo, baja capacidad de agitación, etc. Lo relativo a problemas con los sellos de la flecha ya fué discutido con anterioridad. Un diseño deficiente puede originar un "juego" muy grande en la flecha al estar rotando, y con el paso del tiempo se presentarán problemas en el sello mecánico. La adaptación de un triple o de un anillo estabilizador pueden ser la solución a este problema. En otros casos --

será necesario cambiar la flecha por una más robusta y de mayor rigidez. Al detectarse la pérdida de bombeo es conveniente revisar que los impulsores no hayan sufrido algún daño y que se encuentren instalados correctamente sobre la flecha. Si los impulsores no han sufrido ningún daño y se requiere incrementar la capacidad de bombeo del agitador, se puede recurrir al cambio de impulsores por otros más grandes y/o a la utilización de velocidades de agitación más altas; ambas alternativas implican un aumento en la potencia requerida por lo que habrá que compararse ésta contra la potencia del motor instalado. Puede suceder también que la baja capacidad de bombeo sea debida a un bajo nivel del líquido en el equipo, de tal forma que el impulsor no se encuentra sumergido lo suficiente dentro del líquido. Este problema puede solucionarse ya sea mediante el aumento en el nivel de operación del líquido dentro del equipo o bien mediante el ajuste en la localización de los impulsores. Esta última alternativa deberá manejarse cuidadosamente pues puede acarrear problemas de inestabilidad en la flecha como los ya mencionados.

#### 2.2.8. Compresores.

Los problemas y recomendaciones mencionados acerca de lubricación y rodamientos aplican indudablemente durante el arranque de compresores. Para el caso de compresores reciprocantes se deberá revisar continuamente la temperatura del cilin-

dro. Un aumento exagerado en ésta es indicativo de problemas como arrastre ó presencia de líquidos (remanentes de la prueba hidrostática), arrastre de polvos, sólidos, etc. provenientes del cabezal de alimentación. La acción abrasiva del polvo originará en poco tiempo desgaste en los anillos del pistón. Para eliminar este problema, se deben instalar mamparas y filtros a la succión del compresor durante el arranque. El arrastre de líquidos es más probable en compresores utilizados para ciclos de refrigeración. El líquido arrastrado puede llegar a contaminar el lubricante provocando una lubricación deficiente.

Para compresores centrífugos, la adecuada lubricación y limpieza son también fundamentales en el arranque. Cuando estos equipos se encuentran accionados por una turbina de vapor, se debe tener cuidado en calentarla adecuadamente antes de iniciar la carga del compresor. En ocasiones se llegan a presentar problemas de vibración que pueden ser debidos a la presencia de materiales extraños en el interior de la carcasa del compresor, a un mal anclaje del mismo, ó a una deficiente alineación del cople. El cople también puede dar problemas pues el caballaje y las revoluciones de estos equipos son por lo general muy grandes.

#### 2.2.9. Tanques y Recipientes.

Cuando un tanque no diseñado para vacío ó presión es sometido a dichas condiciones, se presentan colapsos o fracturas

en el equipo que muy probablemente lo puedan dejar inservible. Es típica la anécdota de un tanque de almacenamiento que previo al arranque fué llenado de agua para probarlo hidrostáticamente. Al mismo tiempo de la prueba se estaban realizando las labores de pintura de dicho tanque, para las cuales fué necesario tapar y cerrar todos los venteos del mismo. El equipo encargado de llevar a cabo la prueba hidrostática, desconociendo la situación anterior, procedió a vaciar el contenido del tanque una vez terminada la prueba. Lo anterior fué suficiente para crear un vacío tal dentro del tanque, que este se colapsó quedando totalmente inservible.

#### 2.2.10. Equipo Eléctrico.

El equipo eléctrico también suele crear problemas, principalmente por la humedad y el polvo que le puede penetrar durante la fase de construcción, ocasionando situaciones de falsos contactos, corto-circuitos y sobrecalentamientos.

#### 2.2.11. Bolsas de agua.

Otra frecuente causa de problemas en el arranque lo es la formación de bolsas de agua que quedan estancadas dentro de los equipos y líneas. Puede suceder que esta agua llegue a una zona de alta temperatura donde se vaporizaría con fuerza explosiva. La súbita generación de vapor puede dañar las partes internas del equipo y abrir las válvulas de seguridad. Esta agua por lo general proviene de la prueba hidrostática. Para evitar este problema, se

recomienda drenar el agua en los puntos bajos antes de la introducción de los flujos de proceso, y calentar el equipo lentamente hasta acercarse al punto de ebullición del agua a la presión mantenida en el sistema. Se deberá mantener dicha temperatura durante un período de tiempo determinado (un para de horas) a fin de eliminar la totalidad del agua.

#### 2.2.12. Líneas Auxiliares para arranque.

El empleo de líneas auxiliares es típico durante el arranque y son utilizadas principalmente para:

- servir como "by-pass" a una fuga que no puede ser corregida inmediatamente pero que necesariamente debe ser interrumpida.
- servir como "by-pass" a una línea taponada.
- proporcionar un flujo adicional en caso de que la línea instalada no de la capacidad requerida.
- servir como "by-pass" de un equipo que será sacado de servicio para reparación, modificación ó cambio.
- operaciones de limpieza y purga previas al arranque.

Como se pueda observar, estas líneas pretenden ya sea mantener la planta en operación o bien, alcanzar ciertas condiciones que no son posibles de obtener debido a deficiencias en el diseño de las instalaciones. Normalmente se utilizan mangueras, "tubing" de cobre flexible, o bien tubería normal injertadas en los drenes, tes, ventosas, purgas, conexiones de manómetros, etc.

### 2.2.13. Fugas.

Algo se ha hablado ya sobre fugas, las cuales son características en un arranque. Básicamente se pueden presentar dos tipos de fugas: aquellas entre el proceso y el medio ambiente, y las que ocurren dentro del proceso mismo. Las primeras de ellas, que llamaremos externas, son relativamente fáciles de detectar, corregir ó "by-passear". Las fugas internas (que incluyen el caso de introducción de aire dentro del proceso) por lo general son sólo detectadas a través de los efectos secundarios que originan en el proceso.

Algunas medidas que se pueden tomar para eliminar ó el menos controlar la fuga aparte de las líneas temporales ya mencionadas, incluyen la disminución temporal de la presión o del flujo con objeto de apretar la brida, codo, tuerca, etc. que presente la fuga, también se puede parchar la fuga temporalmente utilizando un empaque apropiado y aplicándole presión a éste por medio de unas tenazas que lo mantengan en la posición correcta. En algunos casos, se podrá emplear algún tipo de formulación a base de cementos y resinas que permitan rellenar y tapar la fuga. También puede usarse algún tipo de soldadura en frío.

Como ya se mencionó, las fugas internas son más difíciles de detectar y de corregir. Una forma de determinar la existencia de este tipo de problemas es analizando las corrientes de -

proceso y de servicios en busca del posible contaminante. La -- contaminación por color ó la presencia de dos fases cuando sólo - debiera existir una son también indicativas de una fuga interna. Las fugas a través de válvulas son la causa más común de este - tipo de problemas. En estos casos, la fuga puede detectarse por un cambio en la temperatura de la tubería instalada después de - la válvula. Cuando la fuga es muy pequeña, se requiere el blo- queo de una sección de tubería de tal forma que se puede apre--- ciar el aumento de presión que la fuga ocasionaría, o bien, abriendo un venteo en la sección de tubería bloqueada.

El problema de fugas a través de válvulas es origina- do en muchas ocasiones por una mala selección del tipo y mode- lo de la misma. Cuando la experiencia y conocimientos que se tienen sobre el proceso por arrancar son pocos ó nulos se corre más riesgo de hacer una mala selección de válvulas. Este es - un punto a considerar antes del arranque. También es necesaa- rio considerar la máxima temperatura permisible en la válvula, sobre todo en aquellas con empaques y asientos de Teflon ó de algún otro material plástico.

#### 2.2.14. Taponamientos.

Los taponamientos de líneas ocurren frecuentemente - en arranques. Existen varias formas de eliminarlos. La más - simple consiste en golpear la tubería con mucho cuidado provo--

cando vibraciones en la misma que puedan liberar el "tapón". También puede optarse por presionar la línea utilizando por ejemplo - una bomba neumática o nitrógeno. Se debe tener cuidado en no - dañar el equipo y en evitar un mayor taponamiento al presionar. Otra técnica consiste en incrementos y disminuciones rápidas de - la presión.

Una causa común de taponamientos son las tuberías tra-  
zadas que manejan sustancias de alto punto de fusión. Es posi-  
ble que las trazas sean inadecuadas ó insuficientes, lo que oca-  
sionará solidificación al descender la temperatura (por las noches,  
o bien durante el invierno) sobre todo en puntos tales como válvu-  
las, bridas, soportes, etc. En estos casos es necesaria la apli-  
cación de calor desde el exterior de la tubería ya sea con vapor,  
agua caliente ó flama directa para fundir nuevamente el material.

También son frecuentes los taponamientos en procesos  
que manejan sólidos, lodos y/o "slurries". La eliminación quími-  
ca del "tapón" puede ser usada en estos casos; sin embargo, no  
es muy efectiva cuando existen varias alternativas de flujo para -  
el agente químico. Tal es el caso de los tubos en cambiadores -  
de calor.

#### 2.2.15. Instrumentación.

La instrumentación también contribuye con problemas -  
durante el arranque. Un funcionamiento deficiente de los instru--

mentos y controles ocasiona problemas en el proceso. Algunas -  
gentes tienen la tendencia inmediata a culpar a la instrumentación  
de muchos de los problemas que se les presentan durante el arran-  
que. Sin embargo, antes de tomar una conclusión acerca de la fa  
lla de un instrumento se debe analizar la situación. La revisión  
de tendencias en las presiones, flujos y temperaturas del proceso  
ayuda a identificar una verdadera desviación en el mismo. La --  
comparación de las lecturas del cuarto de control con las de los  
instrumentos locales será indicativo de un funcionamiento adecua-  
do. Cuando se presenten dudas acerca del funcionamiento de al--  
gún instrumento, se deberá calibrar (ó recalibrar) éste contra al-  
gún estándar si es posible.

En ocasiones, los controladores y registradores en el  
cuarto de control no marcan una lectura, o mejor dicho, ésta es -  
de cero. Esta situación puede deberse a fallas en el suministro  
de aire al instrumento por líneas tapadas, rotas, ó conexiones flo-  
jas. Las válvulas de control también suelen fallar durante el -  
arranque por las mismas causas. El polvo y materiales extraños  
ocasionan taponamientos y en general un funcionamiento deficiente  
de este tipo de válvulas. Cuando una válvula de control es dema-  
siado pequeña y no puede manejar el flujo requerido, se puede re  
currir a abrir parcialmente el "by-pass" y dejar que la válvula -  
controle sólo parte del flujo. Durante el período de pruebas hi--

drostáticas de las líneas es común que se tengan que apretar demasiado los empaques de las válvulas para evitar fugas a través de ellas. Sin embargo, esto ocasionará no sólo que la válvula de control no opere adecuadamente, sino que a la larga se dañará el vástago de la misma.

Cuando un manómetro no indique ninguna lectura, no se ría de extrañar que la línea no se encuentre cargada debido a una mala alineación de válvulas, o que la bomba no se encuentre en operación. Los controladores e indicadores de nivel también pueden originar problemas. Una presión excesiva durante la prueba hidrostática de algún recipiente a presión puede originar la rotura del flotador o la descompostura del mecanismo de medición. Antes de realizar la prueba en tanques con indicadores de nivel instalados, se deberá revisar la máxima presión de operación que el instrumento puede soportar. Los materiales extraños como escoria, rebabas de soldadura, arena, etc. que llegan a quedar -- cuando la limpieza de las líneas no es del todo efectiva, ocasionan lecturas erróneas en rotámetros ya que se adhieren al flotador o bien obstruyen el libre desplazamiento del mismo. En estos casos es necesario desmontar y desarmar el rotámetro para hacerle una limpieza interior. Asimismo, cuando se manejan materiales de alto punto de fusión y el rotámetro carece de un medio de calentamiento adecuado (chqueta ó al menos una traza), se-

rá muy probable la solidificación del material en el interior del -- instrumento. Esta misma situación se puede presentar en los tubos de nivel que frecuentemente se encuentran instalados en tanques de almacenamiento, tanques medidores, tanques dosificadores, y - tanques de reactivos sobre todo si el material se mantiene en reposo por un período prolongado de tiempo en el interior de dichos equipos.

En el caso de los analizadores, éstos pueden dar lecturas erróneas ó cuestionables cuando las corrientes muestreadas se encuentran contaminadas, o las líneas de muestreo están taponadas. Los registradores de temperatura también pueden dar lecturas incorrectas por una mala conexión en la terminal del termocople.

#### 2.2.16. Problemas en la calidad.

Algunos de los problemas anteriores no solo ocasionan - problemas de tipo operativo, sino que originan también problemas en la calidad del producto final o de productos intermedios. La - principal dificultad para especificar la causa de un problema de - calidad consistente en determinar el equipo o área de proceso dono de se origina el problema. Se debe establecer un programa completo de análisis, incluyendo análisis especiales de corrientes que no son muestreadas normalmente. En el momento en que se determinen desviaciones en alguna de las corrientes será posible estable--

cer el equipo ó sección que está originando el problema. Este tipo de situaciones son más factibles de presentarse en el arranque de plantas que utilizan un proceso nuevo no probado a nivel industrial con anterioridad.

En ocasiones, la presencia de trazas de impurezas en las materias primas del proceso pueden ser las causantes del problema de calidad. También puede suceder que estas pequeñas trazas de impurezas ó contaminantes se originen dentro del mismo proceso como consecuencia de reacciones colaterales indeseables (y no esperadas) que afectan la calidad del producto. La detección de estas pequeñas trazas no es una labor sencilla y debe ser desarrollada por el laboratorio de control de calidad.

#### 2.2.17. Diagnóstico de Problemas.

Algunos expertos en arranques (5) recomiendan la siguiente secuencia de pasos para el diagnóstico y solución de problemas:

1. Comparar la información que se tenga sobre las condiciones de proceso con los datos que se hayan obtenido de las corridas de prueba y simulación con solventes ó agua.

(5) Fitzgerald, Kiorpes & Gans, "Plant Startup-step by step", - Chemical Engineering, Oct. 3 1983, p. 97.

2. Cambiar ligeramente las condiciones de operación y tomar mayor información.
3. Obtener la información completa de temperaturas, presiones, flujos y condiciones de los servicios en el área ó equipo originando el problema.
4. Revisar los diseños y cálculos.
5. Inspeccionar las partes mecánicas del equipo.
6. Efectuar periódicamente balances de materia. Para que éstos sean representativos, tal vez será necesario tomar y analizar - - muestras especiales.
7. Efectuar pequeñas modificaciones al equipo y tomar más datos.
8. Incrementar el registro de datos y condiciones.
9. Automatizar un poco más el proceso para liberar a los operadores de tareas rutinarias y que éstos puedan dedicarse más a la solución de los problemas.

A lo largo de este inciso, se han tratado básicamente - problemas específicos principalmente de tipo mecánico con algunos de los equipos y componentes más comunes de una planta de proceso por ser éstos, de acuerdo con lo establecido desde un principio, los de mayor probabilidad de ocurrencia durante un arranque. Los problemas de proceso son muy variados, y prácticamente cada - - arranque podría presentar un problema distinto en este sentido; - además, como ya se mencionó, su probabilidad de ocurrencia es

la mínima.

### 2.3. RETROALIMENTACION

Durante la etapa de arranque, es importante que se elaboren reportes con cierta frecuencia indicando el avance y estado que guardan las diversas actividades. Estos reportes son de mucho interés sobre todo a nivel gerencial pues son estas gentes -- precisamente las que apoyaron la decisión de construir la planta -- y por tanto, a fin de cuentas son ellos los responsables globales del éxito del proyecto. El éxito de un proyecto depende en mucho de los resultados que se obtengan del arranque. Puede ocurrir -- que al mismo tiempo del arranque se estén contemplando otras -- nuevas plantas con tecnología y procesos idénticos, ó al menos si milares. Estos nuevos proyectos pueden encontrarse en cualquiera de las etapas que se mencionaron en el capítulo anterior, y en algunos casos estarán ya en la etapa de ingeniería e incluso en la de ejecución de instalaciones. En estas circunstancias la retroalimentación sobre condiciones de operación reales de la planta y sobre el funcionamiento en general de las instalaciones incluyendo los problemas presentados, sobre todo cuando el proceso sea nuevo ó incluya modificaciones de importancia a una tecnología ya pro bada, será de vital importancia para poder incorporar en estas -- nuevas plantas los cambios necesarios tan pronto como sea posi-- ble. Los reportes deberán estar claramente escritos y presenta-

dos, y se circularán, entre otras gentes, a los grupos que de alguna forma intervinieron en el proyecto, desde el laboratorio de in--vestigación y desarrollo hasta el grupo encargado de la construcción de las instalaciones. Lo anterior permitirá no sólo que la gente - se entere de los frutos de su pequeño ó mucho aporte al proyecto, sino que será un medio para obtener recomendaciones para la solución de los problemas presentados. Estas recomendaciones pueden ser muy útiles pues están hechas por el personal que ha estado involucrado en el proyecto y que conoce a fondo aspectos como: las bases, premisas, y suposiciones tomadas para el diseño, propiedades químicas y fisicoquímicas de los materiales manejados, técnicas y métodos de análisis de los mismos, cambios y modificaciones realizadas al diseño durante la ejecución de instalaciones, etc.

Una vez arrancado y demostrado el proyecto, se deberá elaborar a la brevedad un Reporte Final del Arranque. Es importante que dicho reporte sea elaborado cuanto antes pués de esta forma todos los detalles se encontrarán frescos en la memoria de los participantes. Al transcurso de un par de semanas, se podrá caer en imprecisiones y olvido de detalles y acciones importantes.

Básicamente, el Reporte Final de Arranque deberá tocar los siguientes puntos:

- objetivos del proyecto en cuanto a calidad, capacidad, rendimientos, consumo de servicios, etc. con objeto de servir como punto

de comparación a los resultados reales obtenidos.

- desglose, descripción y resultados de las actividades previas al arranque, tales como limpieza y lubricación de equipo, entrenamiento de operadores, pruebas hidrostáticas y electromecánicas, corridas de simulación del proceso.

- descripción de las actividades del arranque, incluyendo problemas presentados con sus respectivas soluciones, condiciones de proceso obtenidas y su comparación con las condiciones esperadas, resultados de capacidad, calidad y consumos de servicios, etc.

- recomendaciones y sugerencias tanto para la operación futura de las instalaciones arrancadas como para el diseño y construcción de plantas similares. También se deberán mencionar aquellos equipos, controles, y en general cualquier aspecto que haya dado un resultado mejor del esperado con objeto de tenerlos en mente para futuros diseños.

### 3. FUENTES DE PROBLEMAS

3.1 Desarrollo de la Ingeniería

3.2 Adquisición, fabricación y  
manejo de equipo y materia-  
les

3.3 Negociaciones contractuales

3.4 Mano de obra de construcción

3.5 Estimación de costo

3.6 Desempeño del Equipo de --  
arranque

En el primer capítulo se desglosaron las actividades que se pueden distinguir en un proyecto industrial y se resaltó la influencia que tienen sobre el arranque todas las demás etapas anteriores. Es a lo largo de todas estas etapas donde podemos encontrar las principales fuentes de problemas de arranques. Indudablemente existen una gran cantidad de fuentes de problemas pues cada actividad y cada decisión tomada durante la vida del proyecto tienen repercusión en el desarrollo del arranque.

Desde la conceptualización del proyecto en la que se establecen de manera global las necesidades que se han de satisfacer, pasando por las investigaciones a nivel laboratorio y planta piloto que deben arrojar los conocimientos suficientes que permiten la escalación del proceso hasta nivel industrial, hasta llegar al arranque mismo de la planta, son muchas y muy diversas las acciones y decisiones que se llevan a cabo. A lo largo del presente capítulo, se tratarán algunas de las principales fuentes de problemas que se encuentran durante el desarrollo de un proyecto y que de alguna manera pueden llegar a tener mayor influencia en la ejecución del arranque.

### 3.1 DESARROLLO DE LA INGENIERIA.

El desarrollo y elaboración de la ingeniería (tanto Ingeniería Básica como de Detalle), debe estar a cargo o al menos revisada y supervisada por personal con experiencia. Existen una gran cantidad de detalles y aspectos prác-

ticos y operativos que es necesario tomar en cuenta al momento de diseñar, calcular y seleccionar un equipo o sistema. - El ingeniero sin experiencia desconoce ese tipo de detalles y por consiguiente puede ser el causante de problemas que no serán detectados en algunos casos sino hasta que el equipo - en cuestión entre en operación. Al momento de planear la -- ejecución de la ingeniería se debe analizar el costo de un - error y la complejidad del diseño de un equipo o un sistema determinado de tal forma de asignar a la gente de mayor capa- cidad y experiencia a aquellas áreas que involucren mayores dificultades. Sin embargo, hay que tener cuidado con la --- asignación de trabajo al personal, pues por tratar de tener un diseño "a prueba de errores" se puede llegar al extremo - de sobrecargar de trabajo al personal de experiencia. Lo an- terior, naturalmente, también origina errores en el diseño.

Un aspecto muy importante durante las fases de di- seño es la continuidad que se debe buscar en el personal a - cargo de un proyecto específico. Debe tratarse, si es posi- ble, que el grupo asignado originalmente al diseño se manten- ga hasta que éste haya sido concluido en su totalidad. Los cambios en el personal a cargo del diseño originan no sólo - problemas durante la etapa de ingeniería sino muy probable-- mente errores que se detectarán en las etapas subsecuentes. Cada nueva persona que entre dentro del grupo de diseño trae- rá otras ideas y tal vez no logre captar la filosofía de di- seño definida por la gente originalmente asignada; además, -

su incorporación al grupo deberá ser inmediata por lo que le será difícil captar el avance que se tenga en el diseño. -- Una regla general, no sólo para la etapa de diseño, es que - mientras mayor rotación de gente haya a lo largo de la vida del proyecto, mayor será la cantidad de problemas que será - necesario resolver. Cada nueva persona trae sus propias --- ideas sobre cómo deberá funcionar un equipo ó sistema dado, sobre cómo se debe instalar el mismo equipo para facilitar - su operación, etc. Cuando la rotación ha sido alta, el re- sultado final conducirá a unas instalaciones con muchas modi ficaciones comparadas con el diseño visualizado originalmen- te por los ingenieros que iniciaron el proyecto. Durante -- las etapas posteriores al diseño, es recomendable que este - grupo siga participando activamente proponiendo cambios y so luciones a los problemas que se vayan presentando. Debe bus carse también la transmisión de la filosofía de diseño a los grupos encargados de la construcción y del arranque. Cada - válvula y cada línea tienen una misión específica que cum--- plir de acuerdo con el diseño hecho por el Departamento de - Ingeniería, y ésta debe ser captada por los grupos de cons-- trucción y de arranque. Ya se mencionó también en capítulos anteriores que es recomendable la participación de represen- tantes de estos últimos grupos durante la etapa de diseño; - de esta manera se obtiene una fusión entre los diversos cono cimientos, experiencias y habilidades característicos de ca- da uno de los grupos involucrados, lo cual permitirá llevar

a cabo una construcción de instalaciones y un arranque con mayores probabilidades de éxito. Asimismo, es recomendable y necesaria la participación del Departamento de Investigación y Desarrollo en la Revisión del diseño, pues a final de cuentas es éste el que llevó a cabo el desarrollo del proceso y el que más conoce acerca de sus limitaciones y alcances. Esto último es todavía más importante cuando se trata de una nueva tecnología que no ha sido aún probada comercialmente.

Ya se había mencionado en el primer capítulo acerca del estudio que se debe hacer sobre los recursos que serán necesarios para el desarrollo del proyecto. En lo que se refiere a la etapa de Ingeniería se debe hacer el estimado de la cantidad y calidad de recursos humanos y técnicos necesarios para cumplir con el calendario o programa. Cabe acentuar la importancia de una definición precisa y libre de subjetividad en cuanto a los recursos requeridos. Una mala decisión en este sentido llevará a un retraso en las fechas de terminación requeridas y/o a un diseño deficiente ya sea por la baja calidad de los recursos internos o por el apuro en cumplir con las fechas de terminación. Las fechas de terminación deberán ser realistas sin tratar de estrechar mucho el calendario ya que de otra forma se caería de nueva cuenta en los errores ya mencionados. De la comparación de los recursos necesarios contra los recursos internos de la Compañía surgirá la conveniencia

ó no de recurrir a una firma de ingeniería para desarrollar el diseño ya sea básico y/o de detalle. El contratar a este tipo de firmas para el desarrollo de la ingeniería no excluye a la Compañía de la asignación de recursos internos - con objeto de coordinar y revisar que el diseño se ajuste - a las bases, estándares y condiciones previamente establecidas. Aquí también será importante la cantidad y calidad de los recursos asignados a las labores de coordinación y revisión, sobre todo cuando se involucre a más de una firma en el diseño. Al contratar los servicios de varias firmas, -- las tareas de coordinación y de chequeos cruzados aumenta-- rán considerablemente, y los errores serán más difíciles de ser visualizados durante las revisiones.

Con el fin de disminuir el número de errores en el diseño, es conveniente llevar a cabo periódicamente "chequeos cruzados" entre los planos, diagramas, hojas de especificación de los equipos, etc. Lo anterior permitirá revisar que no se hayan omitido líneas, válvulas, drenes, boquillas, etc., que las distancias consideradas son las correctas, que las bases de cálculo se han respetado, etc. Es -- frecuente que durante el desarrollo del diseño se efectúen una serie de cambios al diseño original de algún equipo o - sistema, los cuales deberán notificarse a todos los departamentos involucrados (civil, estructural, eléctrico, instrumentación, procesos, etc.) a la brevedad posible con el fin de que alterar en lo menos posible los planos y trabajos de

cada departamento. Es decir, se requiere de una comunicación interna efectiva que permita un trabajo en conjunto.

### 3.2. ADQUISICION, FABRICACION Y MANEJO DE EQUIPO Y MATERIALES

#### 3.2.1. Adquisición.

Una vez que se cuenta con las especificaciones -- finales de los equipos, se pueden iniciar los trámites de adquisición de los mismos. Esta actividad es crítica para el éxito del proyecto. Un equipo puede estar perfectamente --- bien diseñado y especificado, pero si su fabricación ha sido defectuosa será muy probable que falle en cumplir con las -- condiciones de operación y funcionamiento que de él se re--- quieren. Un mal manejo del equipo durante su embarque, ---- transporte, almacenamiento e instalación puede ocasionar un deterioro en la calidad del mismo con las consecuencias ob-- vias de mala operación y funcionamiento durante su arranque.

La adquisición de los equipos y materiales puede ser llevada a cabo por la compañía propietaria, por el con-- tratista a cargo de la obra electromecánica, o por ambos. - En todo caso, deben estar perfectamente claras las responsa-- bilidades de cada uno. En algunos casos, será recomendable que el contratista se encargue de la compra de equipos. En estas circunstancias, es recomendable la revisión ó segui--- miento de las compras por parte de algún representante de la compañía propietaria con el fin de asegura una selección adecuada e imparcial de proveedores. Por lo general, los con-- tratistas tienen arreglos y preferencias por ciertos provee-

dores, mientras que el cliente prefiere otras marcas por haber tenido buenas experiencias con ellas en el pasado. El contratista, casi siempre estará más preocupado por el costo y tiempo de entrega del equipo al momento de seleccionar un proveedor, mientras que al cliente le interesará también la calidad del equipo pues a final de cuentas será él quien tendrá que arrancarlo y operarlo una vez que el contratista haya terminado su trabajo.

En otros casos, el propietario se hace cargo de la adquisición del equipo (al menos de aquel que se considere más crítico). En estas situaciones también se pueden llegar a presentar dificultades pues un retraso en el tiempo de entrega alterará los planes y programas de construcción del contratista.

Con el fin de evitar situaciones conflictivas entre propietario y contratista, así como para asegurar una selección de proveedores que satisfaga los requerimientos del primero, se recomienda elaborar un agrupamiento por tipo de equipo a comprar (bombas, intercambiadores, instrumentación, etc.), así como una lista por tipo de equipo también de proveedores recomendados, y confiables (la cual puede incluir tanto a los proveedores y fabricantes preferidos por el contratista así como a los preferidos por el cliente). Una vez hecho esto, se mandan a cotizar los equipos con los distintos proveedores. La selección del proveedor al que se le colocará un pedido determinado dependerá, en-

tre otros, de los siguientes factores:

- precio del equipo.
- tiempo de entrega.
- flexibilidad del equipo. Por ejemplo, en una bomba sería muy conveniente que pueda manejar un gasto mayor cambiando únicamente el impulsor sin necesidad de cambiar la carcasa.
- facilidad y requerimientos de mantenimiento.
- facilidad de operación.
- facilidad de instalación.
- servicio que puede proporcionar el proveedor. Incluye aspectos como la cercanía del taller ó representante más cercano, asesoría de especialistas del proveedor durante la -- instalación y puesta en marcha del equipo, información técnica detallada, etc.
- confiabilidad del proveedor. Dependerá de la experiencia previa que se haya tenido en compras anteriores.
- adquisición de marcas y modelos ya existentes en la planta con objeto de disminuir los requerimientos de refacciones.
- facilidades para la inspección y revisión del avance en la fabricación del equipo.
- seguridad en que el proveedor pueda construir el equipo con la calidad requerida.
- condiciones de pago exigidas por el proveedor.

De los puntos anteriores, la flexibilidad, la facilidad de operación y el servicio proporcionado por el pro

veedor son los que mayor repercusión tienen durante el arranque. Cada uno de los factores tendrá una importancia variable dependiendo del equipo que se esté considerando y de las circunstancias generales que rodeen al proyecto.

### 3.2.2. Fabricación.

Una vez colocado el pedido, se debe elaborar un programa de inspección del avance en la fabricación y calidad del equipo. Un programa inadecuado en este sentido originará retrasos en la entrega del equipo y una calidad del mismo que no sea la acordada durante la operación de compra. La baja calidad puede ser originada por:

- calidad deficiente de componentes utilizados (la cual sólo podrá verificarse durante el proceso de fabricación del equipo.)
- ensamblado incorrecto (idem al anterior.)
- falta de limpieza interna (idem.)
- materiales de construcción incorrectos y diferentes a los especificados (idem.)
- problemas laborales dentro de la organización del proveedor.
- programa de fabricación demasiado apretado.
- problemas del proveedor para adquirir materiales y componentes con sus proveedores acostumbrados.

Como se puede observar, la inspección de la fabricación del equipo de preferencia por parte de un representante del propietario, disminuirá la probabilidad de ocurrencia

de los puntos anteriores. Existen varias opciones para llevar a cabo esta inspección:

- inspector de tiempo completo en la planta ó taller del fabricante. Se le conoce como cobertura completa. Indudablemente garantiza el mayor grado de inspección, pero implica - también el mayor costo. Es recomendable en equipos muy especiales y críticos.

- inspección periódica a intervalos aleatorios. Permite una inspección aceptable pues el proveedor no puede prepararse - para la visita. La frecuencia de las inspecciones estará en función del programa de fabricación del equipo y de lo crítico del mismo.

- inspección periódica en etapas especificadas de la secuencia de manufactura. Se seleccionan las etapas más significativas en la calidad del equipo.

- inspección sólo en el ensamblado final. Recomendable para equipos menos críticos.

- no hay inspección. Para equipo de línea que no representa ningún problema potencial de cuidado.

En ocasiones, durante la inspección, será recomendable realizar pruebas del equipo en el taller del fabricante con testigos presentes para evitar malas interpretaciones. Estas pruebas no siempre se podrán realizar. Sin embargo, son muy útiles para aclarar situaciones de problemas y descomposturas del equipo durante su embarque, manejo y/o instalación.

### 3.2.3. Manejo.

Una vez que se ha completado la fabricación del -- equipo y que éste ha pasado satisfactoriamente todas las --- pruebas a que se le ha sometido, se procede a su embarque y transporte. Cuando el equipo es voluminoso e implica problemas para su transporte, se deberá establecerse previamente - tanto por el fabricante como por el comprador (y el transportista si se considera conveniente) la ruta a seguir con el - fin de evitar daños y desperfectos al equipo. En algunos casos será necesario el uso de una escolta durante el transporte, la cual será de mucha ayuda en la prevención de accidentes y daños en y por el equipo. También es conveniente que todo el manejo, si es posible y si el equipo así lo amerita, se lleve a cabo con testigos con objeto de revisar y supervisar a detalle la forma de embarque y todos aquellos procedimientos especiales que se deban de seguir en cada caso. Pudiera ser necesario que el equipo se embarque totalmente dedesensamblado, o bien, sólo con los baleros y sellos desmontados. En todo caso, es necesario proteger adecuadamente flechas, bridas, instrumentación, etc. Aún cuando se haya supervisado directamente el embarque y transporte, es útil realizar una inspección del equipo a la recepción con objeto de determinar con tiempo cualquier falla ó avería que éste pueda presentar ya sea debida a la misma fabricación ó al manejo y transporte. Las indicaciones anteriores no sólo son -- aplicables para el equipo en sí, sino para todas las partes

anexas (como pudiera ser las refacciones, el cople, etc.) - que con él se envíen.

En algunos casos será necesario desensamblar el equipo con objeto de revisar sus componentes internos. Este es un caso extremo de inspección del equipo y deberá realizarse sólo si se cuenta con un equipo bien capacitado de mecánicos experimentados. En el extremo opuesto se encuentra aquel equipo y material que pueda ser considerado como "estándar" (i.e. válvulas, material eléctrico, etc.) y que normalmente no es inspeccionado a fondo por lo que puede llegar a causar varios problemas durante el arranque.

Otro punto a considerar son los planes y programas de instalación del equipo. La fabricación y entrega pueden haberse retrasado a tal punto que ya urge la instalación del equipo a la brevedad posible. En estos casos -- suele hacerse la instalación directa del camión a los ci---mientos. Se debe tener cuidado con lo anterior pues la urgencia y la presión pueden llevar a maniobras y procedimientos de instalación deficientes que lleguen a dañar al equipo o a afectar el buen funcionamiento del mismo.

Sin embargo, en la mayoría de los casos, una vez inspeccionado el equipo, éste es almacenado durante un período de tiempo antes de ser instalado. El almacenamiento puede ocasionar deterioro del equipo cuando éste se deja -- desprotegido, o bien cuando el recubrimiento o mecanismo -- protector se encuentra dañado. También, en caso de que el

almacenamiento se prolongue por un período de tiempo considerable, será necesario darle un mantenimiento periódico al -- equipo. Otro punto a considerar será la conveniencia de almacenamiento en un lugar cerrado para aquel equipo más delicado. En ocasiones será suficiente el almacenamiento a cielo abierto siempre y cuando se le dé al equipo una protección adecuada contra la intemperie y la oxidación.

### 3.3. NEGOCIACIONES CONTRACTUALES

A lo largo de la vida del proyecto son varios los contratos que se realizan. Entre los principales encontramos los de adquisición de tecnología si ésta es licenciada, los de desarrollo de Ingeniería de Detalle, los de ejecución de la obra civil y electro-mecánica, y los de adquisición de materias primas para el arranque. Una buena negociación de estos contratos es fundamental para el éxito del proyecto y del arranque.

#### 3.3.1. Negociaciones con contratistas.

Los contratos que se realizan con este tipo de firmas pueden incluir alguna(s) de las siguientes actividades: ingeniería, procuración y compra de materiales, construcción y arranque y demostración. Son dos los principales y más representativos tipos de contratos que se presentan comunmente de acuerdo con la forma de reembolso (8):

(8) Project Engineering of Process Plants, Rase, H.F. and Barrow N.H. John Wiley and Sons Inc., New York.

- contrato a porcentaje. El propietario reembolsa al contratista todos los costos aplicables al contrato más un porcentaje sobre los mismos para cubrir sus gastos y utilidades. - El propietario tiene autoridad sobre el personal del contratista y ejerce un control sobre costos y gastos; por tanto, restringe el campo de acción y libertad del contratista. Es recomendable cuando el trabajo por realizar no puede ser específicamente señalado con anticipación, ó los problemas de construcción son difíciles de estimar al inicio de la obra. El propietario debe asignar mayores y mejores recursos humanos que en los contratos precio alzado, y no todas las em--presas están dispuestas o pueden asignarlos.

- contrato a precio alzado o precio fijo. El contratista se compromete a realizar los servicios especificados en detalle en el contrato y no se permite variación a la suma en él fijada. Se pueden causar malas relaciones entre las dos partes debidas a malas interpretaciones de las especifica--ciones y planos originales. Se debe tener cuidado con este tipo de contratos y con el contratista en específico pues - los ahorros que este último logre aumentarán sus utilidades (ahorros que a fin de cuentas repercuten en la calidad final del trabajo). Se recurre a este tipo de negociaciones cuando el propietario no cuenta con los recursos humanos y la infraestructura requeridos para llevar a cabo un trabajo a porcentaje.

Se realiza un concurso de contratistas para selec

cionar aquel que será encargado de realizar el trabajo. Los distintos contratistas deberán presentar sus propuestas en las cuales se incluyen entre otros puntos:

- alcance de su trabajo.
- descripción de la planta por medio de Diagramas de Flujo, de Ingeniería, Lay-outs, etc. (si aplica).
- facilidades temporales requeridas (almacén, taller; oficinas).
- servicios requeridos para la construcción (energía eléctrica, agua, etc.).
- especificaciones mecánicas que han de seguirse y tomarse en cuenta.
- establecimiento de la calidad.
- costos y honorarios propuestos.
- programa de ejecución propuesto.

Al igual que en la selección de un proveedor de equipo, la selección del contratista no estará únicamente en función del precio y costo que éste proponga. Un contratista sin experiencia (aún cuando cuente con recursos técnicos, herramienta y maquinaria apropiados) puede originar grandes dificultades ya que las labores de coordinación, organización y supervisión son muy complejas en proyectos grandes. No cualquier contratista tiene la capacidad suficiente para diseñar y/o construir cualquier tipo de planta. El propietario debe cerciorarse del punto anterior sobre todo en cuanto a la calidad del trabajo y servicios que pueden ofrecer los

diferentes contratistas. La experiencia previa que se haya tenido con determinado contratista es fundamental al momento de hacer la selección. El apoyo y cooperación que el -- contratista pueda brindar al cliente serán fundamentales en el éxito del proyecto. Otro punto a investigar lo es la si tuación financiera del contratista ya que en algunos casos, dependiendo de las condiciones de pago especificadas en el contrato, éste deberá hacer fuertes erogaciones antes de re-cibir el primer reembolso por parte del cliente.

Una vez seleccionado el contratista ó la firma de ingeniería, se procede a firmar el contrato respectivo. Es importante para ésto contar con un Departamento Legal compe tente con conocimientos tanto de leyes como de ingeniería. El contrato deberá estar lo más claro y detallado que sea - posible a fin de evitar confusiones y malos entendidos. Si es necesario y se considera conveniente, se le deberán in-cluir anexos con el fin de aclarar aún más las condiciones del contrato. Sin embargo, a fin de cuentas, el contrato - por muy extenso que sea y por muy detallada que esté la re-dacción no puede del todo asegurar la calidad del trabajo. Lo que más cuenta es la capacidad, integridad y calidad del contratista. De aquí la importancia de una buena selección del mismo. La integridad, la competencia técnica, y el pro fesionalismo del personal tanto del contratista como del -- cliente, son básicos para alcanzar el éxito del proyecto. - El contrato protege contra la negligencia y actos ilegales

voluntarios, pero no puede proteger a ninguna de las dos partes contra prácticas fuera de ética o contra la incompetencia de la otra parte.

La mayoría de los problemas entre propietarios y contratistas son a causa de la ineptitud del personal de uno o del otro. También pueden surgir problemas cuando no se cuenta con un método para cubrir problemas no previstos en el contrato y en las negociaciones previas, y cuando el propietario tiene altas expectativas para la calidad del trabajo del contratista. Las malas interpretaciones y las interpretaciones vagas del lenguaje contractual afectan las relaciones entre las dos partes, lo cual por lo general repercutirá en la calidad del trabajo.

Como se puede fácilmente observar, una buena negociación y selección de contratista, y las buenas relaciones que se mantengan durante el desarrollo del trabajo son bases sólidas para obtener la calidad de instalaciones requeridas por el proceso. Lo anterior redituará también obviamente en el éxito del arranque.

### 3.3.2. Procuración de Materias Primas.

Los planes para la procuración de materias primas para el arranque se deben iniciar tan pronto como sea posible. Se recomienda dar inicio a las mismas al mismo tiempo que se inicia la ejecución de instalaciones. De esta forma, se contará con el tiempo suficiente para contactar a los proveedores y llegar a un arreglo con ellos.

Normalmente será el Departamento de Compras el encargado de establecer el contacto con proveedores. El Departamento de Investigación y Desarrollo también deberá tomar parte en esta actividad pues se debe cerciorar de que el proveedor pueda ofrecer el producto dentro de la calidad requerida por el proceso. Se debe investigar asimismo si hay una continuidad en las especificaciones de los materiales y las posibles variaciones en la calidad del producto ofrecido por el proveedor. Es conveniente que el ingeniero de arranque coordine esta labor pues es él quien conoce a fondo el plan de arranque y puede determinar la cantidad, tipo, y periodicidad de entrega de las materias primas que serán necesarias durante el arranque y demostración de las instalaciones. En todo caso se debe tratar de contar con fuentes alternas para el suministro de materias primas para el caso en que fallen los proveedores originalmente contactados.

El no contar con las materias primas en la cantidad y calidad suficientes afecta al buen desarrollo del arranque. Si la calidad no es la adecuada se presentarán desviaciones a las condiciones y bases de diseño de la planta. Esto ya se discutió en el capítulo anterior. En procesos continuos, cuando la cantidad de materias primas no es la suficiente para satisfacer los requerimientos del plan de arranque, puede llegar a ser necesario para toda la planta una vez que ésta ya haya sido arrancada. Aún cuando la experiencia del paro de la planta pudiera ser muy provechosa, la

situación anterior no es recomendable pues puede alargar la duración y elevar considerablemente los gastos de arranque. Además, en ciertas circunstancias, se puede provocar deterioro del equipo y de los reactivos (catalizadores por ejemplo).

Los materiales pueden empezar a recibirse en la planta tan pronto como se hayan completado los trabajos de construcción, pruebas y limpieza en las zonas de almacenamiento (tanques y bodegas principalmente). Tan pronto como sea posible, se deben analizar para determinar si cumplen con las especificaciones requeridas. Cuando el material sufra degradaciones con el transcurso del tiempo, se deberá tomar en cuenta su tiempo de vida para establecer la periodicidad y cantidad de las compras.

#### 3.4. MANO DE OBRA DE CONSTRUCCION.

La calidad de las instalaciones depende en gran medida de la mano de obra utilizada en la construcción de las mismas. Ya se ha visto que un proyecto está constituido por una serie de pasos secuenciales. La ejecución de instalaciones es de las últimas etapas previas al arranque. Por tanto, el diseño de la planta, la compra de equipo, y las negociaciones con contratistas deben complementarse con una adecuada mano de obra de construcción. Desde la definición y estudios preliminares del proyecto se debe empezar a analizar lo referente a la calidad y cantidad de la mano de obra de construcción existente en la región considerada pa-

ra instalar la planta durante el período de construcción es es tímado. Cuando ésta es escasa se presentan dificultades -- por la necesidad de conseguirla en regiones alejadas (lo -- que incrementa el costo del proyecto), y por la alta rota-- ción de personal que se puede esperar por la lejanía que -- existe con sus lugares de origen o residencia. Lo anterior es de mucha importancia sobre todo en aquellas etapas de la construcción en las que se requiere acumular una cantidad - determinada de personal con objeto de poder cumplir con el programa establecido. Obviamente, la incapacidad para al-- canzar una curva de acumulación de mano de obra proyectada alargará el programa de construcción, retrasando la fecha y los planes y programas de arranque.

Es en estas circunstancias, al momento que se em-- pieza a notar un cierto retraso en el programa, cuando ---- aumenta la presión para cumplir con las fechas estableci--- das. El personal de construcción se da cuenta de lo ante-- rior y también sobre él recae algo de la presión. Se le -- asignan mayores labores y se le supervisa más de cerca. Es decir, se le exige más y en ocasiones también deberá traba-- jar horas extras para poder terminar con el trabajo asigna-- do. Esta situación puede provocar fricciones y malos enten-- didos que repercuten en el trabajo del personal. La gente siente que se le está explotando y que no se le toma en --- cuenta. No es extraño, por tanto, que se presente una baja en la moral del personal originada por una falta de motiva-

ción del mismo lo cual lleva finalmente a una baja en el rendimiento, con lo que se cierra este círculo vicioso de presión-baja en la moral-bajo rendimiento-retraso-presión.

Otra situación que se presenta con frecuencia durante la etapa de ejecución de instalaciones son las modificaciones y cambios que se hacen a la ingeniería y diseño originales. Estos cambios por lo general surgen a partir de errores de diseño que no son detectados sino hasta el momento de estar construyendo, o bien de modificaciones que se considera conveniente realizar con objeto de mejorar y facilitar las condiciones de operación, control, seguridad, instalación, etc. de determinada área del proyecto. Los problemas en este sentido se empiezan a presentar cuando el número de las modificaciones crece considerablemente, o bien, cuando se requiere de uno o varios cambios sustanciales. Estos cambios y modificaciones tienen repercusión en las cargas de trabajo del personal, no siendo extraño que se presenten las situaciones mencionadas en el párrafo anterior. Es decir, - se nota una disminución en la productividad y en la moral del personal que repercute indudablemente en la calidad de las instalaciones.

Es importante, también contar con los materiales y equipos por instalar, así como con las herramientas, accesorios y equipo de construcción requeridos. Cuando alguno(s) de éstos faltan, el personal no puede desarrollar adecuadamente su labor y siente que se le exige demasiado pero que -

no se le dá el apoyo para cumplir con su trabajo. A final de cuentas, se vuelve a lo mismo, pérdidas de motivación - y deseos de hacer bien las cosas. Por tanto, es importante que se enfatizen las labores de procuración, recepción y expedición de materiales estableciendo procedimientos -- que agilicen dichas actividades.

Con objeto de disminuir los efectos de las situaciones anteriores es recomendable llevar a cabo una inspección y supervisión de la construcción por personal calificado y con experiencia. Los principales objetivos que se persiguen con la inspección de la construcción son:

- corregir errores de diseño.
- encontrar y corregir errores del proveedor.
- asegurar buena calidad del trabajo.
- asegurar que la instalación está según el diseño y cumple con las especificaciones.
- minimizar problemas en el arranque.
- corregir errores en el campo.
- garantizar integridad mecánica de la planta.
- reducir costos de construcción.
- mejorar productividad de la mano de obra.
- medir el progreso de la construcción.
- alargar la vida útil de las instalaciones.
- conocimiento de las instalaciones y del equipo.

Las inspecciones deberán llevarse a cabo tanto -- por personal del propietario como personal del contratista.

De esta forma, el contratista protege su reputación, minimiza repeticiones de trabajo, mejora las condiciones de seguridad de la construcción, y reduce responsabilidades futuras. El propietario también se ve beneficiado ya que protege su inversión eliminando mano de obra deficiente que al mediano plazo (o sea durante el arranque) seguramente ocasionaría problemas muy costosos. La inspección por parte de ambos es benéfica pues los dos tienen puntos de vista diferentes sobre todo en lo que a calidad se refiere y de esta manera, se van conciliando las dificultades y diferencias a medida que éstas surgen. Asimismo, una inspección continua permite detectar oportunamente los problemas y atacarlos cuando aún hay tiempo para ello.

Es recomendable emplear como inspectores del propietario a las gentes que más tarde se harán cargo del arranque, mantenimiento y operación de la planta. De esta forma, estas gentes se compenetran con el proyecto y aportan ideas y soluciones a los problemas que se presenten. Asimismo, se logra un mejor conocimiento de las instalaciones por parte de estas personas, lo cual será de mucha ayuda al momento que ellos tengan la responsabilidad de arrancar y operar la planta. Además hay que tomar en cuenta que para los encargados de la administración de la construcción es más importante la terminación a tiempo y dentro del presupuesto, mientras que al personal operativo y de arranque les preocupa aún más la calidad y funcionalidad de las ins-

talaciones. Esto es lógico pues el personal a cargo de la construcción no tendrá que operar la planta, ni tendrá que afrontar las condiciones inseguras y riesgosas que puede ocasionar una instalación de baja calidad. Se debe por tanto tratar de concientizar a la gente de construcción sobre la calidad mínima que se requiere para tener unas instalaciones funcionales y seguras. Este trabajo de concientización y convencimiento debe hacerse con toda anticipación ya que la solicitud de repetir un trabajo es molesto e irrita a las gentes de construcción.

Entre los aspectos importantes a inspeccionar, se encuentran la conexión de juntas, la alineación del equipo, las cimentaciones, partes internas de los equipos, conexión de tuberías, soportería, trayectorias de tubería mecánica y eléctrica, etc. El inspector debe parar el trabajo cuando la instalación no es satisfactoria. Para poder llevar a cabo satisfactoriamente su trabajo, el inspector debe conocer en detalle las especificaciones mecánicas y comprender la razón para una especificación en particular. También debe al menos tener un conocimiento básico del proceso y comprender bien sus limitaciones. Debe conocer también los sistemas de archivo y organización de los centros de información de proyecto con objeto de poder consultar con rapidez cualquier plano o especificación que requiera.

El objetivo final que se persigue es el obtener

la calidad requerida en las instalaciones con objeto de asegurar un mínimo de problemas durante el arranque y operación futura de la planta. El contar con mano de obra aceptable en la cantidad suficiente y el llevar a cabo una inspección rigurosa de la construcción son de mucha ayuda en alcanzar el objetivo.

### 3.5. ESTIMACION DE COSTO

#### 3.5.1. Estimación de costo del proyecto.

Una estimación de costo no realista ocasiona muchos problemas durante la ejecución del proyecto debido a las restricciones financieras que se presentan y que disminuyen la calidad de las instalaciones. La estimación de costo se realiza durante la etapa de definición, como se mencionó en el primer capítulo, con objeto de elaborar la evaluación económica final del proyecto que determinará la viabilidad de éste. Una estimación de costo optimista con un presupuesto muy apretado ayudará en la evaluación económica, facilitando la justificación del proyecto. Sin embargo, a la larga, esta actitud se refleja en la calidad de las instalaciones. Esto afectará no sólo el desarrollo del arranque sino la operación futura de la planta, así como la vida útil de la misma.

La estimación de costo debe hacerse lo más realista posible. En su elaboración debe intervenir personal con experiencia. Como punto de partida se deben tomar en cuenta las cotizaciones y precios reales de los equipos y mate-

riales. También se deberá contar con una cubicación de materiales tanto mecánicos, como eléctricos y civiles, así como la estimación de la mano de obra requerida. Todos los costos y gastos se deberán inflacionar tomando en cuenta datos históricos, las expectativas de inflación a futuro, y el programa del proyecto. También es recomendable considerar un factor de contingencias por todos aquellos aspectos que faltaran por definir al momento de elaborar la estimación, que sean difíciles de estimar, o que simplemente se hayan "escapado". El rastreo de costos históricos es de mucha ayuda en el estimado de inversión pues da una base realista para estimar ciertos aspectos como lo son los materiales consumibles, los reembolsables de contratistas, la renta de herramientas menores, soportería, etc.

### 3.5.2. Estimación de gastos de arranque.

Existen una serie de gastos asociados con el arranque de cualquier instalación. Estos gastos son un desembolso más que debe llevar a cabo la compañía en todo proyecto, y por tanto deben ser considerados dentro del monto total erogado al momento de hacer la evaluación económica del mismo. Los gastos de arranque pueden ser muy elevados, tanto que en algunos casos pueden ser la diferencia entre un proyecto rentable y uno que no lo es. Por tanto, una estimación no realista de estos gastos tiene las mismas consecuencias ya mencionadas para la estimación de costo del proyecto. Es decir, el presupuesto para el arranque estará --

muy apretado, lo que ocasionará entre otras dificultades, - problemas para poder realizar aquellos cambios y modifica-- ciones que pudieran ser necesarios realizar durante el ---- arranque para poder obtener las condiciones de operación re queridas, así como problemas para poder cubrir las pérdidas de materia prima que se tengan durante el arranque.

Una estimación exacta de la duración del arranque y de los gastos del mismo es de mucha ayuda para estimar la fecha en que se podrá contar con producto terminado de tal forma de planear con anticipación la penetración en el mercado. También es de mucha ayuda en la determinación de la rentabilidad del proyecto pues los cálculos DE VPN (valor - presente neto) y de flujo de efectivo serán más exactos.

Feldman (9) define los gastos de arranque como -- "el total de aquellos costos directamente relacionados con poner en operación una nueva unidad productiva". También - hace notar la importancia de contar con una definición ade cuada con objeto de facilitar su predicción y control. De acuerdo con la definición de Feldman, los gastos de arran--

---

(9) Feldman R.P., "Economics of Plant Startup", Chemical -- Engineering, Nov. 1969.

que incluyen:

- todos los cambios y modificaciones que se hagan al proceso y al equipo una vez que se haya terminado la etapa de construcción y que tengan como finalidad alcanzar las metas que el proyecto originalmente se trazó. Cuando el alcance del proyecto ha sido cambiado, los cambios y modificaciones que se hagan no se consideran gastos de arranque.

- todos los gastos asociados con la mano de obra, excluyendo los relacionados con la construcción, pero incluyendo los honorarios o sueldos de técnicos e ingenieros.

- todos los costos normalmente asociados con la operación. Es decir, se incluyen: materia prima para el período de arranque, producción que no corresponde a las especificaciones, mantenimiento, servicios, empaque, etc. además de la mano de obra ya mencionada.

- el pago del entrenamiento del personal, aún cuando éste se haya desarrollado antes del inicio oficial del arranque.

- todos los gastos de investigación y desarrollo hechos durante y a consecuencia del arranque.

No se incluyen como gastos de arranque los siguientes aspectos:

- costos de distribución del producto.

- entrenamiento de vendedores.

- costos asociados con el inicio de operaciones de una nueva compañía ó negocio. Sólo se deben incluir los desembolsos para poner en funcionamiento la unidad productiva.

Como se puede ver, los gastos de arranque no son capitalizables con excepción de los cambios y modificaciones que se hagan a las instalaciones.

Para que la definición sea completa, se debe --- aclarar también lo que se entiende por período de arranque. El período de arranque se inicia, de acuerdo con Feldman, cuando el contratista termina ya sea toda la planta ó alguna sección de la misma; es decir, con la terminación mecánica de acuerdo con la terminología descrita en el primer capítulo. El fin del período de arranque se alcanza cuando se logre una "operación normal", que según Feldman puede ser, de acuerdo con el proyecto:

- cuando se alcance algún porcentaje determinado de la capacidad de diseño.
- cuando se alcance un número determinado de días en operación continua.
- cuando se alcance una calidad mínima de producto terminado.

De antemano deberá establecerse cual será la meta de producción por alcanzar. De esta forma todo el personal trabajará por obtener dicho objetivo y se podrán hacer comparaciones entre los gastos de arranque de distintas plantas. Asimismo, se delimita el punto en que termina la intervención del grupo de arranque y se inicia la -- responsabilidad del grupo de producción.

Los gastos de arranque variarán en función de ya

rios parámetros. No es lo mismo arrancar por ejemplo una -- planta en un complejo existente con personal experimentado y diseño de tercera generación, que arrancar una planta para un producto "viejo" utilizando un proceso nuevo a partir de una escalación de laboratorio y planta piloto en una localidad nueva con personal de supervisión no experimentado. Los gastos asociados con el arranque de esta última planta serán lógicamente mucho más elevados que los que se pueden esperar para el primer caso.

Feldman propone una lista de parámetros que afectan tanto los gastos como el período de arranque. Estos parámetros tienen la ventaja de poder aplicarse en casi todo tipo de plantas químicas:

- El primer parámetro general es la inversión en capital para los límites de batería de la planta. Este parámetro permite estimados de orden de magnitud ya que los gastos de arranque pueden oscilar entre 2% a 20% de la inversión de límite de batería.

- el segundo parámetro es la asimilación que del proceso y de la tecnología tienen la compañía y en especial el grupo de arranque. Es obvio que existe diferencia entre arrancar un proceso desconocido a uno ya conocido. Este aspecto también aplica para distintas secciones de la planta que presenten innovaciones tecnológicas como pudieran ser la instrumentación y control.

- el tercer parámetro general es lo novedoso del tipo de ---

equipo no sólo para el personal de la compañía sino para el mismo proveedor del equipo. No es extraño tener problemas con el arranque de versiones o modelos gigantes de equipos ya familiares para la compañía, sobre todo en proyectos de expansión de capacidad.

- el cuarto parámetro general es la calidad y cantidad de la mano de obra y supervisión del arranque. Un proceso altamente probado y conocido por la compañía puede ocasionar problemas a un equipo de arranque sin experiencia y/o mal entrenado.

- el quinto parámetro es la interdependencia de la planta con otras zonas productivas del complejo. Por interdependencia se entiende que tanto el arranque de una planta o de una sección de ésta depende del arranque u operación de otra planta o de otra sección de la misma. Si una planta depende de otras para su abastecimiento de materias primas o de servicios, no podrá arrancarse hasta que sean arrancadas las otras. Obviamente, mientras mayor sea el número de plantas interrelacionadas, mayor será el riesgo de tener retrasos que incrementan los gastos de arranque.

Analizando estos parámetros se puede conseguir una adecuada estimación de la duración y de los gastos de arranque. Feldman indica que haciendo un análisis histórico para un entorno determinado (país, compañía, segmento de la industria química, etc.) se puede llegar a una expresión matemática para los gastos de arranque en proyectos condi--

cionados por dicho entorno. El propone la siguiente expresión matemática:

$$\text{Gastos de Arranque} = f(A, B, C, D, E)$$

en donde A, B, C, D y E representan respectivamente los factores para cada uno de los cinco parámetros descritos con anterioridad. Es decir:

- A = factor de la inversión en límite de batería.
- B = factor de asimilación del proceso y tecnología.
- C = factor de equipo.
- D = factor de mano de obra y supervisión de arranque.
- E = factor de interdependencia con otras plantas.

Para la estimación de la duración del arranque, la expresión es similar, con la única diferencia de sustituir el factor A de la inversión en límite de batería por el factor F que se refiere al tiempo requerido para la construcción de las instalaciones.

Para una planta de 1,000 - 1,400 ton/día de amoníaco, Feldam propone la siguiente fórmula:

$$\text{Gastos de arranque} = A [0.10 + B + C + D + N(E)]$$

donde:

- A = inversión de capital en límites de batería.
- B = 0.05 para procesos radicalmente nuevos.  
0.02 si son relativamente nuevos.  
-0.02 si ya son conocidos.
- C = 0.07 si el equipo es radicalmente nuevo.  
0.04 si el equipo es muy nuevo.  
0.02 si es relativamente nuevo.

-0.03 si ya es conocido.

D = 0.04 si la mano de obra calificada es muy escasa.

0.02 si es escasa.

-0.01 si hay sobreoferta de mano de obra.

E = 0.04 si la planta depende mucho de otra.

0.02 si la dependencia es moderada.

-0.02 si es independiente.

N = número de plantas ó secciones interrelacionadas.

Para la duración del arranque se utiliza la misma fórmula con los cambios siguientes: A se sustituye por F -- (tiempo requerido para la construcción), la constante es -- 0.15 y los valores numéricos de las variables siguiendo la misma secuencia son:

B = 0.15, 0.05, -0.01

C = 0.15, 0.08, 0.05, -0.01

D = 0.15, 0.05, -0.01

E = 0.25, 0.10, -0.02

Existen otras variables que pueden afectar las expresiones anteriores como lo son la localización de la planta (area industrializada, confiabilidad en el suministro de agua y energía, clima adverso en invierno, etc.), la calidad de la construcción y de las instalaciones, la labor del equipo de mantenimiento, etc.

Otros autores (10) proponen que los estimados de gastos de arranque oscilan entre 5 y 10% del costo total de diseño y construcción para procesos ya conocidos, entre 10 y 15% para procesos relativamente nuevos, y entre 15 y 20% para procesos radicalmente nuevos.

Otra forma de estimar los gastos de arranque es haciendo el cálculo a detalle, estimando cada uno de los puntos (materias primas, mano de obra, servicios, entrenamiento de personal, etc.) a detalle. Este método puede llegar a ser muy laborioso, además de presentar muchas incertidumbres en ciertos aspectos como lo son la duración del arranque, la magnitud de las modificaciones que serán necesarias realizar, etc.

Una estimación adecuada de los gastos de arranque permitirá llevar un adecuado control tanto del mismo arranque, como de los desembolsos que se vayan haciendo. Asimismo, facilitará realizar a tiempo y con el mínimo de problemas los cambios, modificaciones e instalaciones temporales que se consideren necesario realizar, y permitirá tener un

(10) Idem a (7), p. 130.

Óptimo entrenamiento para todo el personal involucrado en el arranque.

### 3.6. DESEMPEÑO DEL EQUIPO DE ARRANQUE

La forma en que se encuentre organizado el grupo - de arranque, así como la calidad de los recursos humanos que lo forman son indiscutiblemente factores primordiales en el desarrollo del arranque. El contar con una organización precisa y bien definida con las líneas de mando perfectamente - establecidas, así como trazar las metas a conseguir de tal - forma que todos los esfuerzos de todo el grupo se dirijan hacia la obtención de las mismas, y la buena coordinación de - todo el personal involucrado son claves en el éxito del ---- arranque. Tal vez, de todas las fuentes de problemas hasta aquí tratadas, sea ésta la que más impacto tiene en el arranque y no es raro pues es precisamente ésta la más relacionada directamente con este último y la que en un momento dado puede solucionar o minimizar las situaciones y problemas originados por las otras cinco fuentes. Cuando hay demasiado - poco personal o éste no cuenta con la experiencia, habilidades y conocimientos suficientes; cuando las relaciones entre los involucrados son deficientes y se originan demasiadas -- fricciones entre ellos; o cuando no hay un involucramiento - en alcanzar las metas fijadas, es cuando mayores riesgos hay de que se fracase en el arranque.

No hay que olvidar que un fracaso en el arranque - atenta muy seriamente contra el éxito del proyecto de acuerdo con lo establecido en el primer capítulo.

### 3.6.1. Organización y Organigrama.

Existen varias formas de organización que se pueden seguir durante el arranque. En este inciso se mostrarán algunas de ellas. La elección del tipo de organización a emplear dependerá del propietario y estará en función principalmente de la propia organización interna del mismo y de las condiciones que rodean al proyecto. En todo caso, la organización deberá fijarse de antemano. Es recomendable que ésta se fije al menos desde el inicio de la etapa de ejecución de instalaciones con objeto de que las personas que sean designadas dentro de la organización tengan el tiempo suficiente para planear su trabajo y para involucrarse dentro del proyecto.

En la figura No. 5 se muestran las organizaciones de contratista y cliente que están relacionadas con el arranque. Se puede observar que cada una de las organizaciones tiene una orientación definida: el contratista hacia el programa y presupuesto del proyecto (ganancias y utilidades), el gerente de proyecto del propietario hacia la calidad de las instalaciones y el seguimiento de las normas y estándares de construcción previamente establecidos, mientras que el gerente de operaciones o de la planta del propietario estará más inclinado hacia la facilidad operativa, confiabilidad y seguridad de las instalaciones. Es muy adecuado conjuntar estas tres inclinaciones pues una buena amalgama de ellas ayuda considerablemente al buen desarrollo del arran-

ORIENTACION A LAS  
GANANCIAS

ORIENTACION A LA  
CALIDAD

ORIENTACION A LA  
CONFIABILIDAD

CONTRATISTA

PROPIETARIO

OPERACIONES

GERENTE DE PROYECTO

GERENTE DE PROYECTO

GERENTE DE LA PLANTA

INGENIERIA

ADQUISICIONES

ADMINISTRACION

CONSTRUCCION

OPERACIONES INICIALES

ING. DE PROYECTO

ESPECIALISTAS EN  
INGENIERIA

COMPRAS

ADMINISTRACION

ADMINISTRACION  
DE LA CONSTRUCCION  
OPERACIONES INICIALES

OPERACIONES

MANTENIMIENTO

PROCESOS  
LABORATORIO

ADMINISTRACION

LOGISTICA  
RELACIONES INDS.  
SEGURIDAD



Figura No. 5  
ORGANIZACIONES DE CONTRATISTA, PROPIETARIO  
Y OPERACIONES

que. Se puede ver en la figura No. 5 que dentro de la organización del propietario puede existir un Departamento de Operaciones Iniciales el cual estará a cargo del arranque de las instalaciones. Las relaciones entre este Departamento y la gerencia de la planta pueden llegar a ser en este caso tan formales como las que hay cuando se trata con una firma de ingeniería. Es decir, las comunicaciones y arreglos se harán por escrito, existiendo todo tipo de formatos para las distintas actividades (desde las pruebas preoperativas hasta las hojas de entrega de las instalaciones). En caso de no existir este Departamento, el arranque estará a cargo del grupo de operaciones del propietario y/o del contratista, o bien a cargo de un grupo especial formado exclusivamente para el arranque.

En la figura No. 6 se desglosa la organización del propietario. Como se puede ver, dentro de la organización del propietario existen dos áreas (proyectos y operaciones) involucradas con el arranque. Con objeto de eliminar problemas y fricciones entre ellas, es necesario establecer responsabilidades y autoridad exclusivamente para las actividades relacionadas con el arranque. En este sentido, se pueden establecer cualquiera de los organigramas que se muestran en las figuras No. 7 y 8. La responsabilidad de línea dual como se puede observar en la figura No. 7 coloca al gerente de arranque como coordinador y responsable total del arranque.

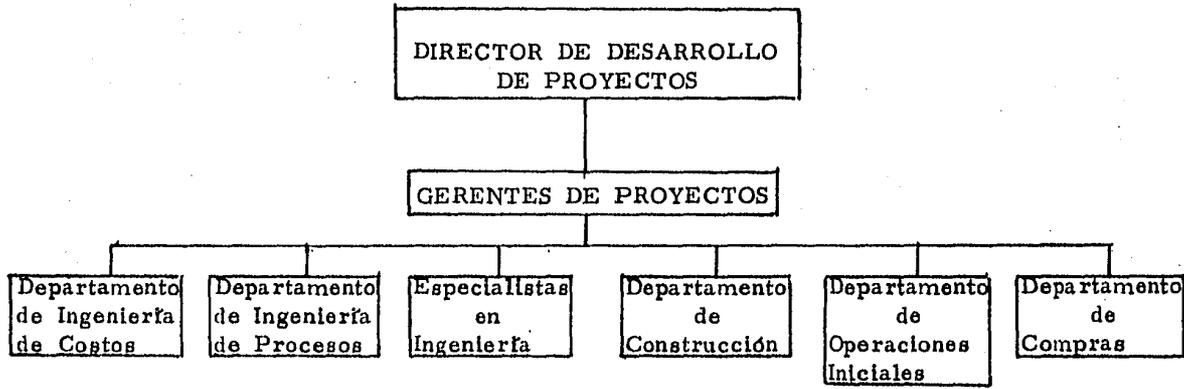


Figura No. 6

ORGANIZACION DEL PROPIETARIO

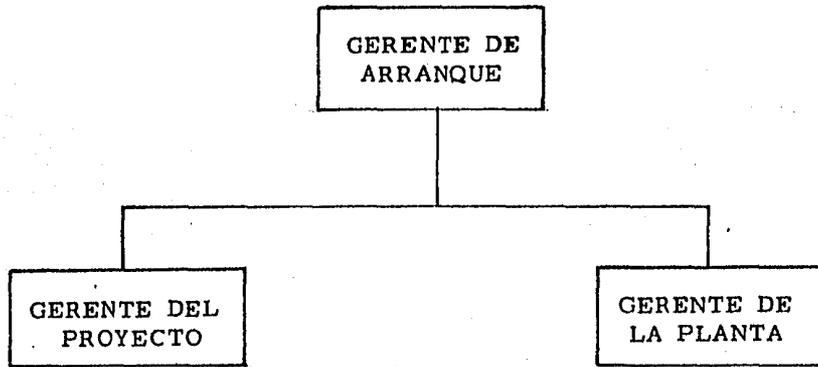


Figura No. 7  
RESPONSABILIDAD DE LINEA DUAL

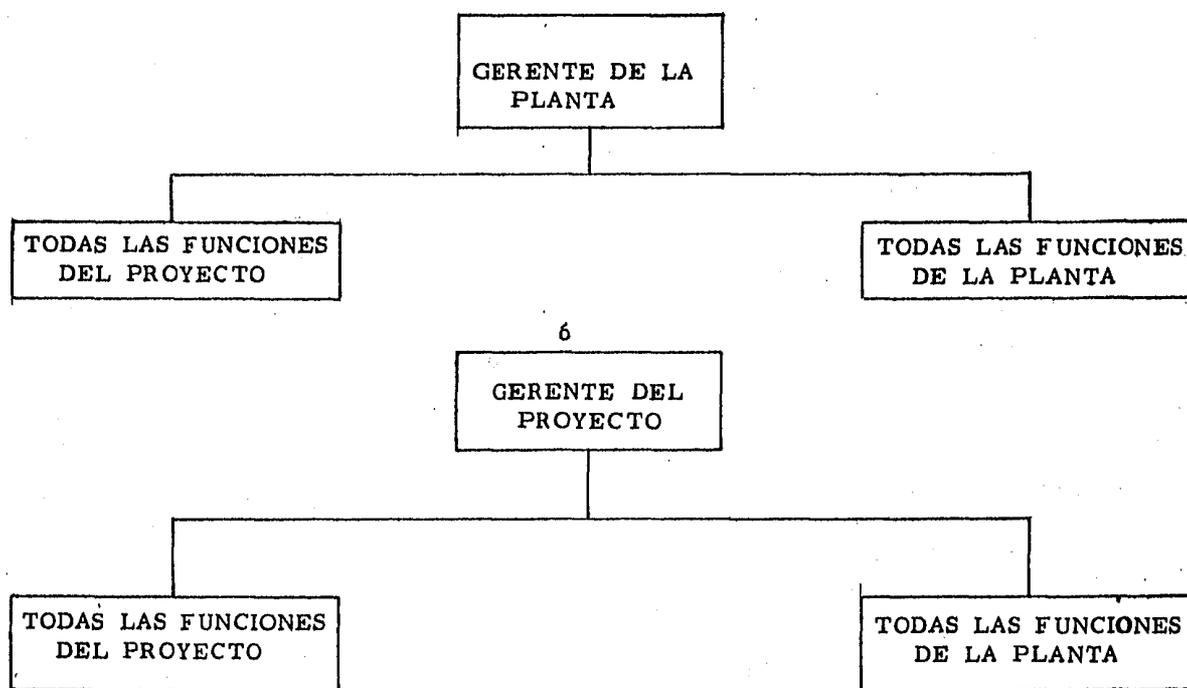


Figura No. 8  
RESPONSABILIDAD DE UNA SOLA LINEA

En este caso, el gerente de arranque estará mas interesado - en el éxito del arranque y no tendrá las inclinaciones del - gerente del proyecto (el cual siempre buscará justificar el diseño y calidad de las instalaciones), ni del gerente de la planta (el cual estará buscando siempre modificar las instalaciones con objeto de obtener ventajas operativas aún cuando éstas no sean estrictamente necesarias). Para poder esta blecer este tipo de organización se requiere contar con re-- cursos humanos: Departamento de Arranque, o al menos un Ge-- rente de Arranque con experiencia. Para la responsabilidad de una sola línea, de acuerdo con lo que se muestra en la fi gura No. 8, se requieren menos recursos pues ya sea el Gerente de la planta ó el del proyecto serán responsables de to-- das las funciones del proyecto y de la planta en lo que a -- las actividades del arranque se refiere. Obviamente, no se consigue la amalgama entre las distintas inclinaciones y for mas de pensar que se obtiene con el caso anterior. En la fi gura No. 9 se muestra el organigrama que aplicaría en caso - de ser nombrado el Gerente de la Planta como responsable general del arranque. Como se puede ver, se nombraría a un Ge rente de Arranque (que bien podría ser el Gerente de Produc-- ción) qxien sería el responsable específico del arranque.

A nivel operativo la organización más frecuente es la mostrada en la figura No. 10. Como se puede ver, la orga-- nización es prácticamente la misma que existe en la opera-- ción normal de la planta con excepción de la inclusión de --

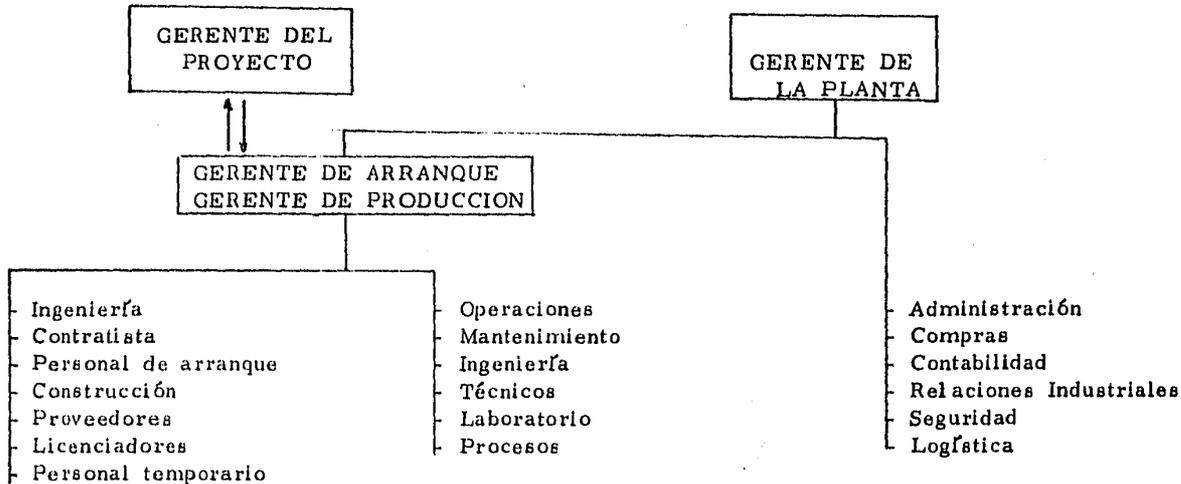
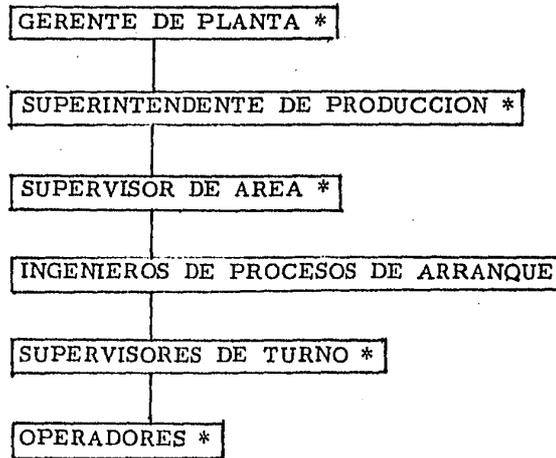


Figura No. 9  
 GERENTE DE LA PLANTA COMO RESPONSABLE  
 GENERAL DEL ARRANQUE

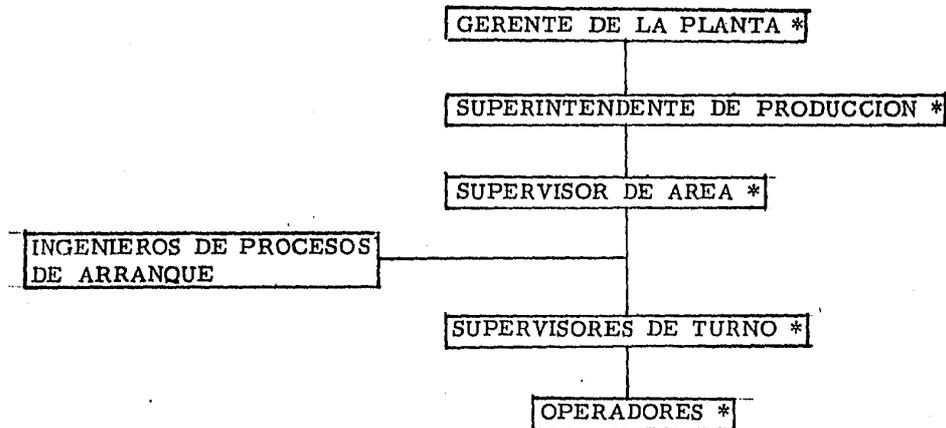


\* Forman parte del equipo de operaciones normal de la planta

Figura No. 10  
ORGANIGRAMA DEL EQUIPO OPERATIVO

los ingenieros de proceso de arranque, los cuales estarán a cargo de los aspectos técnicos del arranque, revisando y analizando las condiciones de operación y solucionando los problemas que se presenten. En algunos casos, es recomendable eliminar la línea de autoridad directa que los ingenieros de proceso de arranque tienen sobre los supervisores de turno de tal forma que los primeros puedan concentrarse en sus labores técnicas y no pierdan tiempo en la ejecución de labores rutinarias. Esta última situación se muestra en la figura No. 11.

En ocasiones un contratista es encargado de llevar a cabo el arranque de las instalaciones, o bien puede suceder que el proceso ha sido comprado y el licenciador de tecnología es el responsable del arranque. En estas condiciones se recurre a un organigrama como el mostrado en la figura No. 12 en el cual debe haber una distinción entre las responsabilidades de cada una de las organizaciones. El contratista estará a cargo de los aspectos técnicos del arranque mientras que el cliente o propietario será responsable del área administrativa así como de proporcionar la mano de obra operativa y de supervisión previamente convenida. La decisión sobre quien estará a cargo del arranque dependerá de quien haya desarrollado el proceso. Si el desarrollo de éste y su diseño han corrido a cargo de la compañía, será ésta la que normalmente se encargue del arranque. Si por el contrario, el proceso fué desarrollado por una firma de ingeniería y construc-



\* Forman parte del equipo de operaciones normal de la planta

Figura No. 11  
ORGANIGRAMA DEL EQUIPO OPERATIVO  
(Ingenieros de turno como apoyo)

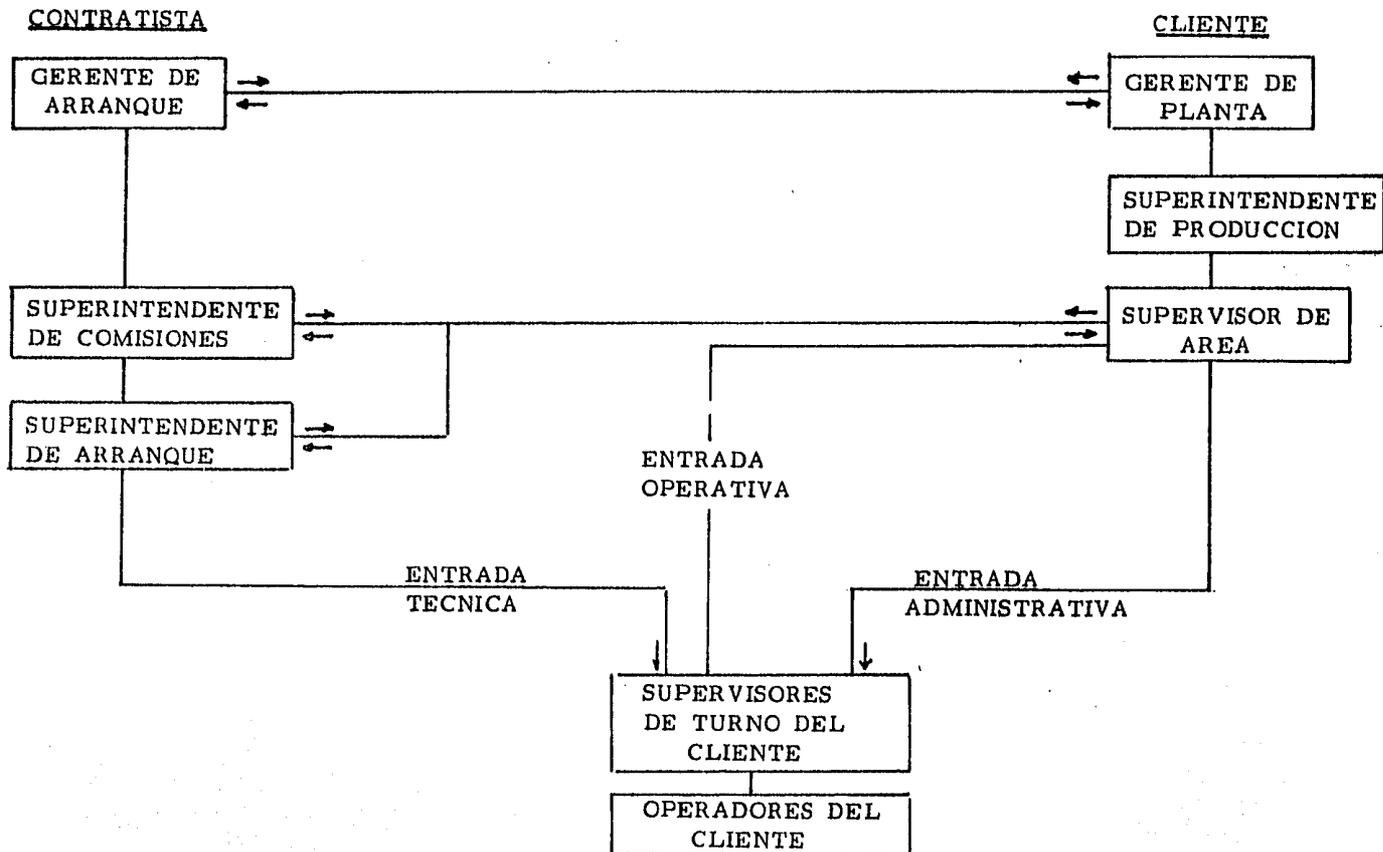


Figura No. 12  
 ORGANIZACION CONTRATISTA - CLIENTE  
 PARA EL ARRANQUE

ción, será esta última la que tendrá la responsabilidad de -  
arrancar y demostrar las instalaciones.

### 3.6.2 Recursos Humanos.

Como se pudo ver en el punto anterior, los principales miembros del equipo de arranque son:

- |                         |   |                     |
|-------------------------|---|---------------------|
| 1. Gerente de Arranque. | } | Líderes del Equipo. |
| 2. Gerente de Proyecto  |   |                     |
| 3. Gerente de Planta    |   |                     |
4. Ingenieros de Proyecto
    - procesos
    - mecánico
    - instrumentista
    - eléctrico.
  5. Personal de Operaciones
    - superintendente de producción
    - supervisor diurno de operaciones
    - supervisor de turno
    - supervisor de control de calidad
    - supervisor de mantenimiento
    - supervisor de ingeniería de planta
    - supervisor de seguridad y medio ambiente
    - operadores

De los puestos anteriores, los de superintendente de producción, de supervisor diurno y de supervisor de turno son los que más directamente están relacionados con la operación de la planta y por tanto las que mayor repercusión llegan a te-

ner en el éxito del arranque. Sin embargo no se deben descuidar otros recursos humanos normalmente subestimados como lo son los de laboratorio, los de almacén y bodegas, y los de seguridad y medio ambiente. Por lo general estas áreas no se consideran prioritarias durante el arranque aún cuando -- tienen una importancia incuestionable en el éxito del mismo.

Con objeto de establecer la cantidad de gente que se requiere es necesario analizar primero la complejidad del proceso (funciones del operador, frecuencia de patrullaje, áreas de atención de tiempo completo, grado de instrumentación, requerimientos gubernamentales, etc.) y las condiciones propias del proyecto (problemas presentados durante construcción, calidad de las instalaciones, problemas potenciales, etc.):

Además, se debe tomar en cuenta que para el arranque se necesita una cobertura adicional de operadores y supervisores de turno que puede oscilar entre una cobertura mínima de:

- doble cobertura en salas de control ó
- dotación especial para operaciones críticas.

hasta una máxima de doble cobertura en todas las áreas.

Las funciones de mantenimiento también requieren de una cobertura mayor a la necesaria durante la operación normal de la planta. Normalmente se debe considerar cobertura doble en este sentido aún cuando para la instrumentación pudiera llegar a ser necesaria aún mayor cobertura dependiendo

do del grado de instrumentación de la planta. El laboratorio de control de calidad necesitará también de mayor atención.

Una vez analizadas las necesidades de personal, - es necesario revisar la situación de la compañía frente al arranque; es decir la fuerza de trabajo que se tendrá en ca da una de las áreas al momento programado para el arranque. De los análisis de personal requerido contra personal dispo nible surgirá la necesidad de personal para el arranque. - Cuando las instalaciones son contruidas en una nueva locali dad, la mayor parte del personal será nuevo y deberá contra tarse con toda anticipación para permitirle un entrenamien to adecuado. Cuando el proyecto sea de ampliación en un -- complejo ya existente, se recurre a transferencias o promo ciones del personal ya trabajando en el complejo. Obviamen te, este último caso permite contar con personal más capaci tado y de mayor experiencia, lo que es de mucha ayuda para el arranque. En cualquiera de los dos casos, es necesario acudir a personal eventual para las sobrecoberturas mencionadas. Esta situación provoca dos problemas básicamente:

- el personal eventual no tiene el grado de entrenamiento y capacidad del personal contratado.
- ¿qué se hará con el personal eventual una vez que se haya alcanzado una operación sin problemas?.

En la tabla No. 2 se muestran algunas de las ca-- racterísticas principales que deben de reunir desde el ge-- rente de arranque (o quien sea nombrado responsable del mis

## GERENTE DE ARRANQUE

- experiencia supervisora
- experiencia operativa
- capacidad de coordinación
- buen planificador
- conocimientos técnicos
- resistencia física
- capacidad de motivación
- buen juicio
- orientación hacia la obtención de resultado
- experiencia en arranques
- habilidades para relacionarse con el personal

## SUPERVISOR DIURNO DE OPERACIONES

- experiencia supervisora
- experiencia operativa
- conocimiento del proceso
- capacidad de decisión
- buen juicio
- sentido de prioridad
- capacidad de trabajar bajo presión
- capacidad de relacionarse con el personal
- experiencia en arranques
- capacidad de comunicación

## supervisor diurno (continuación)

- motivador
- resistencia física
- conciencia de seguridad

## SUPERVISOR DE TURNO

- experiencia supervisora
- experiencia operativa
- capacidad de decisión
- buen juicio
- trabajar bajo presión
- resistencia física
- conciencia de seguridad
- experiencia en arranques
- conocimiento del proceso
- intuición mecánica
- habilidad de capacitación
- actitud positiva
- disposición de colaboración

## SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO

- experiencia supervisora
- experiencia en mantenimiento
- capacidad de coordinación
- altas normas

TABLA No. 2  
CARACTERISTICAS DE LOS PRINCIPALES MIEMBROS  
DEL EQUIPO DE ARRANQUE

**SUPERVISOR DE MANTENIMIENTO**  
**(continuación)**

- resistencia física
- intuición mecánica
- motivador
- conocimientos técnicos
- capacidad de relacionarse con el personal
- disposición de colaboración

**OPERADORES**

- experiencia operativa en plantas de proceso
- resistencia y habilidades físicas
- automotivación
- conciencia de seguridad
- disposición de colaboración
- capacidad de asimilación rápida
- comunicativo
- observador
- habilidad de capacitación

**TABLA No. 2**  
**(continuación)**

mo), hasta los operadores. Como se puede ver, la experiencia es una de las principales características que deben tener los encargados del arranque. De preferencia experiencia con el proceso por arrancar. La experiencia, aún cuando se trate de un proceso nuevo o novedoso, es muy importante pues muchos de los problemas que se presentan en arranques son esencialmente similares de acuerdo a lo explicado en el capítulo anterior. Otras características importantes son la resistencia física, la motivación, la actitud positiva, la capacidad de comunicación, las habilidades para relacionarse y la disposición de colaboración.

La falta de experiencia en el personal operativo puede compensarse en cierto sentido de varias formas. Se puede recurrir por ejemplo a la utilización de un mayor número de operadores y de personal técnico de supervisión. También puede llevarse a cabo un programa de capacitación más prolongado y más profundo con énfasis en los aspectos prácticos. Otras posibilidades son la utilización de procedimientos de operación más detallados o el empleo de una cobertura mayor de la instrumentación (mayor automatización de la planta). La capacitación es un aspecto fundamental que permite minimizar los problemas durante el arranque y será tratada a fondo en el siguiente capítulo.

Cada persona dentro del arranque tiene un nivel de decisión de acuerdo con las características del puesto que ocupa. En la tabla No. 3 se muestran los niveles de de

PUESTO

NIVEL DE DECISION Y  
RESPONSABILIDAD

Gerente del Arranque.

Planeación, dirección, asignación de recursos y responsabilidad total por los resultados. Coordinación y evaluación del progreso.

Supervisor de Area.

Prioridades de 24 horas y planeación y asignación del personal.

Supervisor de Turno.

Prioridades de 8 horas, decisiones de importancia en relación al turno. Dirección de operación hora a hora, decisiones y seguimiento.

Operador principal.

Control y ajuste minuto a minuto.

TABLA No. 3

NIVELES DE DECISION Y RESPONSABILIDAD  
DURANTE EL ARRANQUE.

cisión de los principales involucrados en el arranque.

Existen varios aspectos en las relaciones con los empleados que pueden afectar su trabajo y su rendimiento durante el arranque. Y es que durante esta etapa las condiciones son muy particulares: presión por arrancar y demostrar las instalaciones a tiempo, gran cantidad de problemas por resolver, jornadas largas y extenuantes, etc. Entre estos aspectos se encuentra lo relativo al horario de trabajo. Como ya se mencionó, durante el arranque se requiere que el personal trabaje durante más horas al día y tal vez también durante más días a la semana. Se debe hacer un trabajo de concientización sobre todo con el personal obrero para que esté dispuesto a colaborar en este sentido sin oponerse a trabajar horas extras cuando sea necesario. Sin embargo, tampoco se debe abusar del personal. De preferencia se deben establecer de común acuerdo y desde antes del inicio del arranque el porcentaje máximo de tiempo extra que cada trabajador estará obligado a cumplir si es requerido, así como la distribución equitativa del mismo, y la forma de pago.

Otras situaciones que se pueden presentar con el personal operativo y que afectan su rendimiento son los ascensos y las transferencias (flujo de personal). Si el proyecto consiste en la ampliación de un complejo ya existente, parte del personal seleccionado para la operación de las nuevas instalaciones proviene de transferencias o ascen

sos de otras plantas del mismo complejo. Estas transferencias y ascensos suelen ocasionar envidias entre el personal operativo. Puede suceder que un operador determinado se sienta más capaz que otro que ha sido ascendido a un puesto de mayor responsabilidad (y de mayor sueldo). También es común que los operadores transferidos desde otras áreas traigan consigo mañas y/o prejuicios operativos producto de la forma peculiar de operación de las otras plantas. Esto es más acentuado sobre todo cuando la transferencia ocurre de una planta sofisticada y automatizada a otra donde el proceso por arrancar no es tan automático y el operador deberá desarrollar un esfuerzo físico mayor. En estas circunstancias el operador puede incluso llegar a pensar que ha sido transferido por castigo y que se le está explotando; obviamente, su rendimiento disminuirá bastante.

Pero el principal problema que se puede presentar con todos los empleados (desde el gerente de arranque hasta el operador) es la situación familiar. El arranque implica largas horas de trabajo que crean una pérdida de contacto familiar. La vida normal de los involucrados en el arranque cambia totalmente y aparentemente no se obtiene una recompensa inmediata por ello. Las actividades sociales son totalmente interrumpidas durante semanas y tal vez durante meses. El trabajo es tan extenuante que consume todas las energías de los empleados y éstos pierden interés en todo lo demás. Todo esto puede llegar a provocar una situación familiar de-

masiado tensa que en cualquier momento puede estallar. Para evitar estas situaciones que repercuten muy gravemente - en el desempeño de los empleados se debe concientizar desde antes a las familias sobre las cargas de trabajo y las responsabilidades del arranque, presentando a éste como un reto que requiere del apoyo familiar. También es conveniente contar con personal suficiente de tal forma de evitar horarios muy largos y de poder otorgar periódicamente licencias a fin de mantener el contacto familiar.

Debido a las características propias del arranque, no es raro que la moral de las participantes se vea afectada. Esto también repercute seriamente en su rendimiento. El deterioro de la moral es fácilmente reconocible. Se presentan situaciones como las siguientes:

- solicitudes de transferencia.
- comentarios fuera de la planta.
- reducción en el buen humor.
- se presentan incidentes de seguridad.
- ausentismo en juntas y reuniones.
- se eluden las decisiones.
- aumentan las quejas en general.
- se detecta una falta de colaboración del personal operativo.

Con objeto de mantener y elevar la moral del personal es necesario crear una atmósfera de plena participación en la que todo mundo se sienta directamente involucra-

do en conseguir las metas trazadas. Se debe tener una actitud positiva hacia los problemas que se van presentando y hacia los errores cometidos. Todo mundo debe ser tomado en cuenta y a todos se les debe dar su jerarquía propia dejando que cada quien tome las decisiones que están a su nivel. Se debe presentar el arranque como una gran oportunidad que implica un reto y un desafío por vencer. También se debe dar un reconocimiento público al desempeño del grupo cuando el trabajo ha sido desarrollado adecuadamente. Lo importante es que nunca se pierda el interés en hacer las cosas de acuerdo con los planes. Se deben evitar tomar actitudes personales para resolver una situación, sobrecargar de trabajo al personal, hacer críticas destructivas de los errores cometidos, tratar desigualmente a los empleados, etc. Para involucrar al personal es conveniente buscar que la gente presente soluciones potenciales cuando se llega a presentar algún problema. De ser posible, se recomienda aceptar dichas soluciones propuestas con tanta frecuencia como sea posible dando siempre el crédito correspondiente al autor de la iniciativa.

Sin embargo, hay que tener cuidado en que las propuestas provengan de personal calificado para hacerlo (principalmente que tenga experiencia) y que las soluciones hayan sido en verdad bien pensadas y no únicamente producto de una intuición.

### 3.6.3 Comunicaciones, juntas y reuniones.

La comunicación durante el arranque debe ser total. Todos los relacionados con el arranque deben conocer no solo el qué, sino también el cuándo y el porqué (en la mayoría de los casos ellos establecen el cómo). El gerente del arranque es en cierto modo el punto en el que se centraliza la comunicación. Por una parte, él debe comunicar los resultados que se han estado obteniendo a los directivos de la empresa, mientras que por otra parte el debe ser informado por sus subordinados de todo lo que está sucediendo.

Las operaciones iniciales de una planta son en muchos sentidos impredecibles y se presentan muchos problemas. Esto origina la necesidad de modificar continuamente los planes y programas originales. Estos cambios deben ser notificados lo más rápido posible a todos los involucrados con objeto de que éstos ajusten a su vez sus propios planes de trabajo. En este sentido podemos distinguir dos tipos de planes principalmente: los de largo plazo (pretenden planear actividades para las próximas semanas e incluso para los próximos meses), y los de corto plazo (pretendan planear actividades para los próximos días). Para la comunicación de los planes a largo plazo es muy conveniente la utilización de los diagramas de barras ya explicados en el segundo capítulo. Estos diagramas son muy generales y dan una idea de las actividades globales que han de realizarse en el futuro. Para la comunicación de planes inmediatos es

común el empleo de memorandos y bitácoras; en todo caso, la información debe estar lo más completa y clara que sea posible. Las bitácoras como medio de comunicación son muy empleadas durante los arranques; sin embargo, en muchos casos la información anotada en ellas está incompleta. Es común que se anote por ejemplo la falla ó descompostura de un --- equipo pero no se indique la causa que originó dicha falla.

El gerente del arranque debe insistir en la importancia de la comunicación clara, total, y completa no sólo en línea vertical (gerente de arranque  $\longleftrightarrow$  superintendente de producción, supervisor diurno  $\longleftrightarrow$  supervisor de turno  $\longleftrightarrow$  operadores), sino también en línea horizontal (por ejemplo, supervisor diurno  $\longleftrightarrow$  supervisor de mantenimiento  $\longleftrightarrow$  supervisor de control de calidad, etc.)

Otra forma de lograr una buena comunicación es a través de la programación de juntas y reuniones entre los involucrados. Las juntas para tratar asuntos relativos al arranque pueden convocarse a partir de que esté a punto de terminarse la ejecución de instalaciones. La frecuencia -- de la programación dependerá de las condiciones específi---cas de cada caso, pero es recomendable llevar a cabo al menos una por semana. Se debe establecer desde un inicio las personas que deberán estar presentes en las juntas así como la hora de reunión. No es conveniente la presencia de una gran cantidad de gente en las juntas pues el contacto perso

nal disminuye y se corre el peligro de divagar en puntos no contemplados dentro de la agenda de la junta. Es recomendable fijar la hora de reunión después de 45 minutos o una hora de haberse iniciado el segundo turno; de esta forma, podrán estar presentes tanto las gentes del primero como del segundo turno. Los objetivos de la junta deberán establecerse también desde antes con objeto de que la gente no divague y se aproveche lo más posible el tiempo. Una vez terminada la junta se debe redactar la minuta de la misma y se deberá enviar a los involucrados a la brevedad posible con objeto de tener una buena comunicación.

Fuente de ProblemasRecomendaciones

- |  |  |
|--|--|
| 1. Desarrollo de la Ingeniería                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>- personal con experiencia.</li> <li>- continuidad de personal.</li> <li>- participación de los grupos de arranque y de operaciones en las revisiones.</li> <li>- programa realista.</li> <li>- comunicación rápida de cambios y modificaciones.</li> </ul>   |
| 2. Adquisición, fabricación y manejo de equipo y materiales. | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selección imparcial de proveedores.</li> <li>- buscar flexibilidad y facilidad de operación.</li> <li>- proveedor debe garantizar servicio.</li> <li>- inspección durante la fabricación para garantizar calidad.</li> <li>- protección y mantenimiento al equipo durante el almacenamiento.</li> <li>- supervisar transporte de equipo.</li> </ul> |

TABLA No. 4

3. Negociaciones Contractuales. a) Contratistas.
- Concurso y selección de -  
contratista en base a ex-  
periencia de trabajo pre-  
via, recursos humanos y -  
técnicos, etc.
  - verificar previamente la  
capacidad, integridad y  
calidad del contratista.
  - mantener buenas relacio--  
nes con contratista.
- b) Procuración de Materias  
Primas.
- Verificar calidad, canti-  
dad y continuidad de espe-  
cificaciones de proveedo-  
res.
  - Contar con fuentes alter-  
nas de suministro.

TABLA No. 4

RESUMEN DE FUENTES DE PROBLEMAS.

(Continuación)

4. Mano de Obra de Construcción - definir con anticipación la cantidad y calidad de Mano de Obra Requerida.
- minimizar en lo posible los cambios y modificaciones al momento de ejecutar las instalaciones.
  - motivar al personal y -- mantener la moral elevada.
  - inspección y supervisión por gente experimentada tanto del contratista como del propietario.
5. Estimación de Costo.
- estimación de costo realista sin tratar de justificar el proyecto.
  - utilizar personal con experiencia.
  - tomar en cuenta rastreo de costos históricos, inflación y contingencias.
6. Desempeño del Equipo de Arranque.
- establecer con anticipación el organigrama, res

TABLA No. 4

RESUMEN DE FUENTES DE PROBLEMAS.

(Continuación).

- ponsabilidades y líneas de mando que aplicarán durante el arranque.
- trazar las metas a conseguir durante el arranque.
  - establecer los requerimientos de recursos humanos (operativos, de laboratorio, de mantenimiento, de tráfico interno) con anticipación y darles entrenamiento y capacitación.
  - buscar que el equipo de arranque cuente con las siguientes características: experiencia, resistencia física, motivación, actitud positiva y disposición de colaborar, principalmente.
  - mantener moral elevada.

## TABLA No. 4

## RESUMEN DE FUENTES DE PROBLEMAS.

(Continuación).

- prevenir problemas laborales y de tipo personal: horas extras, transferencias, situación familiar, etc.
- buscar comunicación efectiva, total y rápida.

## TABLA No. 4

## RESUMEN DE FUENTES DE PROBLEMAS.

(Continuación).

4. PREVENCIÓN Y MINIMIZACIÓN DE PROBLEMAS.

4.1. Selección y entrenamiento de operadores.

4.2. Centros de Información.

4.3. Verificación, Limpieza y Pruebas de Instalaciones.

4.4. Planeación.

En el capítulo anterior se trataron las principales fuentes de problemas. Lógicamente, atacar dichas fuentes de la manera ya discutida es una forma de prevenir y minimizar problemas durante el arranque. Existen también --- otros aspectos que ayudan en su minimización. El objetivo de este capítulo es precisamente discutir esos otros medios con que el ingeniero de arranque cuenta para poder prevenir y minimizar problemas en la tarea que le ha sido encomendada. Probablemente existan muchas otras formas de prevención de problemas, sin embargo en lo que sigue se tratarán aquellas que se pueden considerar como las más importantes.

#### 4.1. SELECCION Y ENTRENAMIENTO DE OPERADORES

La selección y entrenamiento del personal operativo y de mantenimiento es muy importante sobre todo en la actualidad dada la complejidad de los procesos. Una buena selección y entrenamiento permiten tener personal altamente capacitado que es de mucha ayuda en la solución de problemas pero por sobre todo en disminuir la ocurrencia de problemas debidos a la operación inadecuada del proceso y de los equipos.

Una planta con instrumentación sofisticada requiere de menos personal para su operación, pero dicho personal deberá estar a su vez perfectamente entrenado y capacitado. De igual manera, el contar con un equipo de mantenimiento altamente capacitado permite mantener la planta en operación con un tiempo de paro para mantenimiento nulo o al me-

nos mínimo. Esto es aún más importante cuando la planta -- cuenta con poco equipo en "stand-by". Al igual que los operadores deben de conocer el equipo y sus limitaciones, el personal de mantenimiento también debe estar familiarizado con el proceso y sus limitantes.

Entre las metas que se persiguen con el entrenamiento del personal está la creación de un equipo de trabajo. El programa de entrenamiento puede diseñarse de tal -- forma de maximizar el contacto entre operadores, supervisores e ingenieros. El objetivo de este contacto personal es ganar un respeto mutuo fundamental para disminuir roces personales. Es recomendable también que durante el entrenamiento se enfatice el sentido de colaboración que deben poseer todos los miembros del equipo.

#### 4.1.1. Reclutamiento y Selección.

La fecha de inicio de las labores de reclutamiento y selección es muy importante desde el punto de vista -- económico. La gente debe ser contratada con el tiempo suficiente para permitirle un buen entrenamiento. Si es contratada con mucha anticipación, entonces los gastos por concepto de sueldos se vuelven muy elevados y atentan contra la -- rentabilidad del proyecto aún antes de que la planta sea -- arrancada. En algunas ocasiones suele llevarse a cabo una contratación escalada es decir, se contrata inicialmente a un porcentaje determinado del personal y después poco a poco se van llenando las demás vacantes. De esta forma se le

dá un entrenamiento más completo al personal que de acuerdo con sus puestos así lo requiera, sin que el impacto económico sea muy elevado.

Después de determinar la fecha de inicio, se deben establecer las fuentes para el reclutamiento de personal las cuales estarán en función de los niveles de experiencia educativa e industrial que se requieran para la operación de las instalaciones. Las principales fuentes de reclutamiento son:

- transferencias de personal de otras instalaciones de la compañía. Las transferencias pueden ser también dentro de un mismo complejo de plantas cuando el proyecto es de expansión de dicho complejo.
- reclutamiento en la zona donde se localizará la planta.
- contratación de personal especializado dondequiera que éste se encuentre.

La primera y tercera opciones permiten la contratación de personal más calificado y con mayor experiencia. La experiencia y calidad del personal contratado a través de la segunda opción dependerán principalmente del nivel educativo de la zona (área rural, ciudad, capital de Estado, etc.) y del nivel de industrialización de la misma (ciudad industrial, corredor industrial, polo de desarrollo, etc.). De ser posible, la opción más recomendable es la transferencia interna de personal pues de esta forma la gente cuenta ya con experiencia industrial y sobre todo conoce

a fondo la forma de trabajo y organización interna de la compañía; además, al momento de hacer la selección, se tiene -- más certeza acerca de su capacidad real y de sus limitacio-- nes y problemas potenciales (se conoce de antemano cuando -- una gente es problemática con situaciones de insubordina---- ción, ausentismo, falta de colaboración, etc.).

Una vez que se cuenta con una lista de candidatos a ocupar las distintas plazas, se hace la selección final, la cual estará en función de varios factores entre los que encontramos:

- nivel educativo.
- experiencia industrial.
- edad.
- capacidad física.
- habilidades mecánicas.

Con objeto de analizar los puntos anteriores se -- llevan a cabo exámenes (de conocimientos, psicométricos y médicos) y entrevistas. Con los resultados de dichos exámenes se hace la selección final de los candidatos que serán con-- tratados.

Desde que se inician las labores de reclutamiento se deben establecer también los niveles de salarios y la forma de pago de los mismos en función del puesto. Es importante que los niveles de salarios estén acordes con los niveles dentro del mismo complejo y dentro de la zona industrial en que se localice la planta. Estos niveles estarán en función

de las habilidades, destreza, conocimientos, esfuerzo físico y responsabilidad de cada puesto. Si los salarios que se -- ofrecen son bajos en comparación con los de la zona es lógico esperar que la calidad de la mano de obra en términos generales sea también baja.

#### 4.1.2. Entrenamiento y Capacitación.

El principal objetivo que se persigue con el entrenamiento es desarrollar un grupo operativo capaz de lograr - un arranque eficiente con el mínimo posible de errores. Se deben establecer programas de entrenamiento no sólo para el personal operativo, sino también para el personal del laboratorio.

Desde antes del inicio del entrenamiento se deben planear varios aspectos:

- seleccionar a los instructores. Por lo general, los ingenieros en turno (ver inciso 3.6 del capítulo anterior) o algún otro miembro del equipo de arranque son escogidos para - dar el entrenamiento. Estos al igual que todo el grupo de -- arranque pasan también por un período de entrenamiento en el cual deben revisar a fondo los procedimientos de operación y los problemas potenciales.
- escoger las instalaciones donde se llevará a cabo el entrenamiento.
- preparar materiales, audiovisuales, maquetas, etc. que serán usados en la capacitación.
- organizar programas de capacitación de proveedores en la -

planta y en los talleres del proveedor. Esto es importante sobre todo cuando el equipo es sofisticado o complicado.

#### 4.1.2.1. Entrenamiento del Personal Operativo.

En la tabla No. 5 se muestran las principales actividades que conforman un programa de entrenamiento del personal operativo. Para que el programa esté completo, se deben incluir además de las actividades, el material didáctico, el instructor, la duración de la sesión y la fecha programada para cada actividad.

Dentro de la Introducción y Generalidades se deben incluir principios físicos y químicos básicos así como terminología común que permitan al operador entender mejor el proceso. Se puede ver también que la seguridad se enfatiza mucho, y es que como ya se explicó, durante el arranque se pueden presentar situaciones muy riesgosas. En el punto 6 d de la tabla No. 4 se indican los Procedimientos de Emergencia como parte de la operación del área de proceso. Estos procedimientos incluyen las acciones que se deben tomar ante las siguientes situaciones que pueden llegar a presentarse:

- Falla de Energía Eléctrica.
- Pérdida de aire en los instrumentos.
- Falla de vapor.
- Pérdida de abastecimiento de combustible.
- Falla de agua de enfriamiento.
- Incendio.

1. INTRODUCCION Y GENERALIDADES
2. DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO
  - a) Ley-out
  - b) Diagramas de Proceso
  - c) Diagramas de Ingeniería
  - d) Servicios
3. DESCRIPCION DE EQUIPOS
  - a) Almacenamiento de Materias Primas
  - b) Proceso
  - c) Almacenamiento de Producto Terminado
  - d) Servicios
4. DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACION Y SISTEMAS DE CONTROL
5. OPERACION DEL AREA DE DESCARGA Y ALMACENAMIENTO DE MATERIAS PRIMAS
  - a) Descarga de Materiales
  - b) Determinación de Consumo y Existencia de Materiales
  - c) Transferencia de Materiales a la Planta
6. OPERACION DEL AREA DE SERVICIOS AUXILIARES
7. OPERACION DEL AREA DE PROCESO
  - a) Descripción del Proceso
  - b) Arranque y Paro
  - c) Operación Normal
  - d) Procedimientos de Emergencia
8. VISITAS CONTINUAS A LA PLANTA
9. VARIOS
  - a) Conocimiento de la organización de la Compañía
  - b) Conocimiento de la organización del Equipo de Arranque
  - c) Conocimiento de la organización de la Planta
  - d) Políticas generales de la Empresa
  - e) Presentación con los grupos internos con que tendrá contacto y medios para lograrlo
    - Tráfico interno
    - Laboratorio de Control de Calidad
    - Mantenimiento
10. SEGURIDAD
  - a) Políticas y programas de Seguridad
  - b) Accidentes: costos, causas, tipos y prevención
  - c) Equipo de Protección Personal: características, uso y mantenimiento

TABLA No. 5  
 ACTIVIDADES DE UN PROGRAMA  
 DE ENTRENAMIENTO DE OPERADORES

- d) Manejo, riesgos e identificación de los materiales a manejar
- e) Prevención y combate de incendios
- f) Procedimientos Básicos de Seguridad
  - permisos de fuego
  - bloqueo de equipo
  - entrada a tanques
  - trabajos en alturas
- g) Primeros auxilios
  - heridas y hemorragias
  - respiración artificial
  - fracturas
  - shock
  - quemaduras
  - envenenamiento
  - transporte de lesionado

TABLA No. 5  
(Continuación)

- Fugas y derrames.
- Disparo de reacción.
- Abertura de válvulas de seguridad, etc.

La parte fundamental del entrenamiento debe ser lo relativo a la revisión de las instrucciones específicas de operación de la Planta tanto para la operación normal como para el arranque y paro. El principal material empleado en este punto es el Manual de Operación de la Planta que a su vez está integrado por los diferentes "Procedimientos Tentativos de Operación" de cada área, En el inciso 4.3 se tratará a detalle la integración de este Manual de Operación, el cual deberá ser revisado, analizado, comprendido y discutido a profundidad con los operadores de tal forma que ellos sepan que es lo que deben hacer, así como cuando y como lo deben hacer.

El entrenamiento debe ser complementado con visitas continuas a las instalaciones. Estas visitas tienen por objeto que el personal se vaya familiarizando con la Planta y que compruebe físicamente lo que ha revisado a través de planos y maquetas. El operador comprobará que las válvulas y bombas se encuentran donde deben encontrarse, y que las primeras se encuentran a un nivel operable. Es recomendable que los operadores recorran todas las instalaciones con la ayuda de los planos de las mismas. Esto servirá para aumentar el conocimiento de los operadores sobre la Planta, así como para verificar que las instalaciones se en

cuentran de acuerdo a lo especificado en los planos y sobre todo que éstas sean operables.

Aparte del recorrido de las instalaciones y como parte del entrenamiento, se lleva a cabo una simulación del proceso con agua o algún otro fluido que no sea el de proceso. En esta simulación, los operadores estarán operando la planta por primera vez pero no con los fluidos de proceso. En algunas ocasiones, sin embargo, no es posible llevar a cabo esta simulación por las condiciones mismas de la Planta o del proceso. Los objetivos principales que se persiguen con esta simulación son:

- practicar y revisar los procedimientos de arranque, paro y operación normal.
- checar los sistemas de control.
- checar los sistemas de alarma.
- permitir que los operadores ganen algo de experiencia en el proceso.
- checar en general todas las instalaciones (fugas, equipo rotatorio, control eléctrico del equipo, etc.).

Es conveniente no apresurar demasiado esta actividad de simulación, permitiendo que los operadores pierdan parte del miedo natural que tienen ante lo desconocido y --salgan a la luz (cuando aún hay tiempo de hacer algo) todas aquellas deficiencias y fallas de las instalaciones. Esto ayudará a disminuir los problemas durante el arranque minimizando las posibles sorpresas que se pudieran presentar.

#### 4.1.2.2. Entrenamiento del Personal del Laboratorio.

Simultáneamente al entrenamiento del Personal Operativo, se debe desarrollar un programa similar con el personal del Laboratorio de Control de Calidad. En la Tabla No. 6 se muestran los principales puntos que se deben tratar dentro de este programa.

Con objeto de practicar los métodos analíticos, se hacen pruebas con muestras patrón hasta que la técnica sea dominada por todos los miembros del equipo de control de calidad. También se debe concientizar a los laboratoristas sobre los máximos tiempos de análisis permisibles para una muestra determinada sobre todo en muestras tomadas para el control y evaluación de las corrientes de proceso durante el arranque. Es importante que la gente del laboratorio se considere también como una parte importante del grupo de arranque y que acepte el reto que éste representa.

#### 4.1.2.3. Entrenamiento del Personal de Mantenimiento.

El objetivo que se persigue es desarrollar un grupo de mantenimiento capaz de optimizar y mejorar la confiabilidad, disponibilidad, y funcionamiento de los equipos de la Planta de tal forma que los tiempos de paro por mantenimiento sean mínimos.

Al igual que el personal operativo, el personal de mantenimiento recorrerá y revisará las instalaciones con ayuda de los planos. El personal que forma parte del Departamento de Mantenimiento por lo general ya tiene experiencia -

PUNTOS A TRATAR DENTRO DEL ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.

1. Información sobre las propiedades físicas y químicas, tanto de materias primas, como de productos intermedios y finales.
2. Capacitación sobre procedimientos analíticos, frecuencias y técnicas de muestreo.
3. Descripción del proceso e importancia del muestreo.
4. Rangos de especificaciones tanto de materias primas como de producto terminado.
5. Factores que afectan la calidad del producto.
6. Usos y aplicaciones del producto.
7. Clientes más importantes y Rangos de especificaciones por cliente.
8. Seguridad en el manejo de las sustancias en el laboratorio.

TABLA No. 6

ENTRENAMIENTO DEL PERSONAL DE LABORATORIO

previa y conoce bien las partes fundamentales de los equipos. El entrenamiento por tanto trata principalmente los puntos mencionados en la Tabla No. 7.

Es conveniente que el personal de mantenimiento colabore en la lubricación de equipos previa al inicio de las pruebas. De esta forma, se acelera su familiarización con la Planta y se logra que la gente de mantenimiento se sienta una parte integral del grupo de arranque.

Una parte importante del grupo de mantenimiento lo es el personal especialista en instrumentación sobre todo -- considerando el grado de automatización y de dependencia en la instrumentación de las plantas modernas. Los instrumen--tistas contratados para las nuevas instalaciones ya deben tener experiencia previa y como parte de su capacitación deberán revisar y estudiar toda la información de los manuales -- del fabricante, diagramas de ingeniería, circuitos de con---trol, planos de instalación y localización de instrumentos, etc. También deberán conocer y entender más a fondo el proceso, sus limitaciones y sobre todo su control. Es muy recomendable que como parte de su entrenamiento, este personal -- lleve a cabo la calibración final de todos los instrumentos de tal forma que se familiaricen completamente con los mis--mos y con la planta en general antes del inicio del arranque.

#### 4.2. CENTROS DE INFORMACION

El contar con un centro de información adecuado es fundamental en un arranque exitoso ya que permite la consul-

1. Descripción del proceso y sus limitaciones.
2. Programas de mantenimiento preventivo, detallando la frecuencia de inspección y lubricación de los equipos, y enfatizando aquellos equipos que por rutina deben inspeccionarse durante cada paro.
3. Procedimientos de mantenimiento específicos, enfatizando sobre todo las reglas de seguridad que se deben seguir al dar mantenimiento a un equipo determinado, y detallando el equipo auxiliar necesario.
4. Procedimientos para desmontar, dismantelar y reparar equipos especiales.
5. Cursos específicos de mantenimiento de algún equipo muy sofisticado o especial. Si es posible, el proveedor del equipo debe dar estos cursos.

TABLA No. 7

PUNTOS A TRATAR DENTRO DEL ENTRENAMIENTO DEL  
PERSONAL DE MANTENIMIENTO.

ta rápida de todo tipo de información con objeto de anticipar y resolver problemas. El centro de información puede ser tan sencillo como una serie de archivos o bien tan elaborado como un sistema de información por computadora.

Este centro deberá estar accesible para todo el personal autorizado del grupo de arranque todos los días de la semana durante las 24 horas del día. Normalmente, tendrán acceso directo a dicho centro todo el personal desde el gerente del arranque hasta los ingenieros de turno (ver organigramas del capítulo No. 3). Si algún otro miembro necesita consultar la información deberá solicitar la autorización correspondiente. Esto es con objeto de guardar la confidencialidad de la información sobre todo en procesos nuevos o desarrollados por la propia compañía. Se debe cuidar que en cada turno se encuentra presente al menos una persona con acceso directo al centro de forma que se pueda acudir a él cuando se presente algún problema o alguna duda. Se debe enfatizar en la importancia de mantener el centro perfectamente organizado de tal forma que sea sencillo localizar en él la información requerida. Para conseguir esto, el personal que acuda a él deberá regresar a su lugar correspondiente y a la brevedad posible todo el material que haya consultado. De ser posible, se puede utilizar un sistema de "vales" para controlar toda la información que se encuentre fuera de su lugar o prestada.

La preparación y formación del Centro de Informa

ción se debe iniciar desde los inicios del mismo proyecto. Esto es con objeto de ir incorporando poco a poco y con la debida calma toda la información que se va generando durante la vida del proyecto y que ésta no se pierda o se traspapele. Un poco antes del inicio del arranque el Centro deberá estar ya casi completo y perfectamente organizado, y todo el personal del grupo de arranque deberá conocer y entender la forma en que está estructurado y la información que en términos generales contiene.

A continuación se revisan los principales archivos que integran el Centro de Información. (10)

#### 4.2.1. Manual de Diseño Básico del Proyecto.

En términos generales contiene los procedimientos generales empleados en el diseño de ingeniería de la planta. Contiene los estándares empleados en el diseño de recipientes, tubería, intercambiadores, equipo eléctrico, instrumentación y estructuras.

También contiene las bases de diseño del proceso tales como las premisas consideradas para la capacidad de

(10) Gans, M., " The A to Z of Plant Startup ", Chemical Engineering, Mzo. 15, 1976, pp. 74-75.

diseño de la planta, temperaturas de agua de enfriamiento, presión del vapor de calentamiento, voltaje eléctrico, clasificación eléctrica de áreas, requerimientos de espacio y edificio, especificaciones y propiedades de materias primas y producto terminado, tratamiento de desperdicios, dispositivos de seguridad, etc.

#### 4.2.2. Manual del Proceso.

Contiene la descripción detallada del proceso, incluyendo las zonas de almacenamiento de materia prima y producto terminado. Contiene también la descripción de los sistemas de control y de las variables de proceso así como el impacto de las mismas en el funcionamiento de la planta. Se deben incluir también los balances de materia y energía para todas las secciones de la Planta así como los distintos Diagramas de Flujo, y los consumos y rendimientos de materias primas, servicios y catalizadores.

#### 4.2.3. Manual de Ingeniería.

Contiene los siguientes puntos:

- lista de equipos.
- cálculo y especificaciones de equipos. Deben incluirse el número del equipo según aparece en los diagramas, el número de orden de compra, la dirección y nombre del proveedor, etc. En términos generales se deben anexar todos aquellos documentos relacionados con cada equipo, desde las hojas de especificación hasta los dibujos aprobados por el fabricante, y las pruebas realizadas a cada equipo

antes del arranque. También es importante que se cuente -- con todos los datos del fabricante y/o proveedor para facilitar el contacto con éste en caso de ser requerido para el arranque o para alguna consulta o asesoría.

- lista de instrumentos.

- especificaciones de instrumentos. Se deben incluir todos los puntos comentados para las especificaciones de equipos. Es importante contar con toda la información técnica y catálogos proporcionados por el fabricante para cada instrumento.

- diagramas de ingeniería para todas las secciones de la -- Planta.

- especificaciones de aislamiento para equipos y tuberías.

- descripción y especificación de los sistemas y dispositivos de seguridad.

- lay-out de la Planta, incluyendo una discusión del mismo y del arreglo de los equipos. Contiene también los plot-plans del complejo y los estudios de trayectorias de tuberías.

#### 4.2.4. Manual de Procedimientos de Análisis.

Contiene todos los procedimientos detallados para el análisis de materias primas, productos terminados e intermedios, y corrientes de proceso. Es de mucha importancia tanto para el control del proceso como para el control de la calidad del producto terminado.

#### 4.2.5. Manual de Procedimientos de Cálculo.

Contiene las formas y los formatos que serán usados durante el arranque y la operación normal de la planta para obtener la información requerida que permita evaluar el funcionamiento, producción y rendimientos de la Planta. Estos formatos deberán estar listos desde antes del inicio del entrenamiento de operadores y del inicio de las pruebas y operaciones simuladas. De esta forma, el personal se va familiarizando con el empleo de los formatos y se pueden hacer comparaciones entre los datos obtenidos en las pruebas y en la operación real de la Planta; asimismo, se puede comprobar la efectividad y las deficiencias que pudieran tener dichas formas.

Los procedimientos de cálculo para evaluar el funcionamiento de las instalaciones deben desarrollarse con anticipación al arranque. De ser posible se recomienda el empleo de formatos con tal fin. El procedimientos de cálculo debe tener las siguientes características:

- que sea rápido, es decir, que permita evaluar el funcionamiento de la Planta en unas cuantas horas.
- que esté estructurado de tal forma (ecuaciones, conocimientos requeridos, habilidades, etc.) que cualquier ingeniero competente pueda dominarlo después de unos cuantos días.
- que permita hacer cálculos periódicos y continuos. Algunos métodos pueden implicar la necesidad de acumular una --

gran cantidad de información durante varios días para poder hacer los cálculos. Esto afecta considerablemente la continuidad en la evaluación de resultados sobre todo durante el arranque.

#### 4.2.6. Archivos de Mantenimiento.

Aún cuando no forman una parte integral del Centro de Información, es conveniente que el Departamento de Mantenimiento tenga listos sus archivos desde antes del inicio del arranque. Esto permitirá tener un mejor servicio de mantenimiento de la Planta durante el arranque. Entre los archivos más importantes que debe integrar el Departamento de Mantenimiento se encuentran:

- Diagramas de Flujo y de Ingeniería, especificaciones de equipos, órdenes de compra, especificaciones de tubería, aislamiento, estructuras, etc. Es común que esta información se encuentre clasificada o catalogada por secciones de la Planta o por equipos en específico.
- Catálogo e información técnica de los proveedores (también catalogados por secciones).
- Listas de refacciones recomendadas por equipo o por tipo de equipo para así minimizar el número de refacciones por comprar. Se debe incluir el precio y el proveedor o proveedores recomendados.
- Archivo de las instrucciones de mantenimiento específicas para determinados equipos, así como de los requerimientos de mantenimiento preventivo para cada uno de los equi-

pos de la Planta. Se debe incluir la carta de lubricación elaborada a partir de las recomendaciones de los proveedores.

#### 4.2.7. Manual de Arranque y Demostración.

Debe ser elaborado con toda anticipación pues en él se establecen los puntos más relevantes que deberán llevarse a cabo durante el arranque. Es un documento que debe conocer a fondo todo el equipo de arranque y que incluye los siguientes puntos (ver tabla No. 8):

- Objetivos que se pretende con el arranque en lo relativo a calidad, capacidad, rendimientos, eficiencia de operación y seguridad. Esto es muy importante pues establece hacia donde se deben dirigir los esfuerzos del grupo de arranque.

- Responsabilidades y Organización. Delimita niveles de decisión y obligaciones de todos los involucrados.

- Actividades Previas al Arranque. Describe las actividades de pruebas, limpieza y verificación de instalaciones que deben llevarse a cabo como requisito previo al arranque.

- Requerimientos para el arranque. Establece las necesidades de mano de obra, materias primas y equipo auxiliar para el arranque.

- Actividades del arranque. Describe la estrategia de arranque y hace referencia a los procedimientos de arranque que se pretende seguir.

1. OBJETIVOS.
2. RESPONSABILIDADES Y ORGANIZACION.
3. ACTIVIDADES PREVIAS AL ARRANQUE.
4. REQUERIMIENTOS PARA EL ARRANQUE.
5. ACTIVIDADES DEL ARRANQUE.
6. DEMOSTRACION.

TABLA No. 8  
ELEMENTOS DE UN  
MANUAL DE ARRANQUE Y DEMOSTRACION.

- Demostración. Establece las guías para la aceptación mecánica de las instalaciones y para la aceptación del proceso por parte del grupo operativo.

Como se puede observar este es un documento clave para el arranque, y todos los involucrados en él deben revisarlo, entenderlo, y aceptar los compromisos y responsabilidad que en él se establecen.

#### 4.2.8. Manual de Operación.

El Manual de Operación de la Planta es indispensable para tener éxito en el arranque y en la operación normal de la misma. Básicamente, este Manual describe la forma de operar la Planta y por lo general es la herramienta fundamental utilizada en el entrenamiento del personal.

La información contenida en este Manual debe redactarse de la forma más clara y precisa posible, y debe estar ordenada en una secuencia lógica de manera que el acceso a él sea rápido y fácil. En su redacción no debe haber lugar para imprecisiones y ambigüedades. El arranque y operación normal de una planta son situaciones delicadas que traen consigo cierto nivel de riesgo y por tanto no admiten dichas imprecisiones. Para su elaboración, hay que tomar en cuenta también que entre los lectores de este Manual se encuentran los operadores. Por tanto, el lenguaje y los tecnicismos deberán estar al nivel de éstos últimos y de ser posible se deberán anexar dibujos, diagramas y fotografías. El formato del Manual también deberá estar estructu-

rado de tal forma que se facilitan las revisiones y modificaciones del mismo a medida que el conocimiento del proceso sea más profundo y vayan surgiendo modificaciones y cambios en las instalaciones y en la forma de operarlas.

En la Tabla No. 9 se muestran las partes características de un Manual de Operación:

- En la descripción del Proceso se deben cubrir los objetivos básicos de la Planta y se deben discutir las etapas en que se puede dividir el proceso. Se enlistan también las propiedades físicas, químicas, y especificaciones de todos los materiales. También deben describirse la instrumentación y los controles que tiene la Planta. Se deben incluir los Diagramas de Flujo y de Ingeniería. Se incluyen también los problemas potenciales que se pueden llegar a presentar (problemas de contaminación, de tratamiento de desechos, de corrosión, etc.).

- En el punto de Seguridad se deben definir todos los peligros y riesgos que pueden resultar de la operación del equipo o del manejo de los materiales. Cualquier riesgo de toxicidad, fuego o explosión debe ser mencionado. Se delinean los métodos y sistemas de protección al personal y a las instalaciones. También es conveniente incluir los procedimientos de primeros auxilios en casos de accidentes personales.

- Dentro de las actividades previas al arranque se deben describir los métodos y procedimientos para la limpieza y -

1. INTRODUCCION
2. DESCRIPCION DEL PROCESO
  - Resumen
  - Propiedades y Especificaciones de Materiales
  - Descripción Detallada de cada una de las partes del proceso
  - Instrumentación y controles
  - Tratamiento de deshechos y contaminación
  - Materiales de Construcción
  - Subproductos y rendimientos
  - Diagramas de Proceso y de Ingeniería
  - Condiciones de Proceso
3. SEGURIDAD
  - Riesgos y Peligros
  - Equipo de Protección y Sistemas de Seguridad
4. ACTIVIDADES PREVIAS AL ARRANQUE
  - Limpieza y pruebas hidrostáticas
  - Revisiones mecánicas
  - Lubricación
  - Secado y/o purgas
5. PROCEDIMIENTOS TENTATIVOS DE OPERACION
  - Seguridad
  - Operación
  - Problemas de Operación
  - Precauciones y Recomendaciones
6. DESCRIPCION DEL EQUIPO DE PROCESO
  - Tipos de Equipos
  - Características de Operación
  - Inspecciones
  - Aspectos de Mantenimiento
7. VARIOS

purga de tuberías y equipo. También se aclaran las pruebas y revisiones que se deben hacer a bombas, motores, compresores y en general a todo el equipo mecánico, eléctrico, y a la instrumentación. La carga y preparación del catalizador pueden incluirse en esta sección o en la que sigue.

- Los Procedimientos Tentativos de Operación son la parte central del Manual de Operación. En ellos se describe a detalle y paso por paso los procedimientos que deben seguirse en el arranque, paro y operación normal de todas y cada una de las áreas de la Planta. Se establecen las condiciones de proceso, los problemas potenciales y las acciones correctivas que se deben tomar en un momento dado. También se deben incluir las pruebas de control de calidad, muestreos y su frecuencia. Como anexos de los procedimientos se incluyen los formatos en que serán "vaciadas" las distintas condiciones de operación de la Planta. Con objeto de dar una idea acerca de la estructuración de estos procedimientos, en la Tabla No. 10 se muestra el índice de Procedimientos Tentativos de Operación para una Planta hipotética. Como se puede ver, la Planta se divide en varias áreas. Para cada área se revisan las secciones de evacuación y emergencias, y la de operación, para dar origen a cada uno de los procedimientos. Cada uno de los procedimientos consta de varias secciones a su vez:

-a) Seguridad; se revisan los aspectos de seguridad (peligros, riesgos y equipo de seguridad) relativos a cada proce

## 1. AREAS DEL PROYECTO

- 01 Almacenamiento de Materias Primas
- 02 Proceso
- 03 Almacenamiento de Producto Terminado

## 2. SECCIONES DE DESCRIPCION

- 01 Evacuación y Emergencias
- 02 Operación

## 3. RELACION DE PROCEDIMIENTOS

AREA	SECCION	NUMERO	TITULO
01	01	01-01-01	Evacuación del área de Almto. de M. P.
01	01	01-01-02	Alta presión en tanques de M. P.
01	01	01-01-03	Alto nivel en tanques de M. P.
01	01	01-01-04	Fuga de Materia Prima
01	01	01-01-05	Falla en el suministro de energía eléctrica al área de almto. de M. P.
01	02	01-02-01	Llenado de tanques de M. P.
01	02	01-02-02	Transferencia de M. P. al área de proceso
01	02	01-02-03	Determinación del consumo y existencias de M. P.
02	01	01-01-01	Evacuación del área de proceso
02	01	02-01-02	Falla en el suministro de M. P.
02	01	02-01-03	Falla en el agua de enfriamiento
02	01	02-01-04	Falla del sistema de vacío
02	01	02-01-05	Falla en el aire de instrumentos
02	02	02-02-01	Arranque y Paro de la Planta
02	02	02-02-02	Operación normal de la Planta
02	02	02-02-03	Procedimiento para el control de la calidad
03	01	03-01-01	Evacuación del área de almto. de P. T.
03	01	03-01-02	Alto nivel en tanques de P. T.
03	01	03-01-03	Derrame de Producto Terminado
03	02	03-02-01	Llenado de tanques de P. T.
03	02	03-02-02	Determinación de existencias de Producto Terminado
03	02	03-02-03	Transferencias de P. T. a pipas

TABLA No. 10  
INDICE DE PROCEDIMIENTOS TENTATIVOS DE OPERACION

dimientos en específico.

b) Operación: se desglosa a detalle el procedimiento y secuencia de operación.

c) Problemas de Operación: se enlistan los problemas potenciales que se pueden presentar.

d) Precauciones y Recomendaciones: se enfatizan algunos aspectos que requieren atención especial y la manera de prevenir problemas.

e) Anexos: se incluyen todos los diagramas, dibujos y formatos que se considera necesario.

Como su nombre lo indica, estos procedimientos son tentativos pues el conocimiento del proceso y/o de las instalaciones antes del inicio del arranque no permite la edición de procedimientos óptimos y definitivos. A medida que se gane experiencia en la operación de las instalaciones se podrán elaborar los Procedimientos de Operación Estándar.

- En la Descripción del Equipo de Procesos se incluyen aspectos como las curvas de operación de las bombas, calibración de válvulas de seguridad y de discos de ruptura, información y catálogos de instrumentos, ubicación de tanques y recipientes, etc.

- Otros puntos que se pueden incluir en el Manual de Operación son las especificaciones y tipos de empaque del producto terminado, los procedimientos de embarque, programación o ciclo óptimo en procesos por lotes, etc.

#### 4.3. VERIFICACION, LIMPIEZA Y PRUEBAS DE INSTALACIONES.

##### 4.3.1. Verificación de Instalaciones.

Antes y después de llevar a cabo los trabajos de limpieza y pruebas se debe llevar a cabo una inspección del estado de las instalaciones. El propósito de estas revisiones es detectar hasta donde sea posible, y antes de proceder a la operación de los equipos, todos aquellos defectos y fallas que pudieran existir, con objeto de prevenir mayores problemas y/o accidentes.

Se deben planear con anticipación las tareas relacionadas con la verificación de instalaciones. Normalmente las inspecciones son realizadas tanto por el personal de construcción (ver en el capítulo No. 3 lo relativo a la inspección durante la construcción) así como por el personal de arranque y operación (ya se mencionó que como parte del entrenamiento de operadores, éstos recorren la Planta y verifican las instalaciones con ayuda de los planos). La ventaja de lo anterior es el distinto enfoque que cada uno de estos grupos tiene, con lo que se logra una inspección más completa.

La planeación de estas inspecciones debe incluir el cuándo. Es decir, para poner su ejemplo, la inspección interna de columnas, reactores, recipientes, etc. debe realizarse antes de que el grupo de construcción haya cerrado el equipo. Una vez que éste se encuentre cerrado, la inspección se dificulta pues se deben distraer recursos huma--

nos para volver a abrir el recipiente e incluso se puede ocasionar una demora en la fecha de arranque.

Una forma de asegurar una mejor inspección consiste en la elaboración de procedimientos y listas de verificación. Estos procedimientos pueden dividirse por áreas o equipos de la Planta. Para cada área se deben establecer los puntos a inspeccionar en lo referente a:

- verificación de tuberías. Se debe revisar línea por línea marcando en los planos respectivos las tuberías que ya hayan sido inspeccionadas. Se verifica entre otras cosas que las válvulas instaladas y accesorios sean los indicados y que se encuentren a un nivel operable; que las tuberías sean del diámetro y material establecido; que todas las soldaduras estén totalmente terminadas; que todas las bridas estén herméticas y con todos sus pernos respectivos; que la soportería sea la apropiada y esté debidamente instalada; que las líneas estén aisladas donde así se haya establecido en los planos, etc.

- Verificación de Equipos. Se deben revisar todos los equipos de la Planta. En la Tabla No. 11 se da una guía general de los puntos más relevantes a verificar en el equipo mecánico de potencia. Además debe revisarse que todos los equipos cuenten con todas las boquillas y accesorios requeridos; que los equipos se encuentran limpios internamente y que cuenten con todos los accesorios y dispositivos internos que requieran; que se encuentren perfectamente bien ce-

rrados e identificados; que se encuentren aterrizados al sistema de tierras; que cuenten con filtros temporales; etc.

- Verificación de Instrumentos. Ya se trató este punto en - las pruebas de instrumentos y sistemas de control. Se debe revisar que los instrumentos se localicen en los lugares indicados en los planos y que se encuentren instalados de tal forma que se facilite su mantenimiento; que los rangos de - los indicadores y las calibraciones sean las correctas; que las alarmas y chicharras hayan sido instaladas correctamen--te; etc.

- Verificación Eléctrica. Se debe revisar que todo el sistema de potencia, alumbrado, y control se encuentra instalado y cableado de acuerdo con los planos; que se cuente con los sistemas de seguridad (apartarrayos, sistemas de tie---rras, etc.) requeridos, que la instalación eléctrica vaya de acuerdo con la clasificación eléctrica de áreas; que las tuberías eléctricas se encuentren selladas en los puntos indicados; etc.

- Verificación de Limpieza. Se hace hincapié en los requerimientos de limpieza en todos y cada uno de los equipos y líneas de la Planta.

Para los trabajos de inspección y verificación es muy recomendable utilizar a gente con experiencia pues son muchos los detalles y aspectos que pueden pasarse por alto. Los procedimientos son sólo una guía para llevar a cabo la inspección. A final de cuentas es la experiencia y conoci-

mientos del inspector lo que más importancia tiene.

Durante la inspección se deben ir listando y anotando todas las deficiencias y omisiones que existen en las instalaciones. Esta lista servirá de base para corregir a la brevedad posible dichos defectos. También surgirán como consecuencia de la inspección una serie de sugerencias y modificaciones propuestas por el personal de arranque y de operaciones, las cuales deberán ser negociadas con el grupo de construcción para determinar la posibilidad de llevar a cabo dichos cambios.

#### 4.3.2. Limpieza.

Todos los equipos y líneas de la Planta deben ser limpiados perfectamente con objeto de eliminarles cascari--lla, herrumbre y cualquier otro material extraño que pudie--ra entorpecer su buen funcionamiento durante el arranque y la operación normal de las instalaciones. Como ya se vió - en el segundo capítulo, muchos de los problemas que se pre--sentan durante el arranque son debidos a la presencia de ma--teriales extraños dentro de los equipos que originan taponam--ientos, bloqueos, y disminución del flujo a través de lí--neas y tuberías. Cuando la operación de una Planta depende fundamentalmente de la operación de un compresor o de una - bomba en servicio crítico, es extremadamente importante que no se olviden dentro de estos equipos y líneas todas aque--llas herramientas y auxiliares de la construcción como po--drían ser los electrodos de la soldadura, pernos, tornillos, guantes, etc.

Todos los objetos de "gran tamaño" como los cables, herramientas, etc. deben ser removidos manualmente como resultado de la inspección de la construcción y de la verificación de instalaciones que se tratará un poco más adelante. Se debe enfatizar y solicitar al personal de la construcción en el cuidado que deben de tener en no dejar olvidada ninguna herramienta en el interior de los equipos. Sin embargo, a pesar de las recomendaciones y debido a la forma de trabajar típica de este tipo de personal, no es raro que queden olvidados materiales extraños en el interior de equipos y tuberías. Es aquí donde entra la labor de los inspectores de la construcción, los cuales deben poner mucha atención a la revisión de este tipo de situaciones.

Los materiales de menor tamaño como la herrumbre, cascarilla, óxido y polvo son eliminados por arrastre con agua. En algunas ocasiones, cuando se requiere de una limpieza más completa y cuando se requiere eliminar algún otro agente como pudieran ser grasas y aceite, se recurre a una limpieza química.

Antes de iniciar el arrastre con agua, se debe revisar que se encuentren instalados filtros, mallas o "comales" (cuando se considere necesario) a la succión de bombas, compresores y todo aquel equipo en el que los materiales extraños pudieran llegar a quedar atrapados; en estos casos se abren las líneas de "by-pass" para permitir la circulación del agua. Normalmente, los trabajos de arrastre

con agua se llevan a cabo por áreas ó secciones de la planta: la zona de reacción, la zona de preparación de reactivos, la zona de agotamiento, etc.

Existen en algunos casos secciones extremadamente grandes para poder llevar a cabo el arrastre (por ejemplo, tuberías de 30 in de diámetro o mayores). También se da el caso de secciones en las que no se debe introducir agua ya que ésta es un contaminante del proceso. En estas dos situaciones se recomienda llevar a cabo un soplado interno de equipos y tuberías con aire o algún otro gas inerte.

En cualquiera de los casos (aire, gas inerte, agua-vapor, etc.) las velocidades de flujo deben ser lo suficientemente altas como para asegurar que las paredes internas de las líneas y de los equipos quedarán libres de materiales extraños, y que éstos no serán simplemente arrastrados de un equipo a otro. Las velocidades de agua deben ser al menos de 12 Ft/S; para vapor o aire deben ser al menos de 12,000 Ft/min. El agua utilizada en el arrastre debe estar limpia y libre de materiales extraños pues de otra forma en vez de limpiar provocaría más depósitos en los equipos.

En algunos casos para poder realizar el arrastre con agua es necesario desacoplar una brida. En estas circunstancias, una vez terminada la limpieza y apretada dicha brida, se debe realizar una prueba hidrostática (con agua limpia) para comprobar el empaque de la misma.

Una vez terminados los trabajos de arrastre, y de

ser posible, se debe llevar a cabo una inspección con objeto de verificar el estado interno de las instalaciones.

Como ya se mencionó, cuando se requiere de una limpieza más a fondo, se recurre a un tratamiento químico. Un ejemplo de la secuencia de pasos que aplicaría en caso de requerirse este tratamiento es:

-circulación de una solución ácida de ácido clorhídrico de  $\text{pH}=2.0$  durante unas 5 a 6 horas.

-lavar circulando agua limpia hasta que el  $\text{pH}$  del agua a la salida del circuito de limpieza sea de 6.0.

-circulación de una solución de hidróxido de sodio con un  $\text{pH}=14.0$  durante unas 5 a 6 horas.

-lavado con agua nuevamente hasta que el  $\text{pH}$  del agua a la salida del circuito de limpieza sea entre 7.0 y 8.0. Esta circulación de agua deberá hacerse también a alta velocidad para permitir el arrastre.

-limpieza con una solución de Dietanolamina para eliminar restos de aceite y grasas. Se utiliza solución al 0.5% en peso de DETA en caliente, que no sólo desengrasa y limpia sino que cubre al metal con una capa antioxidante de DETA.

En ocasiones, cuando el agente químico empleado es tóxico o contaminante del proceso, se sugiere realizar una purga con nitrógeno o algún otro gas inerte una vez terminada la limpieza con objeto de eliminar al máximo los residuos que hubieran podido quedar. Obviamente, este tipo de limpieza resulta bastante más cara por los recursos que se

requieren: agentes químicos, facilidades y conexiones temporales para circular los agentes, contratación de alguna compañía especializada en este tipo de trabajos, etc. Sin embargo, los resultados que se obtienen son mejores a los que se pueden esperar de una simple limpieza por arrastre.

En estos casos de limpieza con agua o con algún agente químico, vale la pena recordar las precauciones que se deben tomar durante el vaciado de tanques con objeto de prevenir la formación de un vacío que pudiera llegar a colapsar el equipo.

Otra forma de limpieza de los equipos es a través de medios mecánicos. Por ejemplo, se puede recurrir a una limpieza manual utilizando cepillos de cerdas metálicas. Este método presenta varias desventajas: es muy lento, no es muy efectivo, depende mucho de la habilidad y disposición de la persona encargada directamente de hacer el trabajo, y además no se pueden limpiar aquellos lugares de difícil acceso como podrían ser las tuberías. Es recomendable para tanques de almacenamiento en los que no se requiere de una gran limpieza. Otra forma de limpieza mecánica más efectiva y que tiene algo de popularidad es el "sandblasting", que consiste en un flujo fluidizado de arena que golpea las paredes de los equipos eliminando por fricción los elementos extraños. Al utilizar este método se debe tener mucho cuidado de eliminar por completo la arena tanto del interior de los equipos como de sus alrededores.

#### 4.3.3. Pruebas.

De acuerdo con lo establecido en el primer capítulo, las pruebas de arranque por lo general se inician con la terminación mecánica de las instalaciones. Es decir, al momento de iniciar las pruebas, el proyecto ya ha pasado por varias de sus etapas, lo que ha implicado un gran esfuerzo y también un fuerte desembolso para la compañía. Por tanto, las pruebas deben planearse y ejecutarse tomando en cuenta que se debe mantener el esfuerzo y se debe proteger la inversión. Se deben desarrollar procedimientos de pruebas representativas que permitan comprobar el buen y seguro funcionamiento de las instalaciones así como los defectos que éstas tienen de tal forma que puedan ser corregidos con suficiente anticipación para evitar costosas demoras y problemas en el arranque. No se debe apresurar demasiado la etapa de pruebas sin darle el tiempo que ésta requiere, pues de otra forma se corre el riesgo de retrasar el arranque y demostración de la planta.

En algunas ocasiones, se elabora un programa de construcción de tal forma que se alcance una terminación mecánica escalonada de los distintos sistemas en que se haya subdividido la Planta. Esto permite iniciar las pruebas de cada sistema tan pronto como éstos vayan siendo terminados. De esta forma se puede adelantar la fecha de arranque de la Planta. Esta alternativa debe manejarse con mucho cuidado pues se requiere una excelente planificación y coordinación para evitar interferencias entre las pruebas de un sistema-

y la construcción de los otros sistemas.

Los principales objetivos que se persiguen durante la etapa de pruebas son:

- identificar errores de diseño y de fabricación de los equipos.
- probar el funcionamiento mecánico de los equipos a las condiciones de proceso.
- permitir la familiarización del personal operativo con la Planta.
- evaluar el funcionamiento de la Planta cuando aún hay tiempo de hacer algunas modificaciones.
- permitir la calibración de la instrumentación.
- identificar procedimientos, técnicas y requerimientos operativos.

A continuación se revisarán las principales pruebas y procedimientos que normalmente se siguen antes de poner en operación la Planta (11).

#### 4.3.3.1. Pruebas Hidrostáticas.

(11) Fitzgerald, Kiorpes, Gans, "Plant Startup-step By step", Chemical Engineering, Oct.3 1983, pp. 81-91.

Este tipo de pruebas son necesarias para garantizar la seguridad de la Planta. Se incluyen las pruebas de presión no sólo para recipientes sino también en líneas y tuberías para comprobar la hermeticidad y resistencia mecánica de bridas y en general de todo tipo de conexiones. Normalmente son llevadas a cabo por el grupo a cargo de la construcción, aún cuando es muy recomendable que algún miembro del grupo de arranque las atestigüe con objeto de verificar que las pruebas se desarrollen de acuerdo con los procedimientos previamente establecidos, y sobre todo cuidar que no se dañen las instalaciones a causa de estas maniobras.

Normalmente estas pruebas son desarrolladas de acuerdo a los procedimientos fijados por los distintos códigos de diseño de recipientes a presión. En estos códigos se establecen las presiones de prueba en función de la presión de operación del sistema o del equipo.

Es recomendable emplear agua limpia con algún inhibidor de corrosión como medio para levantar presión en el interior de los equipos. Después de la prueba se debe eliminar el agua por completo sobre todo en aquellas líneas y equipos que no manejan ni agua, ni vapor, ni condensados durante el proceso, con objeto de eliminar los problemas de bolsas de agua y de contaminación mencionados en capítulos anteriores. Se debe revisar en los puntos más bajos del sistema la presencia de agua y eliminarla por completo. En algunos casos es necesario sacar completamente el sistema des

pués de la prueba. Para ésto, se hace circular una corriente caliente de aire o de algún otro gas inerte. De ser posible, una vez hecho lo anterior, el sistema se deja ligeramente presionado con aire seco con objeto de evitar una posible oxidación de las partes internas.

Al momento de planear el desarrollo de las pruebas hidrostáticas se deben tener en consideración una gran cantidad de detalles. Se debe revisar por ejemplo si los soportes de los distintos equipos son capaces de soportar el peso de éstos totalmente llenos de agua. También se debe revisar si los dispositivos internos con que cuentan los distintos equipos son capaces de soportar la presión que se desarrollará durante la prueba. Una ruptura o descompostura en estas partes internas puede atrasar el arranque varias semanas.

Es común que no se preste la debida atención durante las pruebas de aquellos ductos, tuberías y equipo que operan a presiones muy cercanas a la atmosférica; sin embargo, se debe poner mucho cuidado con lo anterior pues puede suceder que en estos sistemas se manejen sustancias tóxicas o inflamables. Una fuga de este tipo de materiales durante el arranque puede ocasionar incidentes de muy graves repercusiones.

Otra forma de evitar la contaminación por agua de la prueba hidrostática consiste en realizar una prueba neumática al sistema empleando en este caso un gas inerte (aire

ó nitrógeno) para levantar la presión interna de prueba y -- utilizando una solución jabonosa en bridas y juntas para detectar fugas.

Otro tipo de procedimientos establecidos en los códigos son el empleo de radiografías y líquidos penetrantes, sobre todo para equipos que trabajarán a presiones mayores - y en servicios especiales. Estos métodos garantizan aún más la resistencia mecánica de las instalaciones.

Los sistemas que trabajan a vacío también deben -- ser revisados en lo que a hermeticidad y resistencia mecánica se refiere. Para ésto, normalmente se levanta vacío con el mismo equipo de la Planta (eyectores o bombas de vacío). Después se bloquea el sistema y se monitorean las fugas observando el incremento de la presión interna. En caso de -- existir fugas que pudieran afectar la operación del sistema se procede primero a detectarlas. Para ésto, se levanta una ligera presión positiva en el interior del sistema y se aplica una solución jabonosa en todas las conexiones y puntos -- donde pudiera existir una fuga.

#### 4.3.3.2. Pruebas del Equipo Mecánico.

Estas pruebas consisten en los primeros movimien--tos del equipo mecánico después de haber sido instalado, con objeto de revisar su buen funcionamiento. Se checan entre -- otras cosas que los motores estén conectados correctamente y que roten en la dirección indicada, que las flechas y los impulsos se muevan libremente, que el acoplamiento sea el --

adecuado, etc.

Dentro del equipo mecánico se considerarán las bombas, compresores, ventiladores, agitadores y en general todo el equipo de potencia. Las pruebas en estos casos deben ser realizadas con el apoyo y supervisión de un representante del proveedor o fabricante, y atestiguadas por gente del equipo de arranque y de operaciones para que éstos se familiaricen con la operación del equipo y juzguen el funcionamiento del mismo durante las pruebas.

En la Tabla No. 11 se enlistan las principales actividades y puntos que normalmente son revisados durante las pruebas del equipo mecánico.

A continuación se revisarán los aspectos concernientes a la prueba de bombas como ejemplo de equipo mecánico. Se incluirá también una revisión de las pruebas eléctricas de motores por estar éstos íntimamente relacionados con el equipo mecánico.

#### a) Motores Eléctricos.

Antes de iniciar con las pruebas del equipo mecánico accionado por motores eléctricos, es necesario obviamente que se prueben de antemano los sistemas eléctricos. Una revisión a fondo de estos sistemas incluye entre otros puntos los siguientes:

- abrir todos los interruptores y "switches".
- revisar que todas las barras conductoras y dispositivos eléctricos (interruptores, arrancadores, etc.) se encuentren libres de materiales extraños.
- revisar los sistemas de tierras y pararrayos. Asegurarse

1. Limpiar sistema de lubricación.
2. Revisar circulación correcta del lubricante.
3. Limpiar y revisar el sistema de enfriamiento (si aplica)
4. Revisar la instrumentación asociada con la operación del equipo, sobre todo lo referente a alarmas.
5. Revisar que las flechas e impulsores giren libremente sin ninguna obstrucción.
6. Revisar el anclaje del equipo y las conexiones de éste con las tuberías.
7. Revisar que se hayan instalado filtros temporales a la succión de los equipos.
8. Operar el motor sin carga; es decir, desacoplado.
9. Acoplar el motor con el equipo y verificar la correcta alineación.
10. Revisar el sistema de sello (prensaestopas, sello mecánico)
11. Operar el equipo sin carga; es decir, con el equipo - vacío, sin flujo. Revisar vibraciones y/o calentamiento excesivo de rodamientos.
12. Operar el equipo con carga y revisar nuevamente vibraciones y calentamientos.
13. Evaluar el funcionamiento del equipo. Llenar las hojas de pruebas con todos los datos significativos, y - parar el equipo.

TABLA No. 11  
PRUEBAS Y REVISION DEL EQUIPO MECANICO

que todo el equipo eléctrico, recipiente, y estructuras se encuentren conectados al sistema de tierras de acuerdo con lo establecido en los planos respectivos.

- asegurarse que todos los tapones y conexiones de las tuberías eléctricas se encuentran debidamente instalados de acuerdo con la clasificación eléctrica de áreas. También se debe revisar que la tubería eléctrica se encuentre sellada de acuerdo con lo especificado en los planos.

- revisar que el sistema de control de cada motor se encuentre debidamente señalado y asegurarse de que cada interruptor y arrancador controlan el circuito y/o motor indicado en la señalización.

- checar el voltaje de alimentación a la entrada del circuito general.

- cerrar el primer interruptor del circuito general, después el segundo, el tercero, etc.

- cerrar el interruptor del CCM (centro de control de motor) para el primer motor y continuar con todos los demás motores en forma secuencial.

- revisar que los elementos térmicos instalados sean de la capacidad adecuada.

- revisar la lubricación de los rodamientos del motor.

- desacoplar el motor y revisar la dirección de la rotación por medio de "piquetes" a los botones de arranque y paro de tal forma que el motor se mueva sólo momentáneamente. Si la rotación es incorrecta, se cambian las puntas.

Repetir ésto para todos los motores. Cuando el motor tenga más de una estación de botones desde donde se le pueda controlar, se deben repetir las pruebas para cada estación.

- volver a acoplar. Revisar la alineación del cople y la guarda del mismo.

Una vez listos los motores eléctricos, se puede proceder con las pruebas del equipo mecánico.

b) Bombas.

Normalmente las pruebas de las bombas son realizadas sin la ayuda del proveedor. Sólo cuando la bomba es muy especial y sofisticada se suele recurrir a la asesoría del fabricante.

El punto de partida para estas pruebas es la revisión a fondo de las recomendaciones e instrucciones del proveedor en lo que a acoplamiento, alineación, lubricación y sellos mecánicos se refiere.

También se deben revisar las situaciones de esfuerzos sobre la bomba generados por las tuberías de succión y/o de descarga. Para checar este punto se sigue la siguiente secuencia:

- se instala un "reloj de carátula" en el cople de la bomba para checar su alineación.

- se aflojan los tornillos de las bridas a la succión y a la descarga.

- una variación en la lectura del "reloj de carátula" después de haber aflojado los tornillos es indicativa de un

esfuerzo sobre la bomba originado por las tuberías.

En general, se deben checar todos los puntos mencionados en la Tabla No. 11: Rodamientos, lubricación, libertad de movimiento, rotación correcta, empaques, sellos mecánicos, enfriamiento, filtros, instrumentación, acoplamiento, etc. antes de proceder con la prueba de la bomba propiamente dicha.

El primer paso para la prueba consiste en la purga de la bomba hasta que ésta se encuentre totalmente llena de líquido (agua). Una vez purgada, se arranca el motor -- con la válvula a la descarga parcialmente estrangulada. Si no se desarrolla presión a la descarga, se para la bomba y se investiga la causa. Cuando se haya establecido la presión a la descarga, se abre lentamente la válvula. Una vez que la bomba se encuentra trabajando, se revisan los rodamientos tanto de la bomba misma como del motor para determinar vibraciones o sobrecalentamiento de los mismos. También se revisan el sello mecánico para ver si no fuga, y la demanda de potencia con la ayuda de un multímetro. Se debe comparar la carga real tomada por la bomba contra la especificada en la placa del motor. Hay que tomar en cuenta que si la gravedad específica del agua es mayor a la del líquido de proceso, entonces la carga del motor también será mayor. En todo caso, el flujo a través de la bomba se deberá limitar para que no se exceda la corriente máxima permitida por el motor.

La bomba se debe dejar trabajando durante aproximadamente una hora. Durante este tiempo se revisa la operación de la misma y se obtiene la información que permita -- comparar su funcionamiento (cabeza, gasto, RPM's, carga, -- etc.) contra las especificaciones y curvas (proporcionadas por el fabricante. Una vez transcurrida la hora, se cierra la válvula de descarga, se para la bomba, se cierra la válvula a la succión, y se vuelven a checar la alineación, el sello y la lubricación.

No debe usarse agua para la prueba de una bomba - cuando el empleo de ésta pueda ocasionar una sobrecarga del motor o una presión excesiva a la descarga.

Para bombas de desplazamiento positivo se debe tener en cuenta que la válvula a la descarga debe estar lo suficientemente abierta como para permitir el paso del líquido y evitar que la presión que se genere sea excesiva.

#### 4.3.3.3. Pruebas de Instrumentos y Sistemas de Control. (12)

Las actividades relacionadas con este tipo de --- pruebas son críticas para el arranque y en muchas ocasiones

(12) Meier F.A., "Is your control system ready to start up?".  
Chemical Engineering, Feb. 22 1982, pp. 76-87.

son las causantes de retrasos en la fecha de arranque. Ya sea que se trate de sistemas de control computarizado, instrumentación electrónica, o instrumentación neumática, se requiere de personal especializado en cantidad suficiente para terminar a tiempo los trabajos de prueba y verificación de este tipo de dispositivos. Debido a los avances y sofisticación, se requiere de personal altamente capacitado para este trabajo.

Los sistemas de control se pueden considerar listos para el arranque cuando todos sus componentes han sido instalados incluyendo la tubería y el cableado y se han realizado los trabajos de pruebas y calibración. Con este objeto se deben desarrollar las siguientes actividades:

a) Desarrollar un Plan de Trabajo.

Se debe desarrollar el plan con anticipación. En él se definirán los procedimientos de prueba y verificación, y los responsables de los trabajos, así como el programa tentativo y la asignación de recursos.

b) Recopilación de Información.

Se debe localizar toda la información correspondiente a instrumentación y control: diagramas de ingeniería, listas de instrumentos por tipo, hojas de especificaciones, detalles y dibujos de instalación, localización de instrumentos, catálogos de fabricantes, etc. Toda esta información podrá localizarse fácilmente en el Centro de Información cuando éste ha sido estructurado y conjuntado correctamente.

### c) Pruebas de Presión.

La ISA (Instrument Society of America) ha desarrollado una serie de procedimientos y estándares entre los que se encuentra el ISA RP 7.1 que describe los métodos para llevar a cabo pruebas neumáticas en las líneas de transmisión de las señales. Se deben probar neumáticamente todos los componentes y conexiones del sistema de control. Previo a estas pruebas, se deben limpiar y soplar todas las líneas y "tubings" con objeto de eliminar cualquier material extraño.

Los tubos de vidrio utilizados frecuentemente como indicadores de nivel también deben ser probados hidrostáticamente sobre todo si el recipiente al cual estarán conectados trabaja a presión. En este caso, se debe tener cuidado durante la realización de la prueba pues el tubo puede romperse y los pedazos de cristal saldrían expulsados a una velocidad considerable.

### d) Revisar Localización de Instrumentos.

Se debe revisar que todos los instrumentos montados en tablero, las válvulas de control, los transmisores, la instrumentación de campo, etc. han sido instalados adecuadamente y sobre todo que su localización sea accesible. Las válvulas de control, por ejemplo, deben estar instaladas de tal forma que las tuberías y soportería cercanas a ellas no impidan darles mantenimiento.

### e) calibración.

La calibración puede definirse como la comparación

entre la lectura indicada por un instrumento determinado y el valor indicado por un estándar conocido. Puede ser llevada a cabo de las siguientes formas:

- en la fábrica o taller del fabricante antes de que se envíen los instrumentos.
- a la recepción del instrumento pero antes de ser instalado.
- aceptando el control de calidad del fabricante (es decir, no se realiza la calibración).

Normalmente, se utilizan todas las formas anteriores. Es decir, los manómetros bourdon y termómetros bimetálicos por lo general no son calibrados; los "switches" de presión y nivel son calibrados como parte de la revisión de los circuitos de control una vez que ya han sido instalados; las válvulas de alivio se calibran en el taller del proveedor; etc.

Todas las calibraciones deben ser registradas y anotadas con objeto de llevar un control de las mismas. Se deben también marcar aquellos instrumentos y dispositivos que ya hayan sido calibrados. De ser posible, se deben seguir las instrucciones del proveedor durante la calibración.

Normalmente, la calibración se lleva a cabo para el 0, 10, 50 y 90% del rango del instrumento o dispositivo.

#### f) Pruebas Eléctricas.

Se debe revisar la continuidad y la correcta cone

xión de todos los cables relacionados con la instrumentación y control. También se verifica que no existan ni circuitos abiertos ni circuitos cerrados. Se debe determinar la resistencia total de cada circuito con ayuda de un ohmetro; si es necesario se deberá ajustar la impedancia del circuito.

Se verifica el buen funcionamiento del sistema de alimentación de energía eléctrica (tanto de suministro como de planta de emergencia) para la instrumentación y el control. Se revisan también las conexiones al sistema de tierras.

#### g) Revisión de los Circuitos de Control.

Se checa que todos los dispositivos que forman parte de la instrumentación y control de la Planta operen de acuerdo con el diseño. La revisión de los circuitos de control es la verificación final y completa de todos los componentes funcionando como una sola unidad. La calibración es confirmada, los puntos de control de los "switches" son rechecados y la respuesta y funcionamiento del circuito verificados por medio de la simulación hasta donde sea posible de las variables de proceso.

Se revisará que las válvulas de control abran o cierren dependiendo de la señal que se les envíe. Se confirma el funcionamiento de los controladores y se fijan preliminarmente las formas de control (derivativa, proporcional, etc.). También se verifica que las alarmas accionen de acuerdo con lo establecido.

Esta revisión es la última oportunidad de confirmar que no se ha pasado por alto ningún detalle concerniente a la instrumentación.

#### 4.3.2.4. Pruebas de Equipo en caliente.

Algunos equipos deben ser probados a su temperatura de operación con objeto de detectar posibles fugas. Este tipo de procedimientos son conocidos como pruebas en caliente de los equipos. Los siguientes son ejemplos de equipos que normalmente deben pasar por estas pruebas:

- reactores catalíticos de cama empacada que en operación normal son calentados o enfriados por medio de aceite térmico o por medio de sales fundidas. El catalizador podría sufrir contaminación irreversible si se presentan fugas del medio transmisor de calor.

- intercambiadores de calor en los que el vapor de calentamiento o el agua de enfriamiento circulan a mayor presión que el fluido de proceso, el cual se ve seriamente afectado por impurezas de agua.

- secador rotatorio, en el que se deben evitar las fugas de material a la atmósfera y la entrada de aire frío a su interior.

Las fugas en estos casos se pueden presentar como consecuencia de las altas temperaturas o bien a causa del enfriamiento del equipo una vez que éste ha terminado de operar.

Para evitar el choque térmico en el equipo, la temperatura del medio de calentamiento se debe incrementar

paulatinamente. De antemano deberán establecerse los procedimientos para la verificación de fugas y los métodos de reparación que se utilizarán en caso de ser necesarios. Si los trabajos de soldadura para eliminar una fuga no son realizados adecuadamente, se pueden producir esfuerzos que ocasionen fugas adicionales de mayor tamaño.

Un punto a considerar durante estas pruebas es la uniformidad que se debe tener en la temperatura de todo el equipo. La expansión diferencial que se puede producir como consecuencia de un gradiente de temperaturas durante la prueba ocasiona la deformación y desperfecto de los equipos desde antes de su arranque.

La seguridad durante estas maniobras es fundamental debido a lo riesgoso de la alta temperatura, y a la falta de experiencia del personal en lo que al equipo concierne pues lo estará operando por primera ocasión.

#### 4.3.3.5. Pruebas Dinámicas.

Este tipo de pruebas se inician cuando ya se pueden poner en funcionamiento algunos sistemas de la Planta. Incluyen la simulación del proceso mencionada como parte del entrenamiento al personal operativo.

Inicialmente las operaciones se simulan con algún fluido que pueda considerarse seguro como agua, aire, o algún gas inerte. Esto es debido a que todavía no hay una total seguridad en cuanto a la confiabilidad de las instalaciones, aún cuando ya hayan sido probados los elementos --

(tanques, equipo mecánico, tubería, instrumentación, etc.) que la componen.

Esta simulación nos da la primera información --- acerca de la respuesta de los circuitos de control y permite, como ya se mencionó en incisos anteriores, que el personal comience a familiarizarse con el equipo y su operación. Los principales objetivos que se persiguen son:

- probar el funcionamiento mecánico de los equipos bajo --- condiciones que simulen las del proceso.
- permitir que los operadores se familiaricen con la Planta funcionando a sus condiciones normales.
- evaluar el funcionamiento de la Planta cuando aún es tiempo de hacer algo.
- servir de ayuda en la determinación de los puntos de control y respuesta de los instrumentos.
- de alguna manera ayuda también en la limpieza de las instalaciones.

Sin embargo, estas operaciones simuladas deben -- ser muy bien planeadas para poder alcanzar estos objetivos, y no ocasionar daños en los equipos. Se deben tomar precauciones al operar con agua o aire algún equipo diseñado para el manejo de hidrocarburos. Algunos ejemplos de los daños - que se pueden ocasionar si no se tiene cuidado al planear y ejecutar estas pruebas son:

- un agitador operado en vacío (con aire) puede presentar - oscilaciones sobre su eje de rotación ocasionando daños a - la flecha y/o al sello mecánico.

- un compresor diseñado para etileno puede sobrecalentarse al manejar aire o nitrógeno.
- una bomba diseñada para hidrocarburos puede sobrecargarse o generar presiones de descarga excesivas si se opera con agua.

La duración de estas operaciones simuladas dependerá del grado de asimilación que vaya demostrando el personal operativo y de los problemas que vayan surgiendo. Se debe dar la oportunidad a los operadores de cada uno de los turnos de participar en estas pruebas, y de ser posible, se deberá programar un arranque y un paro para cada uno de los distintos grupos operativos. No es recomendable acortar estas pruebas con objeto de ganar tiempo para el arranque cuando el personal operativo aún tiene dudas acerca de la operación. Tampoco es recomendable omitir este tipo de pruebas a menos que otras consideraciones como problemas de corrosión o fallas mecánicas potenciales no lo permitan.

Una vez terminada la simulación con agua o aire, y hechas las reparaciones y modificaciones que se considere conveniente o sea necesario hacer, se puede realizar otra simulación con algún solvente que se asemeje aún más en propiedades a los fluidos de proceso, y que además sea también relativamente seguro en su manejo. Obviamente serán varios los solventes que deberán emplearse por lo que será necesaria la instalación de líneas y conexiones temporales. El objetivo que se persigue es aproximarse aún más a las condi

ciones reales del proceso. Antes del inicio de estas pruebas y al terminarlas se deben limpiar completamente las instalaciones con objeto de eliminar el agua y los solventes - respectivamente. Como se puede ver, estas pruebas resultan muy costosas y no siempre es posible ni recomendable llevarlas a cabo.

Como última posibilidad dentro de las operaciones simuladas tenemos la operación de la planta con fluidos de proceso reales. Esta simulación es posible siempre y cuando se puedan conseguir y adquirir dichos fluidos de proceso. En estas pruebas, los fluidos se manejarán a las condiciones de presión y temperatura reales del proceso por lo que la información y experiencia que se obtengan será de mucha utilidad. Durante esta etapa no deberá permitirse que se lleve a cabo ninguna reacción química pues se pueden ocasionar accidentes.

#### 4.3.3.6. Registro de Pruebas.

Es de llevar un registro ordenado de los resultados de todas y cada una de las pruebas que se hagan a los equipos individuales y a los sistemas. Esto tiene varios objetivos:

- evitar la duplicidad de trabajos.
- evaluar el funcionamiento de los equipos y comparar éste con los datos del fabricante.
- servir de base para la comparación contra el funcionamiento una vez que la Planta haya sido arrancada.

- servir de base para la entrega de equipos y sistemas al grupo de operaciones.
- servir de punto de partida para los archivos y programas del Departamento de Mantenimiento.

Antes del inicio de las pruebas se deberán diseñar o seleccionar los formatos que serán empleados para "vaciar" toda la información que se obtenga de ellas.

#### 4.4. PLANEACION

Todas las actividades relacionadas con el arranque deben iniciarse con un plan adecuado. Ya se ha hablado sobre esto a lo largo del presente trabajo, pero cabe volver a mencionarlo dada la complejidad y gran cantidad de actividades interrelacionadas entre sí que forman parte del arranque de una Planta. Son muchas las actividades y programas que deben controlarse para poder lograr un arranque seguro, con un costo mínimo, dentro del tiempo programado, y con un mínimo de problemas.

La planeación y programación de las actividades del arranque debe iniciar con suficiente anticipación. Normalmente se inicia con varios meses de anticipación a la terminación mecánica de las instalaciones. En ellos se fijan las distintas metas que se deben alcanzar, de tal forma que todo el personal involucrado enfocará sus esfuerzos en la consecución de los objetivos. Deben estar programados a detalle de manera que cada quien sepa lo que de él se espera. Deben ser realistas en cuanto a fechas de terminación,

basándose para ello en los recursos humanos y técnicos con que se cuente. Una vez que las fechas hayan sido fijadas, se debe tratar de ajustarse a ellas para evitar caer en -- costosos retrasos.

A medida que se acerca la fecha del arranque se deberán hacer revisiones de los planes diariamente con objeto de llevar un mejor control y actualizar aquellas actividades que hayan sufrido algún retraso.

En muchas ocasiones se recurre al empleo de computadoras para estructurar, controlar, optimizar, y actualizar los planos y programas. Esto es debido a la gran -- cantidad de actividades que están relacionadas con el ---- arranque y al detalle requerido en la planeación (programación de actividades diarias). La computadora puede fácilmente actualizar los programas, también puede generar la - lista de actividades diarias para cada persona involucra-- da en el arranque, identifica rápidamente los recursos materiales y equipo auxiliar para cada actividad, etc.

Los diagramas de barras y los diagramas lógicos discutidos en el segundo capítulo son de mucha ayuda en la presentación y control de las actividades, sobre todo en las relacionadas con las pruebas y la operación inicial de la Planta.

Como ya ha sido mencionado, durante el arranque se producen condiciones y situaciones más riesgosas que durante la operación normal de la Planta. Las presiones par-

ra completar a tiempo la construcción y pruebas de las instalaciones pueden acentuar los peligros al momento del ---- arranque. Por tanto, las fechas de los programas deben ser tan realistas como sea posible y cuando se presenten retrasos, lo más atinado es actualizar el programa en vez de tomar caminos cortos que a la larga originen situaciones de - peligro.

Entre los principales planes y programas relacionados con el arranque tenemos los siguientes:

- Plan para la procuración de Materias Primas. Ya fué discutido en el tercer capítulo.
- Plan de Arranque. Forma parte del Manual de Arranque discutido en este capítulo.
- Plan de Pruebas. Idem al anterior.
- Plan de Muestreo y Análisis. Se discutió en el segundo capítulo.
- Programa de Selección y Contratación del Personal. Se -- discutió en este capítulo.
- Programa de Entrenamiento del Personal. Idem al anterior.
- Plan de Verificación de Instalaciones. Idem al anterior.
- Programa Maestro del Proyecto. Todas las actividades del Proyecto tienen repercusión en el arranque. El arranque como actividad forma parte integral de este programa.
- Programas de Mantenimiento. Tienen como objetivo la selección y compra del equipo auxiliar, herramientas, y refacciones requeridas para el arranque y operación inicial. Se

debe establecer también a detalle el Programa de Mantenimiento Preventivo en el que se aclaren las pruebas, inspecciones, ajustes y trabajos de rutina así como la frecuencia con que deberán realizarse durante el arranque. Se deben crear los Archivos de Mantenimiento ya discutidos en este capítulo.

- Planes Contingentes. Se deben establecer planes de reacción para problemas potenciales. Parten de la premisa de que inevitablemente van a surgir problemas durante el arranque y que se debe estar preparados para minimizar tiempo perdido a causa de ellos y para evitar desastres mayores. Entre estos planes contingentes, los mas obvios serían las acciones a tomar con el producto terminado que se obtenga fuera de especificaciones, o con problemas potenciales de corrosión, etc.

## 5. CONCLUSIONES

## 5. CONCLUSIONES.

5.1. Aún cuando una planta utilice un proceso ya probado comercialmente, existen una serie de factores como la localización de la misma, los materiales y proveedores de equipos utilizados, - el personal técnico y operativo, la firma de ingeniería contratada para el diseño y para la construcción, la filosofía de la empresa, etc.... que hacen diferente el arranque de dicha planta. Sin embargo, existen una serie de características comunes a todo arranque:

- la importancia que tienen como culminación de todo proyecto y como punto de partida para las operaciones futuras de las instalaciones.

- la cuidadosa preparación y planeación que se requiere con objeto de minimizar las faltas y condiciones inseguras.

- la interrelación e interdependencia que tienen con cada una de las etapas previas del proyecto.

5.2. La importancia económica del arranque está fuera de toda duda. Un arranque a tiempo y dentro de lo presupuestado favorece a la rentabilidad global del proyecto y minimiza el tiempo requerido para recuperar la inversión. Asimismo, la información que se obtiene a partir del arranque de las pautas que permitirán optimizar el funcionamiento y rentabilidad de las instalaciones.

5.3. Es recomendable contar con gente experimentada para el ---

arranque ya que puede resultar muy costoso y riesgoso utilizar gente con poca experiencia. Este tipo de gente debe aportar no sólo sus conocimientos y experiencias para la resolución de problemas sino que también debe adoptar una posición de liderazgo que favorezca el establecimiento y mantenimiento de una alta moral entre todo el personal involucrado.

5.4. Desde el momento en que el proyecto se encuentre en sus etapas de planeación y definición es conveniente que quede concluida la organización, estructura y responsabilidad del arranque. Esto permitirá que los responsables se involucren desde un inicio en el proyecto, asimismo podrán aportar sus puntos de vista y ayudar en la resolución de problemas durante las etapas de diseño y construcción de las instalaciones.

5.5. El arranque de una planta de proceso no es el resultado del esfuerzo aislado de un solo hombre. En muchos casos no es tampoco el resultado de los esfuerzos de una sola empresa, sino que son varias las involucradas: la empresa propietaria, el licenciador de la tecnología, la firma de ingeniería, el contratista encargado de la obra civil y de la electromecánica, etc... De aquí surge la necesidad e importancia del trabajo en equipo así como de la oportuna y clara definición de los objetivos y responsabilidades de cada uno de los involucrados.

5.6. Las nuevas tecnologías buscan, por lo general, llegar a pro-

cesos cada vez más eficientes. Sin embargo, la mayor eficiencia no implica de ninguna manera mayor facilidad en la operación y/o arranque de las nuevas plantas. Por tanto, cada vez se siente más la necesidad de contar con gente más capacitada y especializada en arranques. Hay países en los que existen ingenieros dedicados y especializados en esta actividad. Esto no es común en México y por tanto la tarea se dificulta.

## BIBLIOGRAFIA.

1. Ryan, G.T., "Managing the Project Startup", Chemical Engineering Progress, Vol. 68 No. 12, Dic. 1972, pp. 65-66.
2. Gans, M., "The A to Z of Plant Startup", Chemical Engineering, Mzo. 15, 1976, pp. 72-73.
3. Idem a (1) pp. 69-70.
4. Anderson, G.D., "Initial Controller Settings to use at Plant Startups", Chemical Engineering, Jul. 11, 1983, p.113.
5. Fitzgerald, Kiorpes & Gans, "Plant Startup - Step by step", Chemical Engineering, Oct. 3, 1983, p. 97.
6. Idem a (1) p.70.
7. Matley, J, "Keys to Successful Plant Startups", Chemical Engineering, Sept. 8, 1969, p. 124.
8. Project Engineering of Process Plants, Rase H.F. & Barrow N.H., John Wiley Inc., New York.
9. Feldman, R.P., "Economics of Plant Startup", Chemical Engineering, Nov. 1969.
10. Idem a (2) pp. 74-75
11. Idem a (5) pp. 81-91
12. Meier, F.A., "Is your control sistem ready to start up?", Chemical Engineering, Feb. 22, 1962, pp. 76-87.